Agro y Ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable

En este documento se analizan los posibles impactos que los cambios climáticos, físicos y biológicos, han generado sobre la cadena agroalimentaria, así como los beneficios derivados esperables de un manejo eficiente y sustentable de los recursos ambientales

CAPITULOS	TEMA	AUTORES
Capítulo 1	Análisis de la situación alimentaria mundial y su probable impacto sobre la cadena agroindustrial argentina	O. Solbrig
Capítulo 2	Los grandes temas ambientales a lo largo de la historia	O. Solbrig
Capítulo 3	El cambio climático en Argentina	V. Barros
Capítulo 4	Impacto del cambio climático en la costa y el mar argentino	E. Schnack y A. Piola
Capítulo 5	Plantaciones forestales y ambiente: su importancia ante el cambio climático	T. Schlichter y P. Laclau
Capítulo 6	Economía y ambiente: análisis de una alternativa de manejo agrícola para reducir costos ambientales y mejorar la posición de la cadena agroindustrial argentina	J. Ingaramo
Capítulo 7	Impacto de la agricultura sobre la extensión, distribución y biodiversidad de ecosistemas naturales	M. Cabido
Capítulo 8	Agricultura, clima y ambiente en Argentina: tendencias, interacciones e impactos	E. Viglizzo
Capítulo 9	Los impactos de las prácticas agrícolas sobre los ecosistemas naturales	G. Sarmiento
Capítulo 10	Desarrollo agropecuario, ambiente y población rural	C. Reboratti
Capítulo 11	La expansión de la frontera agrícola en la Región Chaqueña: perspectivas y riesgos ambientales	J. Adámoli, S. Torrella y R. Ginzburg
Capítulo 12	La importancia de las buenas prácticas agrícolas en la mitigación del daño ambiental	S. Lorenzatti
Capítulo 13	Ordenamiento territorial en el medio rural	J. Adámoli, S. Torrella y R. Ginzburg

La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.

Capítulo 13

Ordenamiento Territorial en el medio rural

Jorge Adámoli, Rubén Ginzburg y Sebastián Torrella

1. Introducción

La adopción de criterios de planificación por los organismos del Estado en las áreas urbanas, es una práctica de larga data que tiene marcada aceptación por la sociedad. Virtualmente no hay objeciones a la aplicación de restricciones a la construcción (límites de altura de edificios), o a la prohibición de ciertas actividades en zonas residenciales, aunque ello implique limitaciones al derecho de disponer libremente de la propiedad. Cuando se violan estas normas son los mismos vecinos los primeros en salir a reclamarle al Estado para que actúe, como en el reciente caso de los edificios en torre del barrio de Caballito en Buenos Aires. No hay nadie que cuestione las restricciones a la libertad de desplazamiento que implican las señales de tránsito (dirección obligatoria) o los semáforos. Son restricciones a su libertad de circulación que el ciudadano acepta en pos del bien común, y las transgresiones -que sin duda ocurren-son firmemente repudiadas por una inmensa mayoría de ciudadanos que exigen que el Estado las sancione severamente.

En el medio rural la situación es marcadamente diferente: históricamente ha primado un fuerte rechazo a la adopción de normas regulatorias, y a la adopción de criterios de planificación por parte del Estado. Los niveles de transgresión distan de ser despreciables en un amplio rango de temas, que incluyen entre otros a algunas prácticas contaminantes y a los desmontes ilegales. Al respecto, en áreas donde la legislación provincial exige mantener por ejemplo 50 % de bosques en pié, es muy común encontrar campos con casi el 100 % de la superficie desmontada. A diferencia de lo que ocurre en las ciudades, la transgresión no genera un fuerte repudio por parte del sector de la agroindustria, ni mucho menos la exigencia de intervención de organismos del Estado para sancionarla.

Recientemente esta realidad ha comenzado a cambiar. Desde diversos sectores académicos y ambientales, así como desde organizaciones técnicas vinculadas con el agro, se insiste en la necesidad de adoptar criterios de Ordenamiento Territorial (OT). Entre los argumentos se mencionan: dar mayor previsibilidad a las actividades del sector, planificar

la infraestructura necesaria a futuro, o las condiciones para una mayor seguridad jurídica. Es importante destacar que estos reclamos hoy forman parte de la agenda de entidades medularmente vinculadas con el agro, tanto de organismos oficiales como también de organizaciones de productores.

Es importante definir al OT como un instrumento de gestión de gobierno, tendiente a proyectar espacialmente diversas políticas públicas, que debe contar con fuerte apoyo técnico y amplia participación de la sociedad. El hecho de ser una función indelegable de gobierno, no implica aplicar criterios de planificación autoritarios, sino apoyados en la consulta con todos los sectores interesados (cuyos intereses muchas veces son encontrados). Esta participación le da mayor legitimidad social a las políticas adoptadas. Esto a su vez diferencia al OT del Ordenamiento Ambiental (OA), ya que éste se refiere a una sola capa temática. La información científica y técnica es absolutamente indispensable, pero no debe confundirse al OT con un simple mapa de aptitud potencial de las tierras.

Los profundos cambios y las nuevas tensiones políticas, económicas y demográficas que se están produciendo en relación con la estructura y funcionamiento interno del campo argentino, condicionan las pautas de uso del territorio, determinan el surgimiento de nuevas demandas y provocan considerables transformaciones cualitativas. Basta con citar a las polémicas sobre el uso de los transgénicos, la expansión de la frontera agrícola, o el reciente conflicto campo-gobierno. De la capacidad de la sociedad en general, y muy particularmente de las posiciones que adopte el sector agroindustrial, surgirá la posibilidad de dar respuestas adecuadas a estos cambios y tensiones. La participación del sector agroindustrial en una Política de Estado sobre Ordenamiento Territorial permitirá organizar y articular el territorio rural en función de sus potencialidades, limitantes y características biofísicas, socioeconómicas, culturales y político-institucionales, base de la seguridad jurídica. Promover un desarrollo más equilibrado y equitativo implica elaborar políticas que perduren más allá de los períodos de los gobiernos de turno, (proceso de mediano y largo plazo).

Este capítulo tiene la siguiente organización:

1) Marco internacional, relación entre el ordenamiento territorial y los conceptos de desarrollo sustentable, seguido de un breve análisis de las experiencias europeas y latinoamericanas.

2) Marco nacional, comenzando, evolución del concepto de propiedad privada, medidas de regulación, la cuestión ambiental y el ordenamiento territorial a partir de las reformas de la Constitución en 1994 y de la Ley General del Ambiente.
3) La experiencia argentina en las provincias y en la Ciudad de Buenos Aires; el programa del Ministerio de Planificación e Infraestructura y las implicancias de la Ley de Bosques Nativos.
4) Alternativas para darle credibilidad y ejecutividad a la acción del Estado en materia de OT.

2. Marco Internacional

Si bien existen numerosos antecedentes internacionales, el Ordenamiento Territorial surge en su expresión actual, a partir de la Conferencia Mundial de Medio Ambiente (Estocolmo 1972). Junto con el concepto de desarrollo sustentable se planteó la necesidad de la planificación y gestión. En 1987 Naciones Unidas publicó “Nuestro futuro común” mucho más conocido como “Informe Brundtland”, donde se señalan como factores de la crisis ambiental y la insustentabilidad de los modelos de desarrollo, a la combinación entre la pobreza del tercer mundo, los elevados niveles de consumo de los países ricos y los límites en la capacidad de soporte de los ecosistemas. Asimismo, acuñó el concepto de desarrollo sustentable. A pesar de sus limitaciones e inclusive contradicciones, los conceptos vinculados con el desarrollo sustentable alcanzaron y mantienen una notable vigencia en los discursos de los líderes mundiales (capitulo 2).

En 1992 (20 años después de Estocolmo), se realiza la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo o Cumbre de Río. Una de las resoluciones fundamentales fue el Programa conocido como Agenda 21. En ésta y en una agenda complementaria denominada “Objetivos de desarrollo del milenio” adoptada por la ONU en el año 2000 se incluyen numerosos temas directamente vinculados con el OT.

La experiencia europea.

La "Carta Europea de Ordenación del Territorio" de 1993, lo define como "la expresión espacial de las políticas económica, social, cultural y ecológica de cualquier sociedad. Disciplina científica, técnica administrativa y acción política, concebida como práctica interdisciplinaria y global para lograr el desarrollo equilibrado de las regiones y la

organización física del espacio". Cada país adapta estos conceptos a sus particulares políticas nacionales. Entre los principales casos citados por Massiris Cabeza (2000), figuran:

- Alemania, destacable por la descentralización. No existen planes nacionales, sino programas mediante los cuales el estado nacional y los estados federales orientan los planes regionales, provinciales y municipales. El OT se entiende en el sentido de planificación física espacial con un fuerte énfasis ambiental.
- Suiza, cuyos municipios con alta densidad de población tienen superficies del orden de 1.400 ha. El grado de participación social en la formulación de los planes alcanza aquí su mayor expresión.
- En Italia las regiones tienen la responsabilidad principal del OT, entendido en función de planificación física espacial con fuerte contenido ambiental y estrecho vínculo con los planes de desarrollo económico.
- Holanda tiene apenas 41.500 km y la más alta densidad de población de Europa. Ha utilizado con gran intensidad las políticas de OT por las amenazas naturales (agresiones del Mar del Norte) y por ser la tierra un bien escaso. Es destacable el gran peso político que tiene el OT en el conjunto de las políticas públicas.
- En Francia el OT está centrado en lo económico y en la planificación de infraestructuras, con poco protagonismo de los temas ambientales.
- En España las regiones establecen sus propias leyes sobre OT, sin menoscabo de las competencias de la nación. Por eso, es difícil hablar de un sistema nacional de OT, pues en los actuales sistemas regionales se encuentra mucha variabilidad en cuanto a objetivos, instituciones e instrumentos.

Ordenamiento Territorial en Latinoamérica.

En Latinoamérica, el OT es una experiencia reciente, y son muy pocos los países en donde estos procesos están consolidados. El primero en aprobar su Ley Orgánica de OT fue Venezuela, en 1983. La visión global del OT latinoamericano surgió en 1989, al definir una posición global sobre los temas del medio ambiente y el desarrollo, para presentarla en la Conferencia de Río realizada en 1992, en el documento "Nuestra Propia Agenda sobre Desarrollo y Medio Ambiente", en el cual se hace un diagnóstico de la realidad latinoamericana y se proponen las bases para la construcción de la estrategia de desarrollo

sustentable. Tanto la definición como las finalidades del OT planteados en el documento arriba mencionado han sido adoptadas por países como Bolivia, Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Guatemala, entre otros. Colombia y Uruguay también tienen procesos avanzados. Colombia es uno de los países con mayor experiencia al respecto, que tiene antecedentes que se remontan al Código de Recursos Naturales de 1974.

Revisando la experiencia internacional puede hacerse una interpretación que puede ayudar a comprender las diferencias entre las exitosas experiencias europeas y los dudosos resultados obtenidos en Latino América, más allá de las intenciones expresadas. Los países europeos tienen alta densidad de población, un campo con alta urbanización, además de municipios muy pequeños y con mucha población, rasgos que facilitan su administración y manejo. A esto se le suma un alto nivel cultural, abundante información de base, tradición de alta participación de la población en la gestión y fuerte grado de pertenencia. Prácticamente todas estas situaciones son opuestas o mucho más limitadas en Latino América y en particular en la Argentina, lo que representa un conjunto de dificultades para la implementación de los procesos de ordenamiento territorial. Lo normal es que las leyes surjan por la necesidad de regular procesos ya existentes, pero en el caso del OT en la Argentina han sido las normas (en particular la sanción de la Ley de Bosques Nativos) las que han desencadenado los procesos. Así, la falta de experiencia real abarca a los protagonistas, tanto funcionarios, como técnicos, políticos, empresarios u ONG´s.

3. Marco Nacional

Evolución de los alcances de la Propiedad Privada.

Como se menciono en la Introducción, la adopción de criterios de planificación por parte del Estado, implica restricciones al derecho de propiedad en función del bien común. Antes de la formación de las sociedades actuales, los bienes de la naturaleza en teoría podían ser apropiados libremente por un hombre primitivo o por un ejemplar de la fauna silvestre a través del pastoreo, de la recolección de frutos, de la caza o de la pesca. Esta total disponibilidad siempre fue relativa, porque mucho antes de que se establecieran los derechos de propiedad, existieron restricciones al libre acceso a los bienes de la naturaleza, a través de la delimitación de territorios, que algunas especies hacen marcando sus límites

con la orina, otras con el canto y otras con cercos. Invadir esos territorios lleva con frecuencia a feroces combates individuales o colectivos, protagonizados desde los más grandes mamíferos, hasta las aves en apariencia más frágiles. Y por supuesto también por los humanos, primitivos o modernos.

En las sociedades humanas la apropiación no ya de los frutos de la naturaleza, sino de diversas porciones de territorio y por extensión de todo lo que había adentro, llevó a lo que los romanos consagraron como un derecho. El titular de un dominio o propiedad puede usarla, transformarla e inclusive podría destruirla. Sin embargo existen limitaciones a este derecho, como ser en el medio urbano, prohibición de instalar cierto tipo de actividades en zonas residenciales o producir ruidos insoportables que afecten a los vecinos. En el medio rural puede citarse la prohibición de usar agroquímicos al lado de un predio que tiene una certificación de productos orgánicos.

Entre el concepto feudal de la propiedad privada como algo inviolable, intangible y respecto a la cual el dueño tenía incluso el derecho de aniquilación, y la negación total de la propiedad privada sustentada por la filosofía marxista, existen innumerables matices. Walsh (2005) dice que "Existe un desafío ideológico pendiente para definir con claridad los límites entre a) los derechos de propiedad garantizados por nuestra Carta Magna y b) los alcances de una potestad reglamentaria razonable de estos derechos, cuando se trata de asegurar la protección del entorno". "El derecho a la propiedad privada fue consagrado en la Constitución de 1853 y definido por el Código Civil, reflejando el ideario liberal entonces vigente. El ejercicio del derecho de propiedad era prácticamente absoluto e ilimitado, excluía los intentos del estado para regular su ejercicio con miras a un interés colectivo, aún cuando el Código Civil contemplara las servidumbres administrativas en aras del interés público".

El Art. 17 de la Constitución Nacional dice: *"La propiedad es inviolable, y ningún habitante de la Nación puede ser privado de ella, sino en virtud de sentencia fundada en ley. La expropiación por causa de utilidad pública, debe ser calificada por ley y previamente indemnizada.* El Código Civil de la República Argentina, establece en el Art. 348 que *"La propiedad es el derecho de gozar y disponer de una cosa, sin más limitaciones que las establecidas en las leyes"*, mientras que en el Art. 350 dice que: *"El propietario de un terreno es dueño de su superficie y de lo que está debajo de ella, y puede hacer en él*

obras, plantaciones y excavaciones que le convengan, salvas las servidumbres, y con sujeción a lo dispuesto en las leyes sobre Minas y Aguas y en los reglamentos de policía". Cabe consignar que en provincias forestales, de Formosa a Tierra del Fuego, la propiedad de un predio no es de carácter absoluto, ya que se considera que los propietarios lo son únicamente del suelo, pero no del vuelo (de los bosques) y por ello para acceder a la explotación deben solicitar las autorizaciones correspondientes.

Un caso particular de restricciones al dominio, lo constituye el camino de sirga, así llamado porque antiguamente se conducía a las embarcaciones desde la orilla mediante unas sogas que eran llamadas "sirgas". Al respecto, el artículo 2639 del Código Civil dice que "los propietarios limítrofes con los ríos o con canales que sirven a la comunicación por agua, están obligados a dejar una calle o camino público de treinta y cinco metros hasta la orilla del río, o del canal, sin ninguna indemnización. Los propietarios ribereños no pueden hacer en ese espacio ninguna construcción, ni reparar las antiguas que existen, ni deteriorar el terreno en manera alguna". Cavalli (2007) señala que la intención del legislador es dejar este espacio para facilitar la navegación y expresa que "La doctrina mayoritaria sostiene que el camino de sirga es en beneficio exclusivo de la navegación y no puede usarse para otros fines de uso común del agua, como trasladarse de una heredad a otra, para sacar agua, bañarse, etc". El tema se plantea en forma recurrente con pescadores que se internan en propiedades privadas, lo que suele originar conflictos en las zonas rurales. En estos días (08 de abril 2008) tomó estado público un reclamo de Parques Nacionales al magnate de la CNN Ted Turner, para que abra una servidumbre de paso hacia el río Traful, para que pueda ser usada por kayakistas y pescadores locales. Como antecedente de peso, cabe destacar que varias provincias tienen servidumbres de pesca.

A medida en que aumentó la complejidad de actividades y las relaciones que se generaban, se fueron incorporando nuevas restricciones al derecho de propiedad, buscando a través de normas regulatorias, armonizar los diversos derechos, a favor del interés común. Walsh (2005) dice que "La Doctrina Social de la Iglesia brindó un fuerte sustento intelectual y jurídico para una regulación de la propiedad privada con fines públicos. En 1968 se modificó el Código Civil, incorporando figuras respecto al uso racional de la propiedad, el exceso en la normal tolerancia entre vecinos y más importante, la figura del

abuso del derecho. Esta importante reforma sirvió como sustento jurídico intelectual para concepciones mucho más activas en materia de regulación estatal de los derechos individuales en aras del interés colectivo".

Regulaciones sectoriales

En un documento de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAYDS 2004), se menciona que el OT es una de las herramientas clave sobre la cual se construyen las políticas de desarrollo en el espacio físico, atendiendo a las necesidades e inversiones en infraestructura y equipamiento. Dice que el país requiere de una política de OT que aborde en forma integral tanto al ámbito urbano como al rural, y que las modalidades de ocupación actual del territorio son espontáneas y no reflejan la necesidad de concebir al suelo como un recurso escaso, en el cual las decisiones respecto de su uso suelen ser irreversibles. Al respecto, hace hincapié en las demandas futuras, producto del crecimiento demográfico, diciendo que "abundan ejemplos que ponen de relieve la falta de ordenamiento: la ocupación de zonas inundables con asentamientos urbanos, o la expansión urbana sobre tierras con aptitud agrícola".

Un fenómeno interesante lo constituyen las áreas periurbanas, donde la ocupación del suelo agrícola y de fragmentos de ecosistemas naturales por el proceso de urbanización presenta cifras elocuentes, que fueron descritas por Morello et al (2001), quienes indican que la Pampa Ondulada tiene 3.800.000 ha de tierra agrícola, y que un 70 % de las aglomeraciones urbanas y sus periurbanos están ubicadas en ella. Considerando todas las formas de afectación tales como áreas urbanas o residenciales, canteras, caminos, etc, se produce una quita del espacio rural de casi 700.000 ha, es decir un 18 % del total de los mejores suelos agrícolas.

Sin embargo, los primeros intentos de regulación del uso del territorio como concepto integral, surgen fundamentalmente en las áreas urbanas, mientras que en las áreas rurales se limitan a aspectos puntuales. Entre las normas regulatorias adoptadas en las ciudades, virtualmente no figuraban criterios de conservación ambiental hasta muy recientemente. Como se menciona en la Introducción de este trabajo, en las ciudades las restricciones a la propiedad privada en nombre del interés público, han sido ampliamente aceptadas por todo el arco político, tanto a nivel provincial como municipal. Por el

contrario en el ámbito rural la afectación de la propiedad privada en función de objetivos de interés general tales como la conservación de suelos, la preservación de cursos de agua o de la biodiversidad, hasta recientemente no se encontraba instalada en la agenda política, ni a nivel gubernamental, ni como componente de una visión estratégica surgida desde el propio sector agroindustrial.

Cabe destacar que si bien existen diversas regulaciones sectoriales como los códigos rurales, o las normas de uso y protección de los recursos naturales, éstas no constituyen per-se casos de ordenamiento territorial. Varias de estas regulaciones pueden tener una enorme trascendencia como es el caso de la política nacional en relación con la fiebre aftosa, que incluye figuras tan fuertes como la del rifle sanitario. Sin embargo, las mismas carecen de una integración con un marco más general que contemple el uso del suelo en su conjunto. Al respecto en un documento de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2004), se dice que dichas normas “sólo estipulan regulaciones específicas y puntuales para materias tales como la irrigación, amojonamiento y cercos, facultades municipales, policía rural, marcas y señales, apertura de caminos, tránsito de ganado, sanidad vegetal y animal, etc.

En un detallado documento sobre los conflictos de competencia sobre las aguas, Mathus Escorihuela (2007) destaca que “el régimen federal de gobierno reposa en las facultades y derechos de las Provincias, como entes autónomos preexistentes a la Nación, que han delegado en ella las facultades necesarias para el funcionamiento del Poder y la Administración centrales, tal como surge del art. 126 de la Constitución Nacional”. Al respecto, cita al art. 121 de la Constitución Nacional, que dice: “Las Provincias conservan todo el poder no delegado por la Constitución al Gobierno Federal y el que expresamente se hayan reservado por pactos especiales al tiempo de su incorporación”, es decir los Pactos y Tratados Interprovinciales celebrados con anterioridad a la sanción de la Constitución.

1) En relación con la regulación de los usos de los ríos interprovinciales, cabe destacar que la mayor parte de las cuencas hídricas son interjurisdiccionales, o sea que son compartidos por lo menos por dos provincias, siendo que varios de ellos como el Paraná, Paraguay, Pilcomayo y Bermejo son de carácter internacional. En el mencionado trabajo de Escorihuela (2007) dice que los ríos interprovinciales son de dominio provincial y en virtud del art. 121 “Corresponde a la jurisdicción provincial

reglar su uso. Las cuestiones vinculadas a su aprovechamiento deben estipularse en Tratados Interprovinciales que no requieren la aprobación del Congreso Nacional". Por su parte, Cavalli (2007) señala que "existe una cuestión jurídica que se refiere a la cuestión federativa de quién tiene la potestad
constitucional de regular el uso compartido de las aguas que corren por más de una provincia. La manera que se ha encontrado de poder superar las dificultades interpretativas sobre los ríos interprovinciales fue la constitución de organismos interjurisdiccionales de cuenca, llamados comités o autoridad de cuenca (Cavalli 2007). A pesar de las limitaciones que surgen por sus atribuciones originales, vinculadas a la resolución de los problemas que puedan surgir referidos al uso del agua, los comités de cuencas pueden ser citados como un antecedente importante sobre el OT en el ámbito rural.

4. La Reforma Constitucional de 1994 y la Ley General del Ambiente

El OT comienza a proyectarse en sus aspectos normativos, apoyado en la temática ambiental, que cobra una nueva dimensión en nuestro país a partir de dos hitos fundamentales:

1) La reforma de la Constitución Argentina de 1994 en la que se incorporó el artículo 41 que establece el derecho a un ambiente sano, que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras y el deber de preservarlo. Introduce la noción de daño ambiental y la obligación de recomponer, así como el derecho a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica. Establece que corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas.

   Walsh (1995) interpreta que "Brinda una justificación jurídica e intelectual novedosa y robusta, ya que las normas tendientes a promover la conservación de la naturaleza han operado casi siempre en forma fragmentada, sin una visión global de la conservación en relación con el ordenamiento del territorio circundante, por lo que los esfuerzos por establecerlo enfrentaron obstáculos significativos por las

dificultades prácticas y económicas. Antes de la reforma las regulaciones requerían de un poder de policía o de nociones más abstractas de abuso del derecho".

2) La sanción de la Ley General del Ambiente en el año 2002 (Ley 25.675). , que es la base de un conjunto unificado de nuevas normas, entre las que se destacan la adopción de presupuestos mínimos, la relación entre ordenamiento ambiental e impacto ambiental y la participación ciudadana:

- Art. 1º) Introduce el concepto de presupuestos mínimos enunciado en la reforma constitucional de 1994.

- Art. 2º) Define los objetivos, entre los cuales la conservación de los recursos ambientales y culturales en la realización de actividades antrópicas y la participación social en los procesos de toma de decisión.

- Art. 4º) Incorpora los principios de congruencia, de prevención, precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación.

- Art. 8º) Enuncia seis instrumentos de política y gestión ambiental, entre los cuales en los primeros lugares al Ordenamiento Ambiental del Territorio y a la Evaluación de Impacto Ambiental.

- Art. 9º) Establece que el ordenamiento ambiental deberá considerar la concertación de intereses de los distintos sectores de la sociedad entre sí, y de éstos con la administración pública.

- Art. 10º) Indica que el ordenamiento ambiental deberá asegurar el uso ambientalmente adecuado de los recursos, posibilitar la máxima producción y utilización de los ecosistemas, garantizar la mínima degradación y desaprovechamiento y promover la participación social.

- Art. 11º) Introduce el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, previo a la ejecución de toda obra o actividad susceptible de degradar el ambiente.

- Art. 23º) Establece la coordinación de la política ambiental, a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA).

Si bien desde la sanción de la ley surgió una importante toma de conciencia sobre la importancia de este instrumento, un análisis realizado por Walsh (2005) indica que "Más allá de que la existencia formal de estas regulaciones en materia de ordenamiento territorial sea "lo deseable" desde una perspectiva teórica o conceptual, su aplicación y vigencia efectiva ha sido casi siempre laxa. En parte por las debilidades estructurales de los organismos encargados de velar por su cumplimiento, y en parte por la escasa importancia que la sociedad le ha otorgado hasta ahora al tema como eje central para la elaboración de políticas públicas".

En el mismo sentido se manifiesta el constitucionalista Dr. Daniel Sabsay (2006), cuando dice que "Desde 2002 se han sancionado por el Congreso varias leyes de presupuestos mínimos, en conformidad con la distribución de competencias Nación-Provincias prevista en el Art. 41. Sin embargo este panorama, por demás alentador, no se ve acompañado por políticas públicas adecuadas para el cumplimiento y aplicación de las mencionadas normas. Las autoridades de aplicación adolecen de una acentuada debilidad", mientras que un ex Subsecretario de Recursos Naturales de la Nación (Bibiloni, 2005) manifiesta que "Los presupuestos mínimos aportados por la Constitución Nacional de 1994 no se consolidaron como herramienta reguladora, por la disímil percepción provincial sobre su legitimidad, su utilidad o la potestad nacional de su reglamentación, con lo cual no ha tenido el empuje ordenatorio esperado, así como también por la falta de criterios de progresividad que alienten su mayor alcance y eficacia regulatoria. Se debe salir de la retórica y pasar a los hechos, con menos discursos y más proyectos".

5. La experiencia argentina en ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial en la Nación y en las Provincias

A nivel nacional recientemente (17/marzo/08) se presentó el Plan Estratégico de Desarrollo Territorial, con un horizonte al año 2016. Este plan, mediante la conformación del Consejo Federal de Planificación y Ordenamiento Territorial con la acción conjunta de la Nación y los gobiernos provinciales, tiene como objetivo constituirse en una guía para el despliegue territorial de la inversión pública así como colaborar en la planificación, coordinación e implementación de los aspectos de la política territorial. Si bien se limita a

uno de los aspectos (la inversión pública), presenta elementos conceptualmente muy positivos como ser la fuerte interacción con las provincias, y el juego de contrastes entre la "situación actual" y la "situación deseada". En este positivo contexto llama la atención la extraña prioridad asignada al llamado "tren bala", frente a los severos problemas del transporte ferroviario de cargas y el notable deterioro de los trenes suburbanos.

Numerosos municipios argentinos tienen implementados programas de OT o figuras conexas de planificación regional. En muchos casos estos programas fracasaron por tratarse de decisiones de funcionarios sin participación de la sociedad, por carecer de una adecuación del marco jurídico que permitiera implementarlas y por falta de funcionarios dispuestos a cumplirla.

Un caso particular es La Ciudad de Buenos Aires, ya que es la jurisdicción con mayor registro de políticas de planeamiento, códigos de edificación y regulaciones zonales. Walsh (2007) indica que ya en 1944 el Código de Edificación apoyado en la legislación nacional, establece restricciones a la propiedad privada en base al interés público. La reforma constitucional de 1994 le otorga autonomía a la ciudad, con un status similar al de las otras provincias. La Constitución de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires dictada en 1996 en su art. 27 promueve entre otros temas, la regulación de los usos de la tierra; el art. 29 establece que se debe dictar un Plan Urbano-Ambiental como marco para la regulación de usos de la tierra; en el art. 30 introduce las evaluaciones de impacto ambiental para toda obra pública o privada que pueda causar efectos relevantes en el ambiente (Walsh 2007).

Los documentos constitutivos del Plan Urbano Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires lo definen como un instrumento técnico político de gobierno, un marco de referencia tanto para la gestión pública como para la sociedad. Inicialmente, el Plan fue definido desde sus dimensiones urbanas y ambientales. Lo "urbano" se refiere al territorio de Buenos Aires en su dimensión regional, como objeto de estudio y acción. Lo "ambiental" es considerado como una dimensión transversal a la totalidad del proceso de planeamiento, desde los estudios-diagnóstico a la puesta en marcha de las acciones. La función de un Plan Urbano Ambiental es la de orientar las intervenciones del Estado y de los diversos actores de la sociedad civil y del mercado. En este contexto los análisis diagnósticos -sobre los que habrán de basarse las propuestas de instrumentos de control y de intervención-se sustenta

en el análisis de variables o relaciones específicas o conjuntos de ellas, y la formulación de hipótesis explicativas y causales y valores.

Con respecto al proceso de participación, en el Plan Urbano Ambiental se destaca la importancia de la misma en la elaboración de los diagnósticos, los que sirven para reconocer los problemas y oportunidades, sus relaciones y sus efectos resultantes, deseables o indeseables. Con ello se propone identificar asimismo los puntos y procesos críticos o más significativos. Los diagnósticos útiles y las estrategias de intervención que en ellos se fundan son aquéllos definidos y construidos en concertación entre los diversos actores involucrados en cada campo de actuación. Como todo producto de esta naturaleza, este diagnóstico es siempre perfectible y deberá periódicamente actualizarse, para ajustarse a una realidad en cambio constante.

Varias provincias están elaborando diversas versiones que les permitan adaptarse a los presupuestos mínimos establecidos en la recientemente sancionada Ley de Bosques Nativos, que suspende la emisión de permisos de desmonte por un año, plazo en que cada provincia estará obligada a realizar un OT de sus bosques nativos. Debe destacarse que esta visión al referirse a una sola capa temática, en realidad es un Ordenamiento Ambiental. La Ley de Bosques Nativos prevé la elaboración de un mapa ambiental de tres colores: la zona roja será la que requiera el más alto nivel de conservación, en la cual no se podrá desmontar ni efectuar otras actividades, las áreas amarillas serán consideradas de transición entre las rojas y verdes y allí se podrá desarrollar determinados tipos de actividades productivas, como por ejemplo ganadería con un manejo adecuado de las pasturas y la verde permite la explotación forestal y los desmontes, previa evaluación de impacto ambiental.

1) En Santiago del Estero rige la Ley de Conservación y Usos Múltiples de las Áreas Forestales. Esta normativa provincial, fue sometida a distintas consultas y estudios durante todo 2007 para su reglamentación. La ley provincial establece actividades prioritarias económicas por zona y límites para los desmontes, así como incrementos de las multas a los desmontes ilegales.

2) En la Provincia del Chaco rige el decreto Nº 1341 que dictó la suspensión del otorgamiento de permisos de desmonte en la provincia hasta que la misma finalice su OT. En función de esto, se organizaron talleres motivados por la necesidad de

establecer acuerdos y agendas.

3) En la Provincia de Jujuy se constituyó un Consejo Asesor de Medio Ambiente, donde se trató el Plan de OT para Masas Boscosas, con el objetivo de generar un esquema de zonificación que contemple las zonas a proteger, las de neta vocación forestal y aquellas cuya transformación será posible en el marco de la iniciativa oficial.
4) En Salta se estableció un Programa de Ordenamiento Ambiental Territorial, con la finalidad de valorar y clasificar adecuadamente los bosques nativos partiendo de criterios que consideren tanto su importancia social como los servicios ambientales que prestan.
5) En Formosa ha comenzado un ambicioso programa de OT que responde a la visión más completa, ya que procura conciliar los intereses de la producción con los de la conservación ambiental, atendiendo a los diversos actores económcos y sociales vinculados con la agricultura, ganadería, actividad forestal, así como a entidades campesinas, aborígenes y conservacionistas.

Ley de bosques nativos

La Ley 26.331 “Presupuestos mínimos de protección ambiental para los bosques nativos” (conocida como “Ley Bonasso”), generó un revuelo en las provincias del Norte y en organizaciones de productores, básicamente por el artículo 8 donde se prohiben por un año nuevas autorizaciones de desmontes, o hasta que las provincias elaboren su OT de bosques nativos. Una seria objeción es que no considera la cuestión de fondo: la necesaria articulación entre el avance de la frontera agrícola, con la conservación de los bosques. Este proyecto surge por el descontrol que rodea al avance de la frontera agropecuaria. Pero la prohibición de desmontes representa un premio para los transgresores, ya que no son sancionados y además se benefician porque obtienen ventajas competitivas que surgen de la transgresión, y no de la adopción de innovaciones tecnológicas y de gestión empresarial.

Un mérito mayor de esta Ley, es el de instalar el tema de los presupuestos mínimos para el OT. Sin embargo presenta un error conceptual, puesto que propone el Ordenamiento de los Bosques Nativos, lo que en realidad es una Zonificación Temática, o a lo sumo un

Ordenamiento Ambiental, basado en las áreas forestales. Si se hiciera otra zonificación temática basada en la aptitud potencial para actividades agrícolas y ganaderas, daría resultados marcadamente diferentes. Esto es natural, porque cada capa temática busca optimizar los resultados del tema analizado. Una zonificación para maní, dará como áreas óptimas a los suelos arenosos y profundos, descartando los suelos arcillosos y anegables, mientras que una zonificación para arroz dará resultados totalmente opuestos. El OT debería integrar las diferentes capas temáticas, contemplando los intereses muchas veces contradictorios entre distintos sectores, no sólo los de los bosques nativos.

El OT debe ser participativo, con todos los actores legítimos. Tanto en la elaboración de esta ley como en su reglamentación, esto no ocurrió. Siempre es preferible un proceso de construcción democrática a pesar de sus dificultades, que la adopción de medidas sectoriales tomadas con el pretexto de mayor eficiencia. Muchas normas dictadas por funcionarios iluminados, a contrapelo de los sectores interesados, generaron enormes perjuicios y fueron fuente de inestabilidad y de freno a las iniciativas de dichos sectores. Vale recordar otra vez al reciente conflicto campo-gobierno.

Mal puede hablarse de la defensa de los bosques nativos, si no se incluye la cuestión de fondo, que es el avance de la frontera agrícola. El ideograma chino del concepto de crisis lo componen dos figuras: peligro y oportunidad. La oportunidad, es la que se le presenta al país ante la fuerte demanda de granos, carnes y biocombustibles, que presionan para una fuerte expansión de las áreas cultivadas. El peligro, es que este proceso siga sin control y termine provocando severos problemas ambientales, sociales y productivos, donde haya pocos ganadores y muchos perdedores. La Ley no incluye como hubiera sido necesario, normas regulatorias para la expansión de las fronteras agrícolas. Esto implica necesariamente que las Autoridades de Aplicación deberian ser no sólo la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, sino también y en el mismo plano, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.

También deberían incluirse instancias de revisión periódica, ya que el surgimiento de nuevas tecnologías, los cambios del clima, la aplicación de incentivos institucionales y económicos o nuevas obras de infraestructura, pueden modificar las condiciones previas, lo que requerirá adaptar las normas. Sería importante establecer un régimen de fuertes

castigos a los transgresores, para que las ventajas competitivas surjan de la incorporación de tecnologías de producción y de gestión, y no de las actividades al margen de la ley (desmontes ilegales, trabajo en negro, evasión impositiva). Otro criterio esencial es el del aprovechamiento total de la madera, previo al comienzo del desmonte propiamente dicho. Adicionalmente, este aprovechamiento se traduce en generación de trabajo local. Cadenear el monte en pié y prenderle fuego debería ser severamente sancionado con multas confiscatorias, como para desterrar definitivamente esta práctica que atenta contra el país por la masiva emisión de gases de efecto invernadero.

Con respecto al financiamiento, la Ley prevé el pago de compensaciones a los productores por los bienes y servicios ambientales provistos por los bosques que deben quedar en pié en sus predios, para lo cual se prevé una partida superior a los 700 millones de pesos anuales. Desde el punto de vista de la importancia para la biodiversidad o de los servicios ambientales, los valores de un bosque montano en Tierra del Fuego son equivalentes a los de un bosque en el centro de la zona agrícola del Chaco. Pero en términos de costo-oportunidad, son totalmente diferentes, porque el primero no puede ser sustituido por cultivos, mientras que el segundo sí, y en esto reside la raíz del problema, y la causa por la que se elaboró esta Ley. En este punto se comete otro serio error conceptual, porque se define una superficie de bosques nativos (que incluye a los palmares inundables), que ocupan una superficie de 30 millones de ha. De esta forma con los recursos disponibles se llega a un valor de $ 23,33/ha de compensación. Así, en vez de generar recursos para que un productor pueda optar por mantener el bosque en pié en vez de voltearlo para hacer cultivos, se llega a una cifra irrisoria.

6. ¿Es posible impulsar el Ordenamiento territorial en la Argentina?

Considerando los objetivos y las perspectivas, es un ejercicio estimulante, pero si se tienen en cuenta muchos de los antecedentes surgen serias dudas acerca de su efectividad. La siembra directa que hoy es una potente realidad en la que la Argentina es líder mundial, surgió con un escenario aún más desfavorable, porque más que las dudas sobre la adopción de nuevos criterios, tuvo que remontar milenios de experiencia en siembra convencional, avalada por todos los sectores: desde los productores hasta los académicos. Pero la siembra directa surgió desde los productores, mientras que el OT surge en primera instancia desde

el Estado. Por eso, es necesario darle credibilidad a un proceso impulsado por el Estado, para lo cual es necesario revisar críticamente las experiencias disponibles.

Walsh (2005) expresa que muchos modelos de OT y regulaciones para el uso del territorio han sido diseñados por arquitectos y planificadores urbanos, con perfil "tecnocrático" y escasa participación ciudadana, como herramienta técnica para diseñar patrones de ocupación del espacio físico. Al respecto Kullock et al (2001) expresan que la claridad de los roles en los procesos de planificación tecnocrática comienza a desdibujarse. La lógica de la relación "decisores políticos – planificadores técnicos / racionalidad – organismos del Estado / implementación" es cuestionada con profusos llamados a la participación ciudadana. Cuando se concibe al ordenamiento territorial como un proceso tecnocrático con matices autoritarios, se asume que la sociedad es pasiva frente a decisiones tomadas en altos niveles de gobierno. Si bien el reciente conflicto entre el gobierno nacional y el sector rural fue por otros motivos, sirve como ejemplo, ya que si las medidas hubieran sido adoptadas en un marco de amplia consulta y de búsqueda de consensos, la aceptabilidad social habría sido mucho mayor. Las tendencias actuales apuntan a procesos mucho más participativos. Si bien el OT es por definición una función indelegable del Estado, para lo cual requiere de los mejores aportes disponibles del sistema científico-técnico, hoy se considera fundamental la activa participación de entidades representativas de los diversos intereses que conviven en un espacio físico y productivo, para que el proceso se enriquezca y gane en legitimidad y aceptabilidad social.

La importancia del OT en el diseño de las políticas públicas se vincula directamente con el desarrollo sustentable. Al respecto Walsh (2005) destaca que "los países que desarrollaron políticas ambientales exitosas cuentan con herramientas efectivas para la planificación y ordenamiento del uso del suelo, acompañado por regulaciones e incentivos que promueven patrones de desarrollo económico y social". En contraste, destaca la escasa trascendencia que tiene el OT en la mayoría de los países en desarrollo, por la escasa importancia que se le asigna como instrumento de política ambiental.

En numerosos países de América Latina pueden encontrarse abundantes referencias tanto de nivel nacional como provincial o municipal, en las cuales el OT aparece como una

herramienta relevante para la formulación de políticas públicas. Cabe destacar que la mayor parte de estos documentos están vinculados con las áreas urbanas, siendo mucho más restringida la información correspondiente a las áreas rurales, tema que de por sí merece un análisis detallado. Muchos de estos planes presentan al menos en lo formal políticas ambiciosas, pero “la crónica tradición de ineficacia de estos marcos y su escaso acatamiento, lo debilitan como instrumento efectivo” (Walsh, 2005). Estas palabras indican claramente las mayores limitaciones que se presentan, para pasar del campo de las intenciones al de los hechos concretos.

La misma preocupación es expresada por Kullock (2001) quien señala que “puede observarse una escasa evolución en la instrumentación de las formas de introducción de estas concepciones en el ejercicio de la planificación y la gestión, correlacionado con la dificultad de una adopción real del nuevo paradigma”. Al respecto señala que si bien hay consenso en cuanto a que el estilo actual presenta síntomas de agotamiento por contener elementos insustentables desde el punto de vista económico y ambiental, “abundan las críticas ante la no concreción de las medidas indispensables para la transformación de las instituciones económicas, sociales y políticas, sin afrontar todavía los procesos institucionales y políticos que regulan la propiedad, control, acceso y uso de los recursos naturales y de los servicios ambientales”, con lo que estarían prevaleciendo sólo transformaciones cosméticas tendientes a "enverdecer" el estilo actual.

Las dudas y cuestionamientos a la eficiencia de los organismos del Estado para cumplir un rol regulador, llevaron a plantear que la mayor eficiencia en dicha materia sería la que dicta el Mercado. En consecuencia, en la Argentina se implementó la retirada total del Estado de las funciones regulatorias y de planificación durante los años 90, con devastadores resultados que llevaron al país al borde de su desintegración. Hoy es importante recoger las experiencias del pasado reciente para evitar caer en un exceso de regulaciones agravado por controles ineficientes, pero sin caer tampoco en la total falta de controles que perjudican a los sectores más vulnerables.

7. Conclusiones

El OT en la Argentina debe crear condiciones para promover un desarrollo integral, sustentable, con impactos sobre las componentes económica, ambiental, social e

institucional, siguiendo el ejemplo de los principales países.

-En la **dimensión económica**, porque: (1) permite promover un uso adecuado, sin subutilización ni sobreuso de las diferentes zonas productivas; (2) garantiza estabilidad a los inversionistas; (3) permite que se protejan recursos valiosos para las futuras generaciones; (4) posibilita reducir la continua conversión de amenazas naturales en serios riesgos económicos y sociales.

-En la **dimensión ambiental** porque: (1) fortalece la protección existente para muchas áreas del territorio (zonas de amortiguamiento, áreas de conservación); (2) permite proteger directa o indirectamente recursos ambientales muy valiosos que no están protegidos adecuadamente en la actualidad (pastizales, bosques, humedales, salinas, suelos fértiles).

-En la **dimensión social** porque: (1) pueden generarse políticas activas que tengan en cuenta los costos sociales de los procesos productivos; (2) posibilita solucionar los recurrentes conflictos por la propiedad de la tierra; (3) abre posibilidades de crear oportunidades para todos los sectores productivos, especialmente los más desfavorecidos; (4) en los núcleos urbanos del interior en especial, puede ampliar las oportunidades de trabajo, estudio y recreación; (5) preserva oportunidades para las futuras generaciones.

-En la **dimensión institucional** porque: (1) requiere ajustar el marco normativo y legal para establecer un régimen de promociones y sanciones que viabilice las medidas propuestas; (2) permite crear un marco de seguridad jurídica para todos los productores que actúen en cumplimiento de las normas aprobadas.

La formulación de **Programas de OT** es una oportunidad para generar los instrumentos que permitan aportar una visión clara de los elementos que están condicionando el crecimiento del sector rural, de modo de orientar positivamente a los factores de desarrollo. Por ello es importante remarcar que el OT no es un fin en sí mismo, sino una herramienta dinámica, para el mejoramiento permanente y equitativo de la calidad de vida de la sociedad.

Conceptualmente el OT es una herramienta indelegable de los Estados, Nacional y

Provinciales. Pero además es un proceso técnico-político que apunta a inducir nuevos escenarios de desarrollo, uso y ocupación del territorio. Para ello depende en gran medida de la disponibilidad de información geográfica (ambiental, económica, sociocultural, cartográfica) de buena calidad y de personas capaces de procesarla e interpretarla.

Como todo proceso de toma de decisiones, son necesarios elementos de diagnóstico para reconocer las complejas causas concurrentes de los problemas y oportunidades, sus mutuas relaciones y sus efectos resultantes, deseables o indeseables. En la medida en que este diagnóstico se elabore con seriedad, será posible identificar los puntos y procesos críticos o más significativos sobre y a partir de los cuales la gestión pueda actuar en forma coordinada y convergente.

El OT debe implementarse a través de procesos participativos que recojan los aportes de todos los actores legítimos: agricultores, ganaderos, forestales, comerciantes e industriales; pequeños, medianos y grandes propietarios, trabajadores rurales, comunidades aborígenes, conservacionistas, etc., así como de los organismos técnicos y académicos provinciales o nacionales, y de las diversas instituciones de la sociedad.

Un aspecto esencial es el carácter prospectivo de los planes de OT, expresado en la formulación de escenarios futuros de largo plazo (a 10, 20, 25 años), lo que requiere de un consenso previo, para poder defender su continuidad en los distintos períodos de gobierno. A esta visión de largo plazo se le deben sumar procesos internos de corrección, para ajustarse a los cambios que pueden surgir por la adopción de nuevas tecnologías, obras de infraestructura, cambios climáticos, o de las condiciones económicas generales.

La formulación de los planes de OT tiene que tener en cuenta que el territorio sobre el que se va a implementar (ciudad, municipio o Provincia) es un espacio geográfico diverso por su base de recursos naturales, su desarrollo económico y social y sus tradiciones culturales, para reflejar esa diversidad desarrollando sus potencialidades, y para minimizar las limitaciones y problemas existentes.

El OT debe ser dotado del marco legal respectivo y de los recursos para capacitación, vigilancia, monitoreo y seguimiento. Esto requiere de la revisión y articulación del marco legal que lo regule, a fin de fortalecer las potestades institucionales para garantizar la gestión y administración territorial, promoviendo las leyes que confieran

competencias sobre esta materia a las instituciones correspondientes.

En este sentido, es esencial la adopción de medidas económicas y fiscales que incentiven a las prácticas productivas que apunten a la sustentabilidad del uso del territorio, así como de tasas o impuestos que desmotiven el uso inapropiado del suelo**.**

Una de las funciones básicas del Estado es la de adoptar acciones reguladoras y de planificación de la economía, lo que se vincula con su función de integración entre diversos sectores. Dos nuevas circunstancias surgidas después de la grave crisis del 2001 generan condiciones particularmente favorables para impulsar las políticas vinculadas con el OT en la Argentina: 1) la recuperación del papel protagónico por parte del Estado, y 2) el gran salto cuali-cuantitativo del campo, potenciado por un tipo de cambio favorable y por una demanda externa que por primera vez es fuerte y consistente para todos los sectores agrícolas y ganaderos. El reciente conflicto entre el campo y el gobierno nacional por el contrario, ha generado incertidumbre y un clima que dificulta la necesaria construcción de confianza, indispensable para impulsar estos procesos. Estos nuevos escenarios requieren redoblar los esfuerzos para alcanzar una capacidad estratégica competente para enfrentar de un modo eficaz, flexible y coherente las opciones de cambio.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Adámoli, J. 2004. Programa de Ordenamiento Territorial Formosa (POT For), Documento Base, OEA. 23 pág.

Bibiloni, H. 2006. Algunas consideraciones para un salto cualitativo a la cuestión ambiental en la Argentina. En *La Situación Ambiental Argentina 2005.* Fundación Vida Silvestre Argentina. 587 pág. A Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera, Editores.

Cavalli, L. A. 2007. Derecho de aguas. Documento de Trabajo Nº 168, Universidad de Belgrano.

Consejo de Europa. 1993. Carta Europea de la ordenación del territorio. Conferencia Europea de Ministros Responsables del OT – CEMAT.

Hildenbrand, A. 1996. Política de Ordenación del territorio en Europa. Junta de Andalucía y Universidad de Sevilla, Sevilla.

Kullock, D., Catenazzi A. y Pierro N. 2004. Veinte años de debate sobre planificación urbana. En: *Premio Anual de Arquitectura, Urbanismo, Investigación y Teoría 2000*. Colegio de Arquitectos de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 2004.

Mathus Escorihuela, M. 2007. Los conflictos de competencia sobre las aguas en países federales. La situación en la Argentina. Capítulo IV de *Agua y Territorio*. Ministerio de Medio Ambiente, Conf. Hidrogr. del Ebro. Ed. Aranzadi, Pamplona. 313 pág.

Massiris Cabeza, A. 2000. Ordenamiento territorial: experiencias internacionales y Desarrollos conceptuales y legales realizados en Colombia. Ed. Santafé de Bogotá.

Morello J., S. Matteucci y A. Rodríguez. 2001. Urban sprawl and landscape perturbation in high quality farmland ecosystems: the case of Buenos Aires metropolitan region. En: *Globalization and the rural environment*, Solbrig, O.T., C. Palmberg and F. Di Castri (eds.). Cambridge, DRCLAS -Harvard Univ. Press.

Oficina de Publicaciones de la Comisión Europea. 1995. Cooperación para la Ordenación del Territorio Europeo, Oficina de Publicaciones de la Comisión Europea, Luxembourg.

Sabsay, D. 2006. La legislación ambiental argentina. En: *La Situación Ambiental Argentina*

2005. Fundación Vida Silvestre Argentina. 587 pág. A Brown, U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera, Editores.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2007. Aportes para la gestión intersectorial Ed. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública. 2008. Plan Estratégico de Desarrollo Territorial 1816-2016. Ed. Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública 284 pág.

Viglizzo, E. 2001. La Trampa de Malthus. Buenos Aires, Eudeba.

Walsh, J. R. 2005. El ordenamiento territorial como presupuesto mínimo de protección ambiental. La Ley, 1.

Walsh, J. R. 2007. Capítulo 28: Land use law for sustainable development. En: *Argentina´s Constitution and general environment law as the framework for comprehensive land use regulation*. Ed. Natalie Chalifour et. Al. IUCN Academy of environmental law research studies. 632 pág.

Capítulo 1
Análisis de la situación alimentaria mundial y su probable impacto sobre la cadena agroindustrial argentina.

Otto. T. Solbrig

En este capítulo inicial presentamos un bosquejo del posible impacto de la situación alimentaria mundial sobre la cadena agroalimentaria argentina y el beneficio económico que la cadena puede derivar de un manejo eficiente y sustentable del ambiente físico y biológico, sugerencias que serán elaboradas en detalle en los capítulos que siguen.

La Argentina tiene una economía desarrollada y diversa con un ingreso medio por persona de U$S 5.150.- en el año 2006 (15.390.- en $PPP, World Bank 2007) que la coloca entre los países medios altos en la clasificación mundial. La fuente principal de riqueza del país a lo largo de su historia ha sido la extracción y elaboración de recursos naturales basado en un desarrollo agropecuario. La dependencia de la economía del uso de recursos naturales hace imperativo que se ponga especial atención a las interacciones entre el hombre y la naturaleza. El mercado exterior y también el creciente mercado interno están exigiendo pruebas que en la elaboración de productos se ha tomado en cuenta el impacto sobre el medio natural (Secilio 2005).

La ganadería y sus subproductos fueron los primeros productos que se comercializaron en nuestra historia y que se han venido exportando desde la época colonial. Hacia fines del siglo XIX se empieza a agriculturizar el país con el desarrollo de la agricultura de granos en la región pampeana, el cultivo de la caña de azúcar en Tucumán, y de la vid en la región de Cuyo. Estos cambios coinciden con una demanda de granos sobre todo trigo por parte de Europa e impulsan el bien conocido desarrollo del país a principios del siglo XX (Barsky y Gelman 2001).

La economía argentina ha soportado una serie de vaivenes desde entonces pero la importancia de la agricultura y la ganadería e industrias derivadas se sigue manteniendo. La superficie agrícola se ha expandido, tanto en la Pampa Húmeda, como también en otras regiones del país. Entre 1961 y 2007, la superficie bajo cultivos anuales o permanentes se incrementó de 19,5 millones de ha a más de 30 millones, es decir un incremento superior a diez millones de ha (53%) y el proceso de expansión continúa hasta nuestros días (Barsky y

Gelman 2001, Adámoli 2006). También aumentó la superficie dedicada a forrajeras permanentes y a plantaciones forestales, al igual que la de riego, que actualmente se aproxima a 1,7 millones de ha. El avance de la frontera agrícola se ha efectuado principalmente sobre ecosistemas naturales, como los pocos relictos de campos altos en la Pampa Húmeda, los bosques de caldén o de quebracho en el Chaco, el semiárido pampeano, los bosques húmedos chaqueños en Santa Fe, Chaco y Formosa, el parque mesopotámico, la selva misionera y las selvas de piedemonte en Tucumán y Salta (Timm, 2004; capítulo 7). Estos años han visto también un enorme crecimiento en la productividad agropecuaria y de la cadena agroindustrial que ha tenido un impacto considerable sobre los recursos naturales. El efecto de estos avances y su impacto actual y futuro sobre la cadena agroindustrial es un tema de este estudio.

El 67% del producto de la cadena agroindustrial se consume internamente y un 33% se exporta, lo que representa aproximadamente el 56% de las exportaciones y el 15% de las importaciones aportando divisas por aproximadamente U$S 20.000 millones anuales (Nogués y Porto 2007). La demanda interna y externa va a determinar en cierta medida el impacto ambiental de la cadena agroindustrial ya que una demanda en aumento va a poner presión sobre tierras vírgenes, sobre todo boscosas, pero a su vez el tipo de productos demandados por el mercado va a afectar al comportamiento de la industria desde un punto de vista ambiental. El sector externo que juega un rol importante en el desarrollo de la cadena agroindustrial está demandando no sólo productos, sino también sistemas de producción compatibles con un ambiente sustentable.

En este capítulo inicial presentamos un bosquejo del posible impacto de la situación alimentaria mundial sobre la cadena agroalimentaria argentina y el beneficio que la cadena puede generar a través de un manejo eficiente y sustentable del ambiente físico y biológico, sugerencias que serán elaboradas en detalle en los capítulos que siguen donde se analizará en más detalle cada uno de los impactos ambientales y se presentarán sugerencias sobre cómo eliminar o minimizarlos.

Los temas a tratar en este capítulo son los siguientes:

1. Cambios en la demanda y oferta de productos agrícolas
2. La desnutrición no es causada por la falta de oferta de alimentos, sino por la falta de demanda efectiva por parte de los segmentos menos pudientes de la población. Si bien

existe una necesidad, dichos segmentos no la pueden trasformar en demanda.
3. El aumento de la demanda está alimentando un avance de la frontera agrícola en los trópicos y subtrópicos que podrían provocar la degradación de esas tierras y un aumento significativo de gases invernadero. Es importante plantear cuál va a ser su impacto en el país.
4. El calentamiento global presentan una oportunidad y un riesgo para la cadena agroindustrial
5. La importancia de las buenas prácticas para la rentabilidad y el medio ambiente

1. Cambios en la demanda y oferta de productos agrícolas

La demanda de alimentos al nivel mundial esta condicionada por el tamaño de la población y su poder adquisitivo. Entre 1960 y 2000 el crecimiento demográfico mundial fue el más grande registrado en la historia humana, 2% anual. Las proyecciones demográficas realizadas al comienzo de este período de crecimiento indujeron a muchos autores a vaticinar un futuro de miseria y de hambre (Ehrlich 1975, Brown 1974, Sachs 1955) y el agotamiento de recursos naturales (Meadows et al. 1972). Sin embargo el crecimiento de la oferta de alimentos entre 1960 y 2000 fue de 2.2% anual (Fernandez Alés y Solbrig 2001) y en lugar de un deterioro el mundo vio una mejora considerable en el nivel de alimentación de la población.

La razón por la que no se cumplieron las predicciones pesimistas fue debida a dos factores: 1) el avance de la frontera agrícola sobre todo en los trópicos y subtrópicos (Ramankutty, et al. 2002), 2) el desarrollo e implementación de un paquete tecnológico que comprendía variedades de cereales de alto rendimiento, especialmente trigo, maíz y arroz, mayor uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas químicos, y el reemplazo de mano de obra campesina por maquinaria agrícola (Solbrig 1998, Tilman 1999). Este paquete conocido como “revolución verde” permitió un aumento de los rendimientos y un incremento en la superficie cultivada. También se duplicó la superficie bajo riego lo que contribuyó substancialmente al aumento de la producción.

Si bien se redujo enormemente la proporción de personas mal nutridas, debido a que la población mundial se duplicó en esos años, el número absoluto de personas mal nutridas no se redujo. Además la reducción de la mal-nutrición fue geográficamente muy desigual, con ciertas regiones -SE de Asia, norte de África- mostrando grandes mejoras y otras regiones -África al sur del Sahara, Asia central- sin mejoras apreciables y en ciertos casos

mostrando una situación desmejorada (Fernandez Alés y Solbrig 2001, World Bank 2007, FAO 2008).

El paquete tecnológico de la "revolución verde" si bien resolvió en gran medida el problema de abastecimiento de alimentos a una población en aumento, trajo consigo otros problemas, sobre todo problemas ambientales.

El uso de maquinaria agrícola muy poderosa con una tecnología basada en el arado y la producción de una camada uniforme para la siembra (conocida en nuestro país como agricultura convencional) incrementaron significativamente la tasa de erosión de los suelos, al punto que la erosión se ha convertido en el principal problema ambiental. De acuerdo a varios estudios (Pimentel et al. 1995, Yang et al. 2003), en el mundo debido a la erosión, anualmente se pierden aproximadamente 0.38 mm de suelo por año que equivale a 10.2 Tm por Ha. Pero estos números promedio no son muy útiles, ya que la erosión es un problema puntual, y la tasa depende de las características físicas y climáticas de cada región y de las tecnologías agrícolas empleadas. Volvemos a este tema en los capítulos 9, 11 y 12 donde presentamos datos puntuales sobre la Argentina.

Introducción de la siembra directa.

Para reducir el problema de la erosión que se había tornado muy serio (INTA 1991, Secretaría de Agricultura 1995) se introdujo en la Argentina en la década de 1980 la tecnología de la "siembra directa" desarrollada originalmente en la Universidad de Kentucky (USA). Esta tecnología reemplaza la arada y la preparación de una camada de siembra por la implantación de la semilla directamente sobre el rastrojo (capitulo 12). Con esta tecnología se puede reducir la erosión hasta en aproximadamente un orden de magnitud aunque los resultados dependen de los suelos y los regímenes de rotaciones (capítulos 8 y 12). La siembra directa se difundió rápidamente en la década del 1990 y hoy en día aproximadamente un 70% de la superficie dedicada al cultivo de granos en la Argentina es labrada con esta tecnología. Esto ha reducido pero no ha eliminado el problema de la erosión creando nuevos problemas (Capítulos 9 y 12).

La siembra directa utiliza herbicidas químicos para controlar malezas. Algunos de estos herbicidas son muy tóxicos (por ejemplo la atrazina) y su uso extensivo tiene el

potencial de contaminar napas freáticas y cursos de agua que sirven de fuentes de agua potable (Costa et al. 1996, Casas 2001). La introducción de variedades de maíz y soja resistentes al herbicida glifosato (de muy baja toxicidad) ha resuelto en gran parte el problema de contaminación por herbicidas químicos para estos cultivos. Sin embargo el problema continúa con otros cultivos no resistentes y sobre todo con cultivos fruti-hortícolas.

La siembra directa también engendró un problema financiero al eliminar parte del parque de maquinaria (arados, rastras, sembradoras convencionales) del productor de granos y reemplazarlo por sembradoras de siembra directa que requieren una inversión significativa. Este cambio afectó principalmente a los pequeños productores, que no siempre pudieron enfrentar los nuevos costos. El uso de contratistas, productores ricos en maquinarias pero no en tierras, para las labores de siembra, el trabajo en redes, y el arriendo de tierras, fueron cambios que ayudaron a resolver problemas y consolidar una nueva agricultura.

La siembra directa permitió el avance de la frontera agrícola sobre regiones de menor precipitación ayudada por un aumento de las lluvias en la región pampeana (Viglizzo y Frank 2006; capítulo 3). Como ya describiera David Ricardo en 1817 la frontera agrícola se va a extender hacia tierras de menor valor mientras las rentas obtenidas sean mayores que los costos. Pero al avanzarse sobre tierras más frágiles en la zona oeste y sobre todo en el Chaco, aún con tecnologías conservacionistas como son la siembra directa, aumenta significativamente el riesgo de erosión. Los problemas originados por el avance de la frontera agrícola son descriptos en los capítulos 3, 8, 10 y 11.

Demanda internacional de productos agrícolas

El crecimiento de la población mundial continúa pero ahora a una tasa anual cada vez menor. A su vez la situación alimenticia mundial ha mejorado sensiblemente. La proporción de personas recibiendo menos de 2.200 Kcal. por día bajó de 57% en 1964-66 a sólo 10% en 1997-99 (World Bank 2007, FAO 2008). El Banco Mundial y la FAO proyectan que las mejoras en la nutrición de la población mundial continuarán. A su vez, la reducción en la tasa de crecimiento de la población mundial y el aumento de la producción

agrícola en muchos países en desarrollo, posiblemente reducirán el crecimiento de la demanda internacional para productos agrícolas. La demanda que en el período 1980-2010 se incrementó a un promedio anual de 2,2%, se prevé que se reducirá a una tasa de 1,5% en el período 2010-2040 (FAO 2008) sobre todo de cereales.

La demanda de productos agrícolas también ha mostrado un cambio en su composición acorde con el incremento del poder adquisitivo en los así llamados "países emergentes," sobre todo la China, la India y otros países del sur-este asiático. La demanda de cereales ha bajado mientras que la demanda de productos cárnicos, de aceites y de productos lácteos ha subido. Estos cambios en la demanda se reflejan en la producción agrícola argentina, ya que ha bajado el porcentaje del área dedicada a la producción de maíz y trigo y ha subido el área dedicada a la producción de oleaginosas (soja, girasol), y productos lácteos. La producción de carne vacuna está estancada debido en parte a políticas nacionales que favorecen el mercado interno sobre el externo.

Últimamente ha habido un aumento significativo en los precios internacionales de productos agrícolas lo que ha creado o contribuido a problemas de inflación en muchos países incluyendo el nuestro. Las razones de estos incrementos no son del todo claras. Un factor es que la oferta no ha crecido al mismo ritmo que la demanda. Otro factor muy importante ha sido la pérdida de valor del dólar USA, ya que las commodities agrícolas se cotizan en dólares en los mercados internacionales (Ingaramo 2008a, b). El uso de ciertas commodities agrícolas, sobre todo maíz y soja para producir biocombustibles también ha contribuido al aumento de los precios. La importancia relativa de estos factores es difícil de estimar.

El uso de cultivos (maíz, soja, colza, azúcar, aceite de palma) para producir biocombustibles compite con la producción de alimentos

Con el precio del barril de petróleo oscilando entre 100 y 140 dólares, hay un interés muy grande de encontrar alternativas que reduzcan la dependencia de la sociedad moderna del petróleo y que permitan mantener el tipo de vida basado en el automóvil y el uso de energía. De allí el interés en biocombustibles como una alternativa con la esperanza de que eso reduzca la dependencia de la sociedad en el petróleo y reduzca el precio de la energía.

Sin embargo desde un punto de vista puramente energético los Biocombustibles fabricados en base a commodities agrícolas posiblemente no sean una alternativa viable en el largo plazo ya que compiten con la producción de alimentos. El uso de abonos nitrogenados descarga N_2O en la atmósfera, un gas-invernadero muchas veces más efectivo en el calentamiento global que el CO_2 (Crutzen et al. 2007). Además en el caso de alcohol basado en maíz y caña de azúcar, si se toma en cuenta la energía invertida en el cultivo del maíz o la caña la ganancia energética obtenida es pequeña (se usa en fabricarlo entre 60% y 95% de la energía del alcohol producido). Con siembra directa el balance se vuelve algo más favorable, pero el ahorro sigue siendo pequeño, sobre todo si se toma en cuenta el efecto invernadero del N_2O (Donato y Huerga 2007). El balance de energía es más favorable con el biodiesel pero los cultivos de base (soja, colza, girasol) son menos productivos que el maíz o la caña de azúcar. El uso de celulosa, lo que se llama tecnología de segundo nivel (capítulo 5) tiene más futuro en el largo plazo que el uso de alimentos (soja, maíz, caña de azúcar, palma aceitera) pero la tecnología aún no está totalmente desarrollada. Tecnologías de tercer nivel basadas en el cultivo de algas son muy prometedoras, pero todavía están en una primera fase de desarrollo.

Pero hay otro problema de interés grande para la cadena agroindustrial. En los países desarrollados el alcohol y el biodiesel no son competitivos en precio, inclusive con el barril de petróleo a U$S100.- De allí es que surgen los subsidios para el alcohol en USA y las restricciones a la importación y subsidios al biodiesel en Europa. El alcohol en USA es básicamente un subsidio para los productores de maíz y el mercado está cerrado a la importación. En USA el alcohol en base a maíz no podría competir en un mercado abierto con el alcohol obtenido de la caña de azúcar en Brasil. Para la gran mayoría de los productores de biocombustibles en los países desarrollados el negocio básicamente consiste en cosechar subsidios.

En Europa el biocombustible preferido es el biodiesel preparado en base a la colza que es un cultivo corriente en Europa sobre todo en Francia. Para la agroindustria argentina que produce biodiesel pero poco alcohol, el mercado europeo de biocombustibles es de gran interés. Sin embargo los Europeos están debatiendo exigir que el biodiesel que se importa este certificado que esta producido "sustentablemente" (definido como cultivado

sin agroquímicos) lo que eliminaría a la Argentina porque usamos fertilizantes y herbicidas químicos en el cultivo de la soja. Estas restricciones son de enorme interés para la cadena agroalimentaria. Las altas tarifas aduaneras en USA resultan en un mercado cerrado a la importación.

Hay otro debate que gira alrededor de los biocombustibles de primer orden y es si es deseable usar alimentos para producir energía en un mundo con 10% de personas mal nutridas ya que al incrementarse la demanda de alimentos para producir biocombustibles puede resultar en un aumento en el precio de los alimentos lo que ya ha ocurrido aunque el aumento se debe sólo en parte a los biocombustibles. Sin embargo creemos que es la rentabilidad del negocio de los biocombustibles lo que va a determinar su futuro.

Las cereales y las oleaginosas han aumentado de precio entre 120 y 300% debido en gran parte a la pérdida de valor del dólar (Ingaramo 2008a, b) y al crecimiento económico de China y la India (y otros países emergentes) que son casi la mitad de la población mundial y que se han vuelto importadores de productos agrícolas cuando hace diez años se autoabastecían (China) o exportaban un pequeño excedente (India). El índice de pobreza en esos países ha bajado lo que incrementa la demanda de alimentos, pero en otras partes del mundo -especialmente África y Asia Central, pero también en algunos países Latinoamericanos- la pobreza ha aumentado. La desnutrición y la pobreza están muy atadas a los precios de los alimentos (Sen 1999) y la demanda de maíz y soja para confeccionar alcohol y biodiesel puede estar contribuyendo al aumento de los precios. Al margen de las controversias sobre el tipo de medidas y la efectividad de las mismas, el esfuerzo que está haciendo el gobierno argentino para mantener bajos los precios de los alimentos refleja el problema que enfrentan las naciones en proteger a los más necesitados en un mundo donde los precios de los commodities agrícolas han aumentado entre 100% y 300%.

El aumento del precio de las commodities, la producción de biocombustibles, y los impuestos a la exportación son tres temas entrelazados. Los gobiernos y las personas de todos los países desean mejorar su nivel de vida actual sobre todo en los países emergentes. Ese deseo choca contra la disponibilidad de petróleo barato necesario para mantener las sociedades de consumo. Eso lleva a los gobiernos a buscar alternativas al petróleo, de allí

el interés en los biocombustibles. Pero el uso de commodities agrícolas para producirlos al parecer hace subir los precios lo que amenaza con aumentar la pobreza en muchos países y hace que los gobiernos busquen maneras de reducir el precio de los alimentos, ya sea por medio de subsidios o manipulaciones del mercado. Pero no se pueden resolver todos estos aspectos a la vez: si no baja el precio, aumentará la pobreza, y si tratamos de manipular el mercado podemos reducir la producción lo que también llevara al aumento de los precios. La única solución es aumentar la producción que es la manera de reducir los precios. Estos problemas no son de fácil solución.

2. La desnutrición no es causada por la falta de oferta, sino por la falta de demanda de los segmentos menos pudientes de la población.

Un debate de bastante larga duración es si el hambre y la desnutrición es un problema creado por falta de oferta de alimentos o por falta de capacidad de adquisición (demanda) por parte de los pobres. Es indudable que si hay falta de oferta el resultado va a ser el desabastecimiento. Ese fue el argumento esgrimido por los que hace treinta años vaticinaron grandes hambrunas para fines del siglo XX (Ehrlich 1975, Brown 1974). De acuerdo a ellos el mundo no tenía capacidad para producir alimentos para seis mil millones de personas. Pero no resultó así y la proporción de personas desnutridas disminuyó en lugar de aumentar.

La falacia cometida resultó de extrapolar la productividad agrícola de 1960 al año 2000 ya que en el ínterin las tecnologías de la revolución verde aumentaron dramáticamente la productividad agrícola (Solbrig 1994). De acuerdo a la economista danesa Esther Boserup (1965) es la demanda la que condiciona la oferta y que impulsa la adopción de nuevas tecnologías para suplir la demanda. Pero si bien es cierto que esa ha sido la dinámica hasta ahora, también es obvio que eventualmente pueden aparecer limitantes biológicas o ambientales que pongan un techo a la productividad de un cultivo. Es también obvio que la tierra agrícola y el agua necesaria para los cultivos son finitas y que eventualmente pondrán un límite a la expansión agrícola. Por lo tanto si bien hasta ahora ha sido la demanda la que ha determinado el nivel de producción, es posible que se pueda llegar a un punto en que habrá demanda insatisfecha debido a limitantes biológicas y físicas.

Está bien comprobado que el hambre y la desnutrición en el mundo actual son debidos principalmente a la falta de poder adquisitivo de los sectores menos pudientes de la población lo que deprime la demanda de alimentos (Sen 1999, World Bank 2007). La pobreza esta concentrada en África central y en Asia central y es en esas regiones donde encontramos los problemas mas serios de desnutrición.

En los últimos 20 años, en el agro argentino han ocurrido importantes transformaciones impulsadas por una demanda exterior. En los años 70, se empezó a cultivar soja, proveniente originalmente de la China. Se pensaba que esa oleaginosa no se iba a dar en la pampa. Curiosamente en los Estados Unidos cuando se introdujo la soja en la década de 1930, también se pensaba que no iba a dar, lo que demoró su adopción. La difusión del cultivo de la soja en la Argentina coincidió primero a fines de los años 80 con la posibilidad de hacer un doble cultivo (trigo en invierno y soja en verano), pero tomó un verdadero impulso con la introducción de una nueva manera de cultivar –la siembra directa—lo que creó una sinergia muy positiva: la baja en el costo de producción y un aumento en los ingresos debido al mejor precio de la soja comparado con el maíz o el trigo. El éxito de esta combinación a su vez permitió la expansión de la frontera agrícola. Tierras consideradas marginales en el sistema convencional, pasaron a ser tierras aptas utilizando siembra directa (Trucco 2008). En la década de 1990 se introdujo a la Argentina la soja RR, resistente al herbicida glifosato (*roundup)* lo que abarató y simplificó el cultivo. La década de 1990 a su vez coincide con una nueva política fiscal que elimina o reduce significativamente los impuestos distorsivos a la producción (las así llamadas retenciones) lo que da un impulso a la producción agrícola aún a pesar de precios internacionales bajos. Sin embargo los bajos precios y las inversiones en maquinaria, semillas y fertilizantes junto con la sobrevaluación del dólar llevan al endeudamiento del campo (Bisang 2007). El desarrollo del cultivo de la soja y la ampliación de la superficie sembrada como a su vez la adopción masiva de una nueva tecnología más rentable apoyan la teoría de Boserup (1965) que mantuvo que es la demanda la que determina la producción y la introducción de nuevas tecnologías.

3. El aumento de la demanda está alimentando un avance de la frontera agrícola en los trópicos y subtrópicos que podrían provocar la degradación de esas tierras y llevar

a un aumento significativo de gases invernadero

¿Qué nos deparará el futuro? El razonamiento convencional y la experiencia del pasado (Timmer 1998) hacen pensar que la oferta va a aumentar apoyada por la demanda de alimentos y biocombustibles y esto a su vez va a reducir los precios de los productos agrícolas.

La demanda de cereales para alimento humano y animal creció a un 2,5% anual en la década de 1970, para bajar a 1,9% diez años después y a sólo 1% a fin de siglo (WAOB 2008). La producción mundial de cereales en 2005-06 fue de 2.016 millones de Tm y se estima alcanzará sólo las 1.990 millones de Tm en 2007-08. Las oleaginosas en cambio han visto el mayor crecimiento entre los cultivos anuales expandiéndose en 75 millones de Tm entre 1970 y 2000. En 2005-06 la cosecha mundial fue de 3.910 millones de Tm y para la zafra 2006/07 se estima se producirán 4.080 millones de Tm. (WAOB 2008).

Estos registros tienen un reflejo en la Argentina. La superficie dedicada al cultivo del maíz y del trigo se incrementó muy poco pero aumentó muy significativamente la superficie dedicada al cultivo de oleaginosas, especialmente la soja (figura 1). Esto fomentó el desarrollo de un polo de molienda y extracción de aceite de soja situado en la zona de San Lorenzo en la provincia de Santa Fe.

La difusión de la soja, el aumento de la superficie cultivada, y la introducción de semillas genéticamente modificadas, y el uso más intenso de agroquímicos han alarmado a ciertos sectores de la población y del gobierno. Se teme que el monocultivo de soja sea en detrimento de la salud de los suelos y que afecte la salud económica de la población rural, sobre todo de los productores con menos superficie. Sin embargo no existe ninguna información científica rigurosa que apoye estas conclusiones.

Es imposible predecir exactamente lo que va a ocurrir. Las fronteras agrícolas generalmente son zonas de explotación de recursos naturales en las que hay poca protección o conciencia ambiental (Foweraker 1981). Para evitar que eso ocurra es importante que se planifique a través de un ordenamiento territorial (capítulo 13) y que las autoridades implementen los planes racionales de uso del territorio. Es muy importante para el futuro del país que el avance de la frontera se haga de una manera racional y ordenada. La sobreexplotación de los recursos forrajeros en la Patagonia, principalmente

con ganado ovino, ha producido una seria degradación en esa zona en la que grandes extensiones han sido abandonadas. Pero también en zonas mejor dotadas como la región pampeana ha habido una degradación de los recursos naturales (capítulos 7 y 8).

4. El calentamiento global presenta una oportunidad y un riesgo para la cadena agroindustrial

El uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) hizo posible el desarrollo de la revolución industrial que a su vez incrementó sensiblemente el nivel de vida humano. Hoy en día el ciudadano medio argentino vive en mejores condiciones que los reyes medievales. La máquina de vapor, el motor de combustión interna, el ferrocarril, la energía eléctrica y cientos de otros avances técnicos y científicos han producido la mayor trasformación en las sociedades humanas desde la adopción de la agricultura.

Pero estos cambios no han ocurrido sin un costo. Las mejores condiciones sanitarias y los avances en el conocimiento de las causas de las enfermedades contagiosas redujeron la mortalidad infantil y duplicaron la expectativa de vida. La reducción de la mortalidad sin una correspondiente reducción de la natalidad indujo un crecimiento demográfico mundial que incrementó seis veces la población mundial, de uno a seis mil millones de personas. De acuerdo a las predicciones presentes, la población mundial seguirá en aumento por lo menos hasta mediados de siglo, en que se espera se estabilice en unos nueve mil millones de personas.

La enorme población humana actual y el abultado uso de recursos naturales – agua, tierra, minerales, combustibles fósiles—de las sociedades modernas han sido devastadores para los ecosistemas naturales que han desaparecido en muchas partes del mundo reemplazados por campos de cultivo e infraestructura humana (ciudades, caminos, fábricas). El área geográfica ocupada por innumerables especies de plantas y animales se ha reducido y muchas especies han desaparecido, aunque no sabemos cuántas porque no existe un inventario.

La integridad del medio natural es necesaria para la existencia humana. La naturaleza nos provee de alimentos (a través de la agricultura, la ganadería y la pesca, que dependen del suelo y del agua), de agua potable, y de aire. La destrucción de ecosistemas

naturales aumenta la erosión de los suelos y reduce la infiltración de agua en el suelo aumentando la escorrentía. La contaminación de suelo, agua y aire resultado de la agricultura de altos insumos químicos puede ser malsana para la población si el uso de agroquímicos es excesivo y a su vez reduce la productividad de la cadena agroindustrial. Estos temas son discutidos en más detalle en los capítulos 7-9.

La gradual contaminación del aire en los últimos doscientos años ha creado una seria crisis que se conoce bajo el nombre de *calentamiento global* (capítulo 3 y 4) pero que es más amplia ya que incluye problemas como la gradual destrucción de la capa de ozono y la contaminación de la atmósfera inferior con radicales de azufre y nitrógeno, que se conoce con el nombre de lluvia ácida (expresión impropia, ya que la lluvia, aún en el lugar menos contaminado y prístino es ácida).

El aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O) y de metano (CH_4) en la atmósfera es la principal causa del calentamiento global. La agricultura y la ganadería son parte del problema y han contribuido entre un 30 y un 40% de los gases responsables del calentamiento global. Los principales fuentes de gases invernadero producidos por la agricultura son la oxidación de la materia orgánica de los suelos, la destrucción de bosques con la consiguiente reducción de la madera a CO_2, la producción de metano especialmente por los rebaños de animales rumiantes domésticos, el uso de fertilizantes nitrogenados fuentes de N_2O y últimamente el uso de combustibles fósiles en las labores rurales y en el trasporte de productos agropecuarios.

El aumento de la temperatura ha tenido varias consecuencias secundarias, las cuales se discuten en detalle en los capítulos 3 y 4. Hielos y glaciares en la Antártida y en la Cordillera de los Andes se están derritiendo y retrayendo. Además de un posible costo económico (a través del turismo) de la retracción de los glaciares, las aguas de deshielo están contribuyendo a un aumento de la superficie oceánica y creando un problema serio en zonas costeras, ya que aumenta la erosión de las costas y la infraestructura humana de puertos, playas, y ciudades costeras es amenazada. El costo monetario del calentamiento global no va a ser trivial para la Argentina.

Sin embargo la Argentina puede obtener un pequeño beneficio que compense en parte los costos del calentamiento global. Como se explica en los capítulos 3 y 8, se

predice que el aumento de la precipitación en la zona centro este y centro norte del país que se viene observando en la segunda mitad del siglo XX, va a continuar. Ello favorecerá el cultivo en secano en esas regiones y podría llevar a un aumento en la productividad agropecuaria, siempre y cuando se utilicen tecnologías apropiadas (capítulo 12). Sin embargo el aumento de la temperatura al aumentar la evapotranspiracion puede anular el efecto benéfico del aumento de la precipitación (capítulo 3).

Para la cadena agroindustrial argentina es importante que se tomen en cuenta los costos y beneficios del cambio global, incluyendo no sólo el calentamiento global, sino también el impacto a nivel mundial de las medidas que se tomen para reducir el impacto de este fenómeno. Es muy probable que aparezcan trabas para la comercialización de productos que en su producción han contribuido al calentamiento global. La cadena agroindustrial argentina debería anticipar esas medidas adoptando tecnologías de punta que reduzcan su impronta negativa sobre el medio ambiente. En el mundo comercial de hoy en día el poder anticipar las demandas futuras confiere una ventaja competitiva. Los productores argentinos se benefician con una región con buenos recursos naturales y con un cambio climático que de acuerdo a los pronósticos podría llevar a un aumento de la productividad. Sin embargo, de no usar buenas prácticas agrícolas podrían perder esas ventajas comparativas en un ambiente mundial en que se va a valorar cada vez más la manera en que se producen los bienes de la cadena (Secilio 2005).

El aumento de la demanda está alimentando un avance de la frontera agrícola en los trópicos y subtrópicos que podrían provocar la degradación de esas tierras y a un aumento significativo de gases invernadero. Especialmente en las provincias del norte argentino –Chaco, Formosa, Salta, Santiago del Estero y del litoral, Entre Ríos y Corrientes—está avanzando una frontera basada en cultivos de soja y arroz que puede producir daños ambientales considerables más allá de los ya producidos por una ganadería extensiva y una explotación irracional del bosque, sobe todo los quebrachales (capítulos 10 y 11).

5. La importancia de las buenas prácticas para la rentabilidad y el medio ambiente

La protección del medio ambiente generalmente se presenta como una cuestión ética o como una cuestión práctica de sobrevivencia de nuestra civilización industrial

(Viglizzo et al. 2003; Solbrig 2007, capítulo 2). Si aumentara la temperatura de la atmósfera (capítulo 3), el nivel de los mares (capítulo 4), la erosión de los suelos (capítulo 7-9), la sobre-explotación de recursos naturales, y la contaminación de la atmósfera y cuerpos de agua, no cabe la menor duda de que esto creará problemas enormes para las sociedades industriales y post-industriales que en un extremo podrían poner en peligro la misma existencia de estas sociedades. Pero si bien estos escenarios apocalípticos no son sólo imaginarios (Diamond 2005; Tainter 2006) hay razones económicas más inmediatas que aconsejan adoptar políticas que favorezcan tecnologías menos contaminantes (capítulo 6).

Vivimos en un mundo globalizado en que es muy difícil la autarquía total de las naciones. Las modernas comunicaciones permiten la difusión casi instantánea de noticias de todo tipo y el abaratamiento del trasporte aéreo permite a las personas experimentar personalmente las culturas y civilizaciones de otros países. El ciudadano argentino está interiorizado de los acontecimientos políticos y culturales en países que hace cincuenta años apenas si se conocían. El turismo, que permite conocer personalmente regiones hasta hace poco consideradas exóticas, es la industria que más ha crecido en los últimos veinte años. Una serie de tratados comerciales internacionales (Organización Mundial de Comercio) y financieros (FMI, BID, Banco Mundial) y bilaterales (MERCOSUR) crean obligaciones que extienden garantías y privilegios y a su vez limitan las decisiones de los países. Aquellos que no se adhieren a este nuevo orden mundial (caso Myamar o Corea del Norte) se ven perjudicados económicamente al no tener acceso a mercados internacionales y a financiación para sus productos.

En este nuevo mundo operan dos fuerzas contradictorias. Por un lado la globalización está creando organizaciones (Unión Europea, Nafta, MERCOSUR) en las que los países aceptan adoptar políticas comunes sobre todo en la parte comercial con tribunales supranacionales, que permiten dictaminar en contra de políticas nacionales. A su vez, hay una fuerza opuesta que privilegia lo local sobre todo en la parte cultural. Por ejemplo, los movimientos indigenistas en América latina y en nuestro país que tratan de rescatar el idioma y las costumbres de los descendientes de la población pre-colombina.

En este nuevo clima el uso de recursos naturales y la protección del ambiente

figuran prominentemente. Las nuevas reglas del comercio internacional permiten a los países impedir la importación de productos que no cubren ciertas normas sanitarias o ambientales internacionales (Secilio 2005). Un caso doloroso para la Argentina es la prevalencia de aftosa en los rebaños vacunos argentinos. Durante la primera mitad del siglo XX a pesar de la existencia de aftosa, la Argentina fue el primer exportador de carne vacuna en el mundo que se destinaba principalmente a los mercados europeos. Después de la segunda guerra mundial muchos países adoptaron medidas para impedir la importación de carne vacuna proveniente de países con aftosa, prohibición que se incorporó a tratados internacionales y que cerró mercados para la carne argentina, a pesar de la evidencia científica que cuestiona que la aftosa se pueda trasmitir a través de la carne congelada.

Con la toma de conciencia de parte del público y de las autoridades acerca de las amenazas para el bienestar general que puedan ser provocadas por el calentamiento global, la deforestación, el avance de la frontera agrícola y la pérdida de biodiversidad, los países están comenzando a tomar medidas para impedir la importación de productos que no cumplan con ciertas normas ambientales internacionales, lo que se ha dado en llamar artículos producidos en forma sustentable. En muchos casos la justificación científica para las medidas que se toman es dudosa, como por ejemplo la barrera que ha puesto la Unión Europea a la importación de cereales, oleaginosas y algodón producidas por variedades transgénicas, los así llamados productos genéticamente modificados. No existe ninguna base científica que indique que estos productos son malsanos o que presenten un peligro para el ambiente.

Estas preocupaciones existen no sólo a nivel internacional, sino también localmente. En un país netamente urbano como es la Argentina existe la preocupación en el público consumidor de que los alimentos estén contaminados con agroquímicos o que su producción esté afectando el ambiente. La preocupación de que la soja esté degradando los suelos no tiene fundamento científico, sin embargo el mito de la soja degradante ha llegado hasta a las más altas esferas del gobierno. También preocupa a la población urbana el bienestar de la población rural (capítulo 10).

Estos desarrollos afectan directamente la cadena agroindustrial argentina. Como demuestra la historia reciente, (cuando se negó la existencia de brotes de aftosa), un país

que no respeta normas internacionales se arriesga a perder mercados. Hoy en día la Argentina es el cuarto exportador de carnes vacunas cuando hace cincuenta años era el primero.

¿Cuáles son entonces los problemas ambientales que debemos atender? En los capítulos que siguen se explicitarán muchos de ellos, pero se los puede agrupar en dos categorías principales: la contaminación real o imaginada del producto que se vende o exporta y la manera en que se produce.

Posibles problemas

Un problema para la cadena agroindustrial es el problema de contaminación. La contaminación tiene diversas fuentes. En primer lugar la existencia de residuos de agroquímicos que representan un peligro para la salud del consumidor puede ser muy negativa para el productor. Este es un problema serio particularmente para la cadena fruti-hortícola donde la Argentina ha estado ganando mercados, pero puede potencialmente transformarse también en un problema en la cadena de comercialización y elaboración de granos y oleaginosas. El uso de ciertos agroquímicos ha sido el pretexto aducido en USA para impedir la importación de limones argentinos.

La contaminación de cursos de agua por parte de agroquímicos pero especialmente por parte de la industria (y no sólo la agroindustria) es un problema serio en diversas partes del país, como por ejemplo en la zona de Mar del Plata-Balcarce donde se ha expandido la producción hortícola (Costa et al. 1996). Otras industrias muy contaminantes son las curtiembres y las plantas de producción de celulosa y de papel en Misiones que no siempre respetan las regulaciones en esta materia. Parte del problema son plantas industriales con tecnologías anticuadas, ya que las nuevas curtiembres y papeleras han reducido la contaminación a cerca de cero. El problema es por lo tanto en gran medida económico.

Finalmente la tendencia mundial y nacional por parte del consumidor es de favorecer la producción sustentable, aunque no es muy claro qué se entiende por sustentable (capítulo 2) y las decisiones de parte de las autoridades y organizaciones de protección al consumidor son muchas veces algo arbitrarias. Así, por ejemplo, hay un

sesgo internacional a favor de la producción orgánica, mientras se ignoran los beneficios de la siembra directa, o se la acusa de ser una tecnología contaminante debido al uso de herbicidas. También hay un sesgo a favor del pequeño productor aún cuando éste muchas veces provoque más degradación por sobre-uso de la tierra y falta de capital.

¿Es posible conciliar la producción con el cuidado del ambiente?

Entre los sectores de la producción, al igual que en todos los demás sectores de la sociedad, hay quienes actúan con responsabilidad, obteniendo ventajas competitivas por la adopción de innovaciones tecnológicas o de gestión. Pero también hay sectores que obtienen ventajas competitivas a partir de la trasgresión, mediante la evasión impositiva, el trabajo en negro, trabajo infantil, desmontes ilegales, etc. Es frecuente que algunas organizaciones ambientalistas utilicen estos últimos casos, para hacer ataques indiscriminados contra todo el sector de la producción.

La cadena agroindustrial argentina puede favorecer el comportamiento responsable al defender y promover activamente la adopción de Planes de Gestión Ambiental en los que estén contempladas las buenas prácticas agrícolas, así como el respeto a toda la normativa vigente en materia laboral, ambiental e impositiva. En un plano más elevado estas prácticas pueden dar lugar a procesos de certificación validados internacionalmente, que a su ve están teniendo mayor penetración en los mercados.

6. Consideraciones finales

En esta introducción hemos cubierto a vuelo de pájaro los principales temas que se tratan en más detalle en los capítulos que siguen. Nuestro objetivo en este estudio es mostrar en primer lugar que existen problemas ambientales serios en la Argentina. Las causas y los tipos de problemas son diversos como se explicitará oportunamente en este estudio. Si estos problemas no se resuelven pueden incidir negativamente en la rentabilidad de las actividades de las industrias que componen la cadena agroindustrial argentina. Pero más allá de las consideraciones económicas, un ambiente sano es algo que todos los argentinos merecen tener.

La naturaleza no sólo es la fuente de nuestra alimentación y la proveedora de recursos minerales y energéticos. La naturaleza también es la fuente del aire y del agua sin

las cuales no podemos vivir (Carreño y Viglizzo 2008). La naturaleza –lo que muchos llaman capital natural (Daly 1996; capítulo 2 y 6) — es la fuente de toda la riqueza humana.

Pero más allá de estas consideraciones prácticas, la naturaleza es una fuente de tranquilidad, de goce estético y de un valor ético esencial. Muchas veces los medios se mofan de los que nos preocupamos por las flores, los árboles y los pajaritos. Sin embargo, si no aceptamos seriamente una ética de protección ambiental no sólo nos empobrecemos espiritualmente, sino que a la larga podríamos afectar negativamente el futuro de nuestra civilización.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Adámoli, J. 2006. Problemas *ambientales de la agricultura en la región chaqueña*. En Brown, A., U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.), La Situación Ambiental Argentina 2005, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 436-442.

Barsky, O. y J. Gelman. 2001. *Historia del Agro Argentino*. Buenos Aires: Grijalbo Mondadori.

Bisang, R. 2007. *El desarrollo agropecuario en las últimas décadas: ¿Volver a crecer?* En Crisis, Recuperación y Nuevos Dilemas. Buenos Aires: CEPAL.

Boserup, E. 1965. *The Conditions of Agricultural Growth: The economics of Agrarian change and population pressure*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Brown, L. 1974. *In the Human Interest*. New York: Norton.

Carreño, L. y E. Viglizzo 2008. *Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina*. Buenos Aires: INTA Casas, R. 2001. *La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas*. Buenos Aires: Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Costa, J. L.E. Suero, F. Bedmar, E. Bocanegra y E. Martines. 1996. *Contaminación de acuiferos superficiales por lavado de nitratos.* INTA Publicación Técnica No. 6.

Crutzen P. J., A. R. Mosier, K. A. Smith y W. Winiwarter. 2007. *N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels*. Atmos. Chem. Phys. Discuss., **7:** 1119-11205.

Daly, H. E. 1996. *Beyond Growth*. Boston: Beacon Press.

Diamond, J. 2005. *Collapse. How societies choose to fail or succeed*. New York: Viking

Donato, L. B. y I. R. Huerga. 2007. *Principales Insumos en la Producción de Biocombustibles. Un análisis económico*. Buenos Aires: INTA.

Ehrlich, P. 1975. *The Population Bomb*. Rivercity, Ma.: Rivercity Press.

FAO, 2008. *The State of Food Insecurity in the World*. FAO: Roma.

Foweraker, J. 1981. *The Struggle for Land*. Cambridge: Cambridge University Press.

Fernandez Alés, R. y O. T. Solbrig. 2001. *Are Famine and Malnutrition questions of Supply or Demand? Implications for Environmental Rural Sustainability*. In O. T. Solbrig, R. Paarlberg and F di Castri, (eds.) Globalization and thee Rural Environment. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.

Ingaramo, J. 2008a *¿Qué pasará con el precio de los granos?* La Nación (Buenos Aires), suplemento Campo, 16 de febrero de 2008.

Ingaramo, J. 2008b *Lousteau se equivocó con las retenciones*. La Nación (Buenos Aires), Economía, 22 de marzo de 2008.

INTA. 1991. *Seminario Juicio a nuestra agricultura*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.

Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Tanders y W.W. Behrens III. 1972. *The limits to Growth*. New York: Universe Books.

Nogués, J. y A. Porto (coord.) 2007. *Evaluación de los impactos económicos y sociales de políticas públicas en la Cadena Agroindustrial*. Buenos Aires: Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.

Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarno, K. Sinclair, D. Kurz et al. 1995. *Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation benefits*. Science 267: 1117-1124.

Ramankutty, N., J. A. Foley y J. Olejniczak. 2002. *People on the Land: Changes in Global Population and Croplands during the 20th century*. Ambio 31: 251-257.

Ricardo, D. 1817. *Principles of political economy and taxation*. Reprinted by Cosimo Classics, New York.

Sachs, K. 1955. *Standing Room Only*. Boston: Beacon Press. Secilio, G. 2005. *La calidad en alimentos como barrera para-arancelaria*. CEPAL, Buenos Aires, Serie estudios y perspectivas: 1-104.

Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1995. *Alerta Amarilla*. Buenos Aires: INTA

Sen, A, 1999. *Development as Freedom*. New York: Knopf

Solbrig, O. T. 1994. *Biodiversity and the World's food crisis*. En P. C.Struck, W.J. Vredenberg, J,. A. Renkema y J. E. Parlevliet (eds.) Plant Production on the Threshold of a New Century, pp.159-168.

Solbrig, O. T. 1998. *Hacia una agricultura sustentable en la pampa argentina; resumen prospectivo.* En O. T. Solbrig y L. Vainesman (comp.) Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, S.R.L.

Solbrig, O. T. 2007. *¿El Canto del Cisne?* Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario , No. 1503 :14-20.

Tainter, J. A. 2006. *Archaeology of Overshoot and Collapse*. Annu. Rev. Anthropol. 2006. 35:59–74

Tilman, D. 1999. *Global environmental impacts of agriculture expansion: The need for sustainable and efficient practices*. Proceedings of the National Academy of Science, 96: 5995-6000.

Timm, J. 2004. *Variabilidad Climática y Cambios en el Uso de la Tierra en la Región Pampeana Argentina*. Tesis de Graduación, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Santa Rosa (L.P.), 42 pp. (no visto)

Timmer, P. 1998. *El rol de la agricultura en el desarrollo económico*. En O.T.Solbrig y L. Vainesman (ed.) Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa, pp.142-164. Buenos Aires: David Rockefeller Center for Latin American Studies.

Trucco, V. 2008. *Más que una amenaza, la soja es una oportunidad*. La Nacion suplemento campo 5 de Abril de 2008.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C. 2006. *Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine pampas in response to climate and farming during the last century*. Quaternary International 158: 122-126.

Viglizzo, E.F., Pordomingo, A.J., Castro, M.G. and Lértora F.A. 2003. *Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina.* Environmental Monitoring and Assessment 87: 169-195

World Agricultural Outlook Board (WAOB), USDA. 2008. *World Agricultural Supply and*

Demand Estimates. Marzo, 2008

World Bank 2007. *Agriculture for Development*. Washington, D.C.: The World Bank

Yang, D., S Kanae, T. Oki, T. Koike y K. Musiake. 2003. *Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes*. Hydrological Processes 17: 2913-2928.

Figura 1. Evolución de la producción argentina de Cereales y Oleaginosas. Fuente: Bisang (200&

Capítulo 2
Los grandes temas ambientales a lo largo de la historia

Otto T. Solbrig[1]

En este capítulo relato el desarrollo de ideas y conceptos relacionados con el impacto humano sobre el ambiente[2] y las lecciones que de allí se pueden desprender para la cadena agroindustrial argentina. Si bien hay citas del impacto humano sobre el entorno que se extienden más allá de la época de la Grecia clásica, el concepto abstracto de "ambientalismo" como doctrina es relativamente reciente. Aunque estas ideas informan a la población del importante rol que juega el entorno físico en el bienestar, muchos conceptos que se barajan están reñidos con la realidad científica y llevan a las personas a adoptar posiciones dogmáticas que impiden un buen manejo del ambiente. Por ejemplo, las controversias que existen en nuestro seno con relación al cultivo de soja, al uso de agroquímicos, o a las fábricas de celulosa, no han hecho avanzar la causa del desarrollo ni han resultado en un ambiente más limpio y menos degradado. Pero si han provocado enfrentamientos entre grupos ideológicos con intereses encontrados (Palermo y Reboratti 2007).

Para progresar en la causa de una cadena agroindustrial eficiente y limpia es necesario llegar a un consenso sobre objetivos y métodos, lo que exige llegar a un acuerdo, con una base teórica objetiva, sobre la mejor acción a seguir. Este capítulo es una contribución hacia ese objetivo. Los temas a cubrir son:

1. Breve historia del impacto humano sobre el ambiente.
2. El desarrollo de conceptos e ideas sobre el ambiente.
3. El difuso concepto de desarrollo sustentable.
4. El concepto de capital y de servicios ecológicos.
5. La importancia para el país de una agricultura y ganadería productiva y sostenible manteniendo un máximo de servicios ecológicos.
6. La necesidad de soluciones equitativas.

[1] Agradezco al Dr. Carlos Reboratti y al Ing. Agr. Jorge Adámoli la lectura y corrección del capítulo.
[2] Medio y ambiente son sinónimos. Por lo tanto Medio ambiente es redundante. Ver Reboratti 1999

1. Breve historia del impacto humano sobre el ambiente

Los enormes cambios en el entorno físico y social que todos hemos experimentado en nuestra vida hacen pensar que los seres humanos somos la especie más destructora de la naturaleza. Si bien es cierto que nuestra especie tiene una enorme capacidad de trasformar su entorno, en términos geológicos nuestro impacto es, comparado con otras especies, (específicamente las bacterias y los organismos unicelulares en general) menor.

Hace cuatro mil millones de años, cuando se formó la tierra, su aspecto no difería en mucho de la superficie de la Luna o de Marte. La Tierra en su comienzo era como ahora, una enorme roca. Pero, a diferencia de lo que ocurre en nuestros días, esa roca no estaba cubierta con una capa de suelo sobre la que crecía una vegetación exuberante. La atmósfera tampoco era como ahora, ya que contenía nitrógeno, hidrógeno y dióxido de carbono, pero no oxigeno. La temperatura era mucho más elevada que la presente, en parte debido al efecto invernadero promovido por el alto contenido de dióxido de carbono en la atmósfera. Eran condiciones en las cuales ningún ser multicelular, ya sea animal, vegetal o humano, puede sobrevivir.

Los primeros seres vivientes aparecen relativamente pronto en la historia geológica del planeta (aproximadamente hace 3,500 millones de años, Margulis 1984). Estos primeros organismos son bacterias muy primitivas que extraen energía de la simplificación de ciertos compuestos químicos, tal como anhídridos de azufre que son reducidos a azufre molecular e hidrógeno. Estas bacterias primitivas vivían en mares y bahías muy playos donde su actividad crea estramolitos que todavía se pueden observar en ciertos lugares como Australia y que constituyen el primer cambio de la superficie terrestre debido a la acción de seres vivientes. Los descendientes de estos primeros organismos todavía están presentes pero en condiciones muy especiales, como en el interior de géiseres y en fumaderas en el fondo del mar.

Con el tiempo las fuentes químicas de energía utilizadas por estos primeros organismos empiezan a agotarse. Aparecen entonces bacterias (también llamadas algas azules pero que no son algas) que tienen la habilidad de utilizar la energía solar, o sea que son fotosintéticas. Este paso es posiblemente el más importante en la evolución de los organismos en la tierra. La aparición de la fotosíntesis va a trasformar completamente la superficie terrestre y la composición de la atmósfera. Sin este paso la vida se hubiese

extinguido en el planeta.

Los organismos que fotosintetizan consumen dióxido de carbono que extraen de la atmósfera y liberan oxígeno. Al principio el efecto de la fotosíntesis sobre la composición de la atmósfera fue insignificante, pero a medida que la flora bacteriana empieza a estar dominada por bacterias fotosintéticas, disminuye la concentración de dióxido de carbono y aumenta la concentración de oxigeno en el aire (fig. 1). A su vez, y a través de un disminuido efecto invernadero, la temperatura terrestre se reduce. Sin entrar en detalles, eventualmente (lo que llevará unos tres mil millones de años) la atmósfera contendrá 20% de oxigeno y sólo trazas de dióxido de carbono. Irónicamente estas condiciones son mortales para las bacterias fotosintéticas anaeróbicas que han trasformado la atmósfera, y hoy en día ellas son componentes menores de la biota, relegadas a ambientes muy especiales. Estos cambios son sin duda las mayores trasformaciones que ha sufrido nuestro planeta en su historia. Frente a ellos el impacto humano reciente es minúsculo.

Mientras tanto, la acción del agua y del viento va erosionando las rocas y transformándolas en arena. En esos dos a tres mil millones de años, las bacterias fotosintéticas ocupan toda la superficie terrestre y con su actividad (y la de otros organismos unicelulares que van evolucionando) van agregando materia orgánica a la arena, creando un principio de lo que llamamos suelo, condición necesaria para la aparición de plantas y animales multicelulares.

Como se ha dicho, comparando los cambios producidos por las bacterias en nuestro planeta con la actividad reciente de nuestra especie, la transformación provocada por el ser humano es menor. Pero si bien es menor en términos absolutos, es aún muy significativa, al punto que debido a la actividad humana existe la posibilidad de alterar profundamente las condiciones físicas y biológicas necesarias para la existencia de nuestra civilización actual, ya que los seres humanos requerimos condiciones muy precisas de temperatura, humedad y alimentos para sobrevivir. El rango de características físicas y químicas necesarias para nuestra existencia es mucho más estrecho que lo que pueden soportar bacterias y otros organismos menos evolucionados. Por lo tanto los cambios que los humanos estamos provocando en la atmósfera, en la superficie terrestre y en los mares, son enormemente preocupantes, ya que potencialmente podrían crear condiciones en las

que el ser humano no lograría sobrevivir. Pero sin llegar a ese extremo, es más probable que si nuestra civilización continúa contaminando su entorno como lo esta haciendo ahora,, creará condiciones en las que nuestra civilización industrial, con su alta densidad humana, tendría dificultades en funcionar, obligando al ser humano a revertir a un estado de organización más simple y con una densidad poblacional significativamente menor.

Este escenario no es totalmente teórico: ejemplos abundan de organismos que crearon condiciones ambientales que llevaron a su propia extinción. Y no esta restringido a otras especies. Hay ejemplos concretos de civilizaciones que degradaron su entorno al punto que terminaron destruyéndose. Existen en la literatura muchas referencias muy concretas y puntuales sobre el impacto ambiental negativo de la actividad humana, sobre todo de la agricultura (Grove 1995, Richards 1986). Las observaciones se refieren muy específicamente a fenómenos tales como la deforestación, la erosión, la sedimentación de ríos y lagos y la pérdida de fertilidad de los suelos.

Ejemplos de impactos ambientales en el pasado

Un ejemplo paradigmático es el de la población maya en Centro América que vivía (y vive, porque no ha desaparecido como grupo humano) en un ambiente tropical selvático. A medida que la población maya se fue expandiendo a principios de la Era Cristiana formando ciudades-imperios, se talaron más y más bosque para crear campos agrícolas y alimentar a una población en aumento. Si bien los mayas desarrollaron técnicas conservacionistas del suelo, no pudieron evitar completamente la erosión (Turner y Harrison 1990). Eventualmente la presión sobre los recursos fue tan intensa que la productividad de la agricultura del maíz declinó y la producción agrícola no fue suficiente para mantener la alta densidad poblacional. Guerras y saqueos entre diferentes ciudades mayas aceleraron el colapso y la invasión española terminó con la civilización maya que ya estaba en declinación antes de la invasión (Culbert, et al. 1987, Hammond 1987, Rice y Culbert 1990, Turner 1987, Willey 1987).

La épica de Gilgamesh, escrita hace 4700 años (2700AC), describe enormes bosques de cedro en lo que es hoy el sur de Irak. De acuerdo a la leyenda, Gilgamesh no obedece la orden de los dioses de no cortar el bosque, y los dioses responden con el fuego y

la sequía que destruyen la agricultura en esta región. Estudios arqueológicos efectivamente muestran que hacia 2100 AC la acumulación de sales y la erosión de los suelos devastan la agricultura en el sur de Irak, lo que termina con la civilización Sumeria y permite la expansión de Babilonia y Asiria (McNeill 1963). Pero los mismos fenómenos que llevaron al colapso de los sumerios, o sea una agricultura demasiado intensa para la región, con una tecnología primitiva basada en el arado, eventualmente también contribuye a la declinación de las civilizaciones babilónicas y asirias (McNeill 1963). Hay también referencias en la literatura (Grove 1995, Evenari et al. 1971) de deforestación que hace seis mil años lleva al colapso de ciertas comunidades en el sur de Israel y Jordania.

La deforestación y la agricultura en la Grecia antigua crean serios problemas de erosión. Los sedimentos producidos obstruyen los ríos y los hacen innavegables. Eso hace que muchas ciudades pierdan su conexión con el mar, creando un serio problema para una civilización que dependía en gran parte del comercio marino. Platón lamenta lo que esta sucediendo y nota que las montañas y cerros de Grecia son como un cuerpo corrompido en que “todas las partes mas suaves y ricas han caído y solo queda el esqueleto” (Amouretti 1994, Finley 1975, Isager y Skydsgaard 1995).

Algo similar ocurre en la Roma clásica. El puerto de Ostia, que suplía a la ciudad de Roma, se encuentra hoy a 8 Km. de la costa debido a la acumulación de sedimentos en la boca del río Tiberio, sedimentos que son la tierra arable de la región que se erosionó debido al uso de una agricultura no sustentable (Tainter 1988, 2006, Hughes 2001)

Durante la Edad Media (siglos XI y XII) la expansión de la población y el avance de la frontera agrícola resultan en la destrucción de los bosques de buena parte de Europa Central y occidental. Para proteger los bosques, el gobierno inglés y el francés de la época responden pasando leyes reservando ciertos bosques y árboles para la construcción de buques de guerra. A su vez la nobleza crea cotos de caza con el objetivo de conservar especies de mamíferos y aves. Hoy en día los bosques en Europa occidental son bosques plantados y con rara excepción son naturales.

Podemos citar mucho otros ejemplos de impactos ambientales debido a la expansión humana y no solo en Europa y el Medio Oriente, pero también en la India y en la China pero para muestra sirva un botón. En 1582 el rey Felipe II de España comentaba en una

carta al presidente del Consejo de Castilla “Un tema que quisiera sea considerado es la cuestión de la conservación de los bosques y su aumento, ya que están muy disminuidos; yo temo que las generaciones que nos siguen van a tener mucho que protestar si los destruimos y pido a Dios que no veamos esto en nuestros días.” El mensaje tiene una contemporaneidad sorprendente.

La declinación de sociedades en el pasado no se debe a causas simples. Desde por lo menos fines del siglo XVIII con la aparición de la obra de Malthus, muchos autores han vaticinado el colapso de la sociedad humana industrial debido al crecimiento demográfico (Malthus 1798, Ehrlich 1975), o la destrucción de recursos naturales (Brown 1974, Diamond 2005). Sin embargo las predicciones no se han cumplido. Hay efectivamente ejemplos muy claros de sociedades que han deteriorado y simplificado su estructura en el pasado y hay ejemplos también muy claros del deterioro ambiental que ha contribuido al colapso de ciertas civilizaciones. Sin embargo, antropólogos y sociólogos que han estudiado la declinación y colapso de sociedades humanas anteriores a la nuestra, siempre encuentran que las causas son múltiples y comprenden aspectos demográficos, ecológicos y sociales. La lección para el futuro es que sociedades que están atentas a los problemas demográficos, ecológicos y sociales están en mejores condiciones para tomar medidas para evitar serios problemas.

2. El desarrollo de conceptos e ideas sobre el ambiente.

Como muestran los ejemplos citados, la transformación de la naturaleza debido a la acción humana no es un fenómeno nuevo y tampoco pasó desapercibido en su tiempo. Si bien en cada caso hubo conciencia de los cambios negativos provocados por la acción humana, tanto en la antigüedad clásica como en la Edad Media y en el Renacimiento, no hay una concepción clara de *ambiente* como una categoría abstracta. Hay conciencia de la belleza de la naturaleza en la literatura de su tiempo y en el arte en general, pero no parece coincidir con el concepto abstracto contemporáneo. Las citas literarias y pictóricas son muy concretas y se refieren siempre a un paisaje en particular. Hay conciencia de que se están modificando y degradando bosques, suelos, y marismas, pero no se habla de que se está degradando la naturaleza en su conjunto.

En la época clásica diversos autores (Platón, Aristóteles, Hipócrates, Pitágoras, etc.)

elaboraron teorías sobre el efecto del ambiente sobre el desarrollo del ser humano y su cultura. Estas teorías fueron discutidas y trasformadas por autores cristianos durante la época medieval y el Renacimiento (San Agustín, Tomás de Aquino, Descartes, etc.) centradas en el conflicto presentado por la historia de génesis que cuenta que el mundo físico y biológico fue creado para uso y beneficio del ser humano, y la modificación evidente y el deterioro del ambiente por los humanos (Glacken 1967)

Recién con Montesquieu, Rousseau y los enciclopedistas aparece el concepto abstracto de que la naturaleza tiene una trayectoria propia y a la cual los seres humanos adscriben valores éticos y estéticos. Los enciclopedistas imaginaron un mundo más armonioso bajo la influencia de la ciencia y el raciocinio. En sus escritos mencionan la *destrucción* y la *conservació*n del ambiente en general y no necesariamente de un paisaje en particular. Eso refleja un cambio en la manera de ver el entorno natural. Aparece también el concepto del paisaje ideal, anterior a la aparición del ser humano, paisaje que supuestamente es prístino, sin los problemas creados por el hombre, idea que se remota al concepto cristiano de paraíso terrenal. De ahí nace la idea del equilibrio de la naturaleza, concepto que no tiene basamento científico pero que todavía es muy popular. La idea de un Edén que el ser humano destruyó es un *leitmotiv* en el desarrollo de las ideas y principios conservacionistas.

La Revolución Industrial y su impacto ambiental.

Rousseau y la era de la iluminación son seguidas por la Revolución Industrial. Esta nueva era va a producir enormes trasformaciones en el entorno físico y en las relaciones humanas. Estos cambios se hicieron notar al principio principalmente en las Islas Británicas donde comenzó la revolución industrial, pero pronto se extendieron a Europa occidental y eventualmente a Norte América.

La revolución industrial produjo contaminación del entorno en una medida hasta entonces desconocida (por ejemplo las “neblinas” de Londres[3] o Birmingham, combinación de humo, humedad y contaminación química debida a las nuevas fábricas) y niveles de pobreza y degradación humana en las ciudades fabriles peores que la precedente miseria rural. Estos cambios impactantes produjeron una reacción en la sociedad. Escritores tales

como Charles Dickens o Sinclair Lewis denunciaron la explotación humana en sus novelas, otros describieron la miseria en las grandes ciudades y condenaron la contaminación. Los impactos físicos y sociales del orden industrial todavía están con nosotros y son parte del debate político en nuestra sociedad.

La revolución industrial tuvo muchos efectos positivos. El desarrollo industrial y las nuevas tecnologías llevaron a un crecimiento económico enorme. Sin entrar a discutir que es progreso, es indudable que un efecto de la revolución industrial es que la condición física humana ha mejorado significativamente en los últimos doscientos años. Si bien no se han eliminado la pobreza y la desigualdad social, la humanidad esta mejor alimentada hoy que en cualquier momento en el pasado (Fernández Ales y Solbrig 2001), más gente tiene acceso a agua potable que en el pasado (Banco Mundial 2000), lo mismo es cierto para el número de personas con viviendas, la expectativa de vida ha aumentado significativamente, la mortalidad infantil se ha reducido y el nivel de escolaridad es el mayor en la historia. Debido al enorme incremento de la población, el número absoluto de personas en la pobreza y la indigencia también ha aumentado, pero no su proporción en la sociedad. También ha aumentado la diferencia entre los más ricos y los más pobres y con ello la pobreza relativa[4]. No todos los expertos coinciden en este diagnóstico y muchos en el pasado y hoy en día creen que los aspectos negativos de la industrialización niegan que los avances en el nivel de vida constituyan un progreso (Pepper 1993, Escobar 1995, Cronon 1996).

[3] Los humos de Londres son anteriores a la revolución industrial pero se agravan con ésta debido al incremento de la población y la actividad industrial y al uso de carbón como combustible.

[4] Hablamos de pobreza absoluta cuando una persona no tiene acceso a las necesidades básicas de alimentos y vivienda. Hablamos de pobreza relativa cuando una persona tiene satisfecha sus necesidades básicas pero se encuentra entre el 2% mas bajo en la escala de ingresos.

La Revolución Industrial tuvo un impacto muy negativo sobre el ambiente,

especialmente en su primera fase en el siglo XVIII. Lo mismo esta ocurriendo en estos momentos en la China y la India.

El desarrollo industrial de los últimos doscientos años y sobre todo en los últimos cincuenta se ha basado en el uso de fuentes de energía fósil -- carbón, petróleo y gas natural. También se ha basado en el uso masivo de minerales y otros recursos naturales. Su uso ha demandado la extracción de enormes cantidades de roca, el uso de cantidades significativas de agua y ácidos minerales, y la trasformación del paisaje en las inmediaciones de las minas. Se calcula que cada día la actividad humana extrae y trasforma más materiales que todos los sedimentos trasportados por todos los ríos del mundo. A su vez, para poder proveer alimentos al mundo, se ha trasformado en cultivos más del 20% de la superficie terrestre ocupada anteriormente por bosques y praderas naturales (Ramankutty et al. 2002, 2008). Esto ha resultado en la pérdida de gran parte de la vegetación aérea y subterránea de esas regiones. La materia orgánica extraída eventualmente ha sido trasformada en dióxido de carbono por combustión o descomposición. El uso de combustibles fósiles junto con la agricultura ha causado un incremento en el dióxido de carbono en la atmósfera que está amenazando incrementar la temperatura de la atmósfera debido al efecto invernadero. Este proceso conocido como calentamiento global amenaza muchos aspectos de nuestra civilización.

Otra de las características del desarrollo industrial es que se concentró en áreas urbanas. Para aprovechar la fuerza motriz de las nuevas máquinas, las nuevas industrias del tejido, de maquinaria, del calzado, etc. requerían una gran cantidad de obreros trabajando en un mismo lugar. Las ciudades industriales tal como Liverpool y Birmingham en Inglaterra, la zona del valle del rió Ruhr en Alemania, y Chicago y Cincinati en los Estados Unidos empezaron a crecer demográficamente en forma precipitada. Antes de la Revolución Industrial solo Londres tenía más de cien mil habitantes, pero pronto empezaron a aparecer ciudades de medio millón y hasta de un millón de habitantes. Con el aumento de la población y el incremento de la actividad fabril, aumentó exponencialmente la contaminación. En una aldea de unos pocos centenares de personas, la falta de un sistema de cloacas si bien malsano y ofensivo estéticamente, es tolerable. En una ciudad de varias decenas de miles de habitantes, hacinados en viviendas precarias, la falta de sanidad

ya no lo es. A eso hay que agregar la contaminación excesiva de muchas de las nuevas industrias para entender que una de las primeras manifestaciones del público para mejorar el ambiente fue para mejorar el estado físico en las ciudades industriales. Si bien muchos asocian al movimiento ambientalista con esfuerzos para preservar ambientes rurales y evitar su transformación, ese es un desarrollo posterior y reciente. El movimiento ambientalista empieza en las ciudades con el objetivo de mejorar las condiciones de vida de la población urbana. Incluso en nuestro país, las campañas para preservar ambientes rurales tienen un origen urbano. Las campañas contra la sojizacion de la pampa, contra la tala del bosque chaqueño o el establecimiento de ciertas industrias generalmente tienen su origen en las grandes ciudades, especialmente Buenos Aires.

En todos los países la mayoría de la población ha visto el aumento del nivel de vida material como un progreso, y cuando ha tenido ocasión de votar siempre se ha decidido a favor de medidas que favorecen el desarrollo. Y eso no debería sorprender. La condición material de la población de hoy es infinitamente superior al nivel de vida de la población hace doscientos años y es de prioridad para poblaciones contemporáneas y las del pasado. Hay sólo que leer las descripciones de escritores como Charles Dickens o Emile Zola o Benito Pérez Galdós para apreciar ese cambio. No solo las condiciones materiales de las viviendas, pero también los medios de trasporte, los servicios de salud y de educación han mejorado sensiblemente. Eso no significa que ha desaparecido la pobreza o la indigencia, lo que patentemente no es cierto. Pero la mayoría de los pobres del mundo, incluso aquellos que viven con una entrada de dos dólares por día, están materialmente mejor que los pobres hace doscientos años. Además la proporción de pobres en el mundo ha disminuido, y la clase media ha crecido. A pesar de que hoy existen hambrunas, no es concebible que un país quede diezmado por el hambre, ni mucho menos que mueran un millón y deban emigrar dos millones de personas como en la crisis de la papa en Irlanda en 1848.

A medida que la situación material de las personas fue mejorando, los valores no materiales comenzaron a adquirir una importancia que antes no tenían. El aumento de la población y de la actividad agrícola redujo los paisajes naturales. A medida que eso ocurría los remanentes empezaron a adquirir más valor. No es que aspectos materiales como mejor

sanidad, caminos transitables, ferrocarriles, y viviendas más seguras dejaran de tener importancia. Al contrario, el público urbano en todos los países pone mucha importancia en los aspectos materiales, pero a éstos se han agregado ahora valores éticos y estéticos en relación a la conservación de áreas naturales, la pureza del aire y del agua, el tratamiento de animales, y la preservación de áreas y edificios históricos. El público de las grandes ciudades sueña con paisajes naturales prístinos idealizados por concepciones teóricas que, como vimos, se remontan a la época de la iluminación y busca proteger paisajes rurales con valor estético.

El movimiento ambientalista

El movimiento de protección de paisajes rurales con características estéticas o históricas especiales comienza a finales del siglo XIX en Europa y Estados Unidos entre los sectores más pudientes y se generaliza al grueso de la población mundial después de la segunda mitad del siglo XX. La comprobación de que ciertos efluvios industriales en el aire y en el agua pueden producir cáncer en las personas; la realización que ciertos compuestos en el ambiente tal como el plomo en pinturas y gasolinas pueden retrasar el desarrollo normal del cerebro en los chicos; la perdida de ambientes naturales; la contaminación de muchos ambientes debido al uso masivo de agroquímicos (Carson 1962), etc. fueron disparadores de un renovado interés en el ambiente como categoría abstracta. Ese interés no es clasista como lo fue a principios del siglo XX. Al contrario muchos habitantes de barrios industriales que son los más expuestos a la contaminación industrial están entre los mas vociferantes defensores del ambiente. Además el movimiento ambientalista se ha difundido a todo el mundo y algunas de las protestas más serias contra la contaminación y destrucción de paisajes naturales han ocurridos en países del tercer mundo (Gadgil y Guha 1995). La única característica demográfica es que el movimiento ambientalista es más intenso entre las generaciones jóvenes.

Podemos distinguir tres actitudes en relación al ambiente. La primera está representada por personas con intereses económicos en el desarrollo. A este grupo pertenecen no solo los que financian y dirigen el desarrollo comercial y la transformación de recursos naturales, sino también habitantes de regiones de pocos ingresos que ven

oportunidades de mejorar su situación a través de la creación de nuevos empleos o empleos más remunerativos. Al otro extremo del espectro están los ambientalistas a ultranza que condenan la sociedad industrial y utilizan métodos violentos para transmitir su mensaje (Pepper 1993). No todos en este grupo (por ejemplo Greenpeace) desean destruir la estructura industrial, pero si la quieren modificar substancialmente. Entre estos dos extremos se sitúa la mayoría de la población, que se ve amenazada por la contaminación y la transformación de paisajes naturales peri-urbanos y rurales, pero que también apoya el desarrollo. Este grupo en lo posible adopta algunas medidas conservacionistas de recursos como manejar autos eléctricos, consumir productos orgánicos sin agroquímicos, insistir en obligar a la industria a reducir la contaminación aérea y acuática, oposición a la construcción de plantas atómicas para generar electricidad, y oposición al desarrollo agrícola de nuevas regiones sobre todo en regiones tropicales cubiertas con bosques. Sin embargo mantienen un estilo de vida consumista y no ven una contradicción entre lo que pregonan y lo que hacen (Hays 2000).

De esto se desprende que la mayoría de la población no se opone al desarrollo económico, pero quiere que este no contamine, no destruya ambientes naturales, y en general no amenace la salud humana y el goce de las ventajas materiales de la civilización del siglo XXI. Es esta una posición algo irreal, pero constituye una fuerza política y social que la Cadena agroindustrial argentina no puede ignorar. Los que intelectualmente están en esta posición mantienen que es posible el desarrollo con un mínimo impacto ambiental, lo que se ha dado en llamar el desarrollo sustentable (Comisión sobre Ambiente y Desarrollo 1987)

3. El difuso concepto de desarrollo sustentable

Un concepto muy popular es el de “desarrollo sustentable.” Sobre el hay una infinidad de definiciones, al punto que el concepto ha perdido validez. Hasta las compañías petroleras, que por definición explotan un recurso finito, hablan del desarrollo sustentable de sus campos petroleros.

Por desarrollo sustentable muchos entienden un desarrollo de los recursos naturales usando tecnologías que no degradan el ambiente y no agotan los recursos. Una definición muy popular es “el desarrollo sustentable es usar recursos de tal manera que no

comprometan su uso por generaciones futuras". Pero esta definición no es aplicable en muchas situaciones, ya que no sabemos cual serán los requerimientos de generaciones futuras y en la mayoría de los casos tampoco sabemos como usar recursos sin alterar el ambiente. ¿Cómo aplicar este concepto a la agricultura?

La humanidad enfrenta un dilema. Nuestra civilización depende hoy en día de una estructura económica basada en la industrialización. La metodología y el enfoque industrial penetran todas las actividades, desde la agricultura hasta la educación masiva y la cultura. Un mundo de seis mil quinientos millones de personas no es concebible sin el enfoque del mundo industrial. A su vez las evidencias que se van acumulando nos hacen pensar cada vez más que esta forma de desarrollo no se puede mantener en el largo plazo, debido a las dificultades ambientales que origina y su dependencia de fuentes de energía que eventualmente puede crear problemas tan serios como para amenazar generaciones futuras e incluso la misma existencia de nuestra generación. Este diagnostico pesimista es visto con ojos escépticos por la mayoría de la población mundial ya que se basa (como toda predicción) en la extrapolación del comportamiento presente al futuro. Las predicciones catastróficas del pasado (Malthus 1798, Brown 1974, Ehrlich 1975, Meadows et al. 1972) hasta ahora siempre han estado erradas.

Los procesos que se han desencadenado no se pueden revertir fácilmente. Aun si dejáramos de usar nuestros motores, llevará siglos antes de que el dióxido de carbono acumulado en la atmósfera revierta a valores anteriores a la revolución industrial. Además la humanidad no esta preparada a abandonar el uso de combustibles fósiles como fuentes de energía. Al contrario, su uso se esta expandiendo. Aún en el caso de fuentes alternativas que pregonan reemplazar combustibles fósiles con fuentes no contaminantes (o menos contaminantes) tales como las tecnologías basadas en el uso de hidrógeno, energía solar y energía eólica, las predicciones más optimistas para su implementación tienen horizontes de una o más décadas.

En el ínterin la población mundial va a crecer hasta alcanzar entre ocho y nueve mil millones de personas a mediados de este siglo. Para alimentar a una población tan grande se va a tener que intensificar aun más la agricultura y se va a requerir más tierra agrícola. A su vez, el avance de la frontera agrícola va a producir mas dióxido de

carbono, aumentando el calentamiento global. La intensificación de la agricultura también va a generar una mayor concentración de compuestos nitrogenados en la atmósfera contribuyendo al calentamiento atmosférico y al fenómeno de la "lluvia ácida." El N_2O generado por la fertilización nitrogenada es un gas con efecto invernadero nueve veces más grande que el CO_2 (Crutzen et al. 2006). El desarrollo económico de países emergentes como la China, la India y Brasil incrementará significativamente el consumo de recursos naturales. En estas circunstancias es muy dudoso que se pueda obtener pronto un desarrollo no contaminante.

Pero el desarrollo sustentable no es sólo una cuestión técnica. El desarrollo sustentable también requiere una mejor distribución del ingreso en las sociedades. Muchas personas consideran que técnicas como la siembra directa son "sustentables" porque reducen la pérdida de carbono del suelo. Pero si los beneficios económicos de la siembra directa no se distribuyen equitativamente y la introducción de esta tecnología resulta en una peor distribución del ingreso, la siembra directa no es "sustentable" en el tiempo.

El problema es serio. Cambiar los patrones de desarrollo, la distribución del ingreso dentro y entre países, y el uso masivo de recursos naturales va a requerir cambios profundos en la organización y funcionamiento de las sociedades humanas. En nuestro parecer, las soluciones de los llamados "ambientalistas profundos" que preconizan el abandono de la sociedad industrial y una vuelta a la naturaleza aún a costa de una mortalidad humana masiva, son irrealistas. Seguir la trayectoria económica presente sin preocuparnos por las consecuencias también creemos que no es realista, ya que hay un enorme desfasaje temporal entre causa y efecto en los procesos que estamos desencadenando. ¿Entonces, como resolver este dilema?

La esperanza es que se inventen tecnologías que permitan continuar con el desarrollo de la sociedad industrial, pero sin los efectos negativos sobre el ambiente y que con el tiempo se establezca una sociedad en equilibrio con el ambiente y justa en la distribución de los beneficios del uso de los recursos. Sin duda esa es la meta que deberíamos tratar de alcanzar. El problema es que nadie sabe bien como hacerlo. La dirigencia política de los países aún no está dispuesta a tomar medidas de protección ambiental si estas afectan en lo más mínimo su economía y desarrollo industrial, lo que se

puede comprobar observando la industrialización algo caótica de la Republica China, o la oposición al tratado de Kyoto por parte de los Estados Unidos (Lawton 2007). El público tampoco esta dispuesto a reducir el consumo de productos naturales. Nadie sabe hasta cuando es posible continuar el crecimiento actual sin crear problemas insolubles.

4. El concepto de capital y servicios ecológicos

Al igual que todas las otras especies en el mundo, nosotros dependemos del entorno físico que nos provee de nuestro alimento, del aire que respiramos, y del agua sin la cual no podemos existir más que unos pocos días. Además el ambiente provee a la civilización moderna sus necesidades de energía, de minerales, y de agua para riego y usos industriales. A estos recursos de la naturaleza se los ha denominado eufemísticamente y antropocéntricamente los *servicios* de la naturaleza insinuando que la naturaleza nos esta ofreciendo un regalo. Como vimos anteriormente, esto esta ligado a ideas abstractas de lo que es la naturaleza. Pero la analogía es útil para entender el problema ambiental.

El ser humano es un organismo aeróbico que requiere respirar una mezcla de gases inertes con 20% de oxigeno. Si la concentración de oxigeno en el aire es muy superior o inferior a este valor no podemos existir más que unos minutos antes de asfixiarnos. La atmósfera terrestre en la que evolucionamos y adquirimos esta propiedad tiene la concentración química que requerimos. El ser humano también necesita agua y sólo puede subsistir sin ella unos pocos días. También requerimos alimentos, ya que sin ellos moriríamos de hambre en menos de un mes. El aire que respiramos, el agua que tomamos y los alimentos que consumimos los obtenemos del entorno físico que nos rodea.

Las plantas al absorber dióxido de carbono y liberar oxigeno mantienen el nivel adecuado de estos gases en la atmósfera. Ríos, lagos y lagunas diluyen, filtran y trasforman muchos compuestos químicos nocivos. Las plantas y animales además son fuentes de remedios que se vienen utilizando desde tiempos inmemoriales. Bosques y otras áreas naturales proveen lugares de recreación y descanso, y desde hace siglos han servido de inspiración artística y espiritual.

A este suministro de recursos (y otros) que brindan los ecosistemas naturales se los ha denominado los *servicios* de la naturaleza. Si bien la naturaleza es un concepto abstracto que no provee servicios pero en cambio son los ecosistemas naturales los que tiene las

propiedades necesarias para la existencia de la vida humana, usar esta metáfora tiene cierta utilidad en tratar de identificar las propiedades ambientales de mayor utilidad humana y determinar las prioridades para su conservación. A su vez se denomina *capital natural* a los bosques y otros ecosistemas naturales que en esta metáfora suministran *servicios*.

Cuales entonces son los principales *servicios* de la naturaleza. Estos servicios se han agrupado en cuatro categorías (Carreño y Viglizzo 2008): servicios de provisión, de regulación, culturales y de soporte (o apoyo a otros servicios) (fig. 2).

Los servicios de provisión son la provisión de oxigeno, agua y alimentos. Hasta ahora -y posiblemente siempre- el suministro de oxigeno en el aire que respiramos continuará sin intervención humana, mientras que la provisión de agua y alimentos tiene un alto grado de intervención humana.

La provisión de agua potable depende del ciclo natural de evaporación y precipitación que alimenta nuestros ríos y cuerpos de agua. Si bien la cantidad de agua en el ecosistema es enorme, 93% es agua salobre en los mares, que no es accesible con las tecnologías actuales. Del agua dulce que circula por el entorno más del 80% es utilizada en agricultura, un 12% por la industria y el resto por los seres humanos en múltiples usos. La distribución del agua a las poblaciones humanas, a la industria y a la agricultura requiere el uso de energía y esfuerzo humano.

El ser humano durante la mayor parte de su historia evolutiva vivió de la caza y de la recolección, que con infinitas variantes es el método de obtener alimentos de todos los animales actuales y también de las especies animales extintas. Hace aproximadamente diez mil años el ser humano comenzó a cultivar ciertas especies vegetales y a domesticar animales y hoy toda la humanidad obtiene su alimento a través de la agricultura, la ganadería y la pesca marina[5]. Esta manera de obtener alimentos es muy distante de la caza y la recolección, actividades que si se podrían analogar materiales, capital y esfuerzo humano. En términos económicos los servicios de provisión con *servicios* de la naturaleza. La agricultura requiere insumos grandes de energía, si bien tienen una base en el

[5] Algunas especies de hormigas también practican una especie de agricultura al cultivar hongos, mientras que otras especies de hormigas utilizan áfidos que “pastorean” para utilizar los efluvios que producen.

ecosistema natural, en su forma presente son el resultado del desarrollo de las economías. Estos servicios son esenciales para la existencia humana, pero su desarrollo y uso también son parte importante de los problemas ambientales. La cadena agroindustrial nos provee de los recursos necesarios y a su vez sus actividades crean muchos de los problemas ambientales. Esta dualidad es central para entender el rol de la cadena agroindustrial en crear un posible desarrollo sustentable futuro (Prugh 1995).

Uno de los objetivos de clasificar ciertos recursos y propiedades naturales como *servicios* es para poder darle un valor económico (Costanza et al. 1997, 1998; Carreño y Viglizzo 2007). Los economistas son de la opinión de que el público valora las cosas de acuerdo a su precio, o más bien que el precio de alguna manera refleja el valor que le damos a las cosas. Debido a que el aire y el agua, como también el suelo, los bosques naturales y la fauna silvestre son parte de la naturaleza, los consideramos como productos gratis. Y dado que los bienes de la naturaleza no tienen un precio de mercado la escuela de economistas ambientales ha ideado maneras de poner un valor material a los recursos naturales. A los recursos que proveen *servicios* se los ha denominado *capital natural* y ha habido varias iniciativas para darle a éste un valor económico (Daly 1996; ver capítulo seis). Si bien el enfoque económico tiene utilidad, no es necesario que las cosas tengan valor económico para que las valoremos, tal como la familia, los amigos, la amistad, o la cultura, que valoramos enormemente a pesar de no tener un valor económico.

Capital natural y capital humano. En la manera tradicional de analizar los factores de producción se consideran tres factores: tierra, capital y trabajo. "Tierra" son aquellos factores que provee la naturaleza, lo que en este nuevo análisis se denomina "capital natural" mientras que "capital" ahora se considera "capital humano." Aunque básicamente similar, la substitución "tierra" por capital natural quiere enfatizar que los recursos naturales son finitos y pueden agotarse.

El concepto de capital natural es una metáfora para los bienes ambientales que existen en la naturaleza. A diferencia del capital financiero, que va en constante aumento a medida que creamos bienes tangibles como edificios, vehículos, viviendas, caminos, etc., cierto capital natural es finito[6] y solo puede desaparecer a medida que trasformamos los recursos de la naturaleza ya que el *desarrollo* es básicamente la transformación de capital

natural (depósitos minerales, petróleo) en capital humano o financiero (edificios, barras de hierro, cemento, praderas y cultivos). Cierto capital natural es renovable, como por ejemplo un bosque. Sin embargo si en el manejo del bosque no se contempla la renovación del bosque, este se convierte en un bien no renovable.

La preocupación de muchos ambientalistas es que el ser humano a través de sus actividades económicas reduzca o elimine recursos necesarios para la existencia humana. Los economistas (y los optimistas) responden a esa propuesta diciendo que los recursos naturales son substituibles y que los precios relativos determinan que cuando ciertos recursos se vuelven demasiado escasos (y su precio consecuentemente se eleva) que se substituye el recurso por uno mas barato. Un ejemplo es la substitución de madera y metales por plásticos. Los más optimistas incluso niegan que estemos agotando recursos naturales.

Esta concepción optimista es muy debatida. Ciertos recursos (el oxigeno del aire) obviamente no pueden substituirse. Otros como el petróleo son más cuestionables. A medida que el precio del barril de petróleo sube, ciertas tecnologías alternativas tales como usar energía eólica o solar para generar electricidad, o biocombustibles como substitutos de gasolina cobran interés.

Para fines de este estudio es importante interiorizarse con los conceptos y la terminología de los economistas ambientales, pues es muy posible de que pronto se vaya a exigir que las industrias contabilicen el "capital natural" que están utilizando. Esto va a ser muy importante para la agricultura (suelo y agua) y la cadena de la madera.

[6] Hay dos clases de capital natural: renovable (de origen biológico que se reproduce tal como árboles y ganado) y no renovable como minerales que son finitos.

Otros enfoques

Un problema muy debatido es como medir el progreso de las sociedades humanas. Tradicionalmente se ha usado una medida económica, el producto bruto interno (PBI), para medir el desarrollo de un país o una región. Pero el PBI no contabiliza las trasformaciones en el ambiente ni el desarrollo de las personas. Para tratar de subsanar este problema el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) desarrolló una medida, el *Índice de Desarrollo Humano,* que calcula y publica todos los años para todos los países. Este índice es un esfuerzo para caracterizar el desarrollo de los países con propiedades que tradicionalmente no son consideradas por la economía clásica. El Índice de Desarrollo Humano en un país dado es el promedio del índice de la esperanza de vida al nacer de una persona, el índice del nivel de educación de la población, y el Producto Bruto Interno Medio por persona (en dólares PPP). Con este índice se quiere combinar una medida de bienestar (longevidad), con una de desarrollo personal (nivel de educación) y otra clásica de desarrollo económico (PBI). La Argentina ocupa la posición 30 entre los países del mundo y Canadá el primero. El índice no incluye una medida del capital natural pero lo complementa (UNDP 2007).

Estos esfuerzos se basan en la concepción de que el bienestar humano no depende exclusivamente del ingreso medio de la población. Sin embargo hay una buena correlación entre el ingreso promedio, el nivel de educación y la expectativa de vida. En cambio la relación entre capital natural y bienestar humano no es tan directa. Hay países como Canadá y Finlandia con un alto nivel de vida y un alto valor en su capital natural, mientras que otros tienen enormes recursos naturales (Angola, Nigeria, Zambia) pero un muy bajo nivel de desarrollo económico y social (Reboratti 2000).

Creemos que estos esfuerzos son meritorios pero que no es posible diseñar un índice que refleje correctamente la enorme diversidad de situaciones ambientales, económicas y sociales. Cada país y cada región tienen su propia historia política y económica, su propio entorno cultural y una mezcla singular de recursos naturales. Sin embargo creemos que es importante que la cadena agroindustrial monitoree estos diferentes índices para obtener una evaluación comparativa y amplia del desarrollo nacional. También es muy importante para el desarrollo futuro de las agroindustrias del país que se tomen en cuenta muy seriamente sus impactos sobre el ambiente. Esto incluye los impactos de las industrias extractivas tales

como la industria de la madera, de la agricultura y de la ganadería como también los impactos de las industrias que elaboran las materias primas, sobre todo aquellas que han sido muy contaminantes como las curtiembres y las papeleras.

5. Importancia para el país de una agricultura y ganadería productiva y sostenible manteniendo un máximo de servicios ecológicos

Si bien el mundo esta globalizado, no está integrado. Cada país tiene su propia trayectoria económica dada por las políticas de su gobierno, el comportamiento de sus ciudadanos y sus recursos naturales. La Argentina es un país agrícola-ganadero por tradición, por tener buenas tierras, y una larga trayectoria agropecuaria. El gaucho y sus tradiciones, que es nuestro símbolo nacional, en parte encapsulan nuestra historia económica. También es un país que se está industrializando y con un respetable segmento de servicios.

La Argentina es un país netamente urbano con una economía basada en gran medida en el uso de recursos naturales. La agricultura, la ganadería, la pesca, y la minería son las principales fuentes de riqueza. Sin embargo la agricultura y ganadería argentina del siglo XXI ya no es la ganadería y agricultura de hace cien años. Estas actividades están altamente tecnificadas y capitalizadas. Los productos primarios son elaborados por la cadena agroindustrial que genera el 18,5% del Producto Bruto Interno (PIB) y el empleo directo e indirecto de la cadena equivale al 35,5% del total del empleo en el país. La cadena agroindustrial genera ingresos fiscales equivalentes al 12,3% del PIB. El 67% del producto generado se consume internamente y se exporta un 33%, lo que representa aproximadamente el 56% de las exportaciones del país. Además la cadena consume el 15% de las importaciones aportando divisas por aproximadamente U$S 20.000 millones anuales (Cadena Agroindustrial 2006).

Las actividades de la cadena agroindustrial sumadas a las de la minería y la pesca generan el más importante impacto sobre el ambiente natural del país. Es obvio que es imperativo para el buen funcionamiento de la cadena agroindustrial y el bienestar de la población que se protejan los recursos naturales, que son la base de la riqueza nacional. Sin embargo ese no es siempre el caso. Los suelos en gran parte del país están erosionados debido al intenso laboreo o a un pastoreo excesivo (SAGP 1995). El

sobrepastoreo en la Patagonia ha destruido gran parte de las tierras, que han perdido su capacidad productiva. Los bosques del Chaco han sido talados o se los ha usado para sostener una ganadería extensiva poco productiva.

El mal uso de los recursos naturales tiene un alto costo económico y social. La degradación de los suelos reduce su productividad y demanda medidas de corrección, como el mayor uso de fertilizantes que aumentan los costos de producción y son fuentes de contaminación. La menor producción reduce el empleo rural, lo que afecta el bienestar de los pequeños pueblos del interior. Además se pierden paisajes naturales con valor intrínseco para el goce de la población rural y urbana, como son los bosques. El incremento en el uso de agroquímicos que acompaña la degradación puede tener efectos negativos sobre la salud del trabajador rural, del obrero industrial y del consumidor urbano de productos contaminados. Y la capacidad del ambiente de proveer los así llamados "servicios" -como por ejemplo la provisión de agua limpia-, se ve comprometida (NRC 1991).

El publico consumidor urbano argentino y en todos los países del mundo esta insistiendo que los productos que se ofrecen a la venta cumplan en su elaboración con ciertas reglas "verdes" internacionales. Cumplir con esas reglas es por lo tanto una estrategia necesaria y provechosa para la cadena agroindustrial, reglas que no siempre se obedecen.

El problema se debe en buena medida al gran número de productores que tienden a ver el uso de tecnologías conservacionistas como un costo y no necesariamente un beneficio. Por ejemplo, la siembra directa, que reduce significativamente la erosión de los suelos y al reducir el número de labranzas ahorra combustible y por lo tanto es muy recomendable, sin embargo exige maquinaria especializada y a su vez torna obsoletos los arados y rastras en las cuales el agricultor muchas veces ha invertido mucho capital. Por lo tanto hay un apego a las tecnologías en uso. Lo mismo ocurre a lo largo de la cadena agroindustrial. Establecimientos que han invertido en métodos de elaboración poco eficientes desde un punto de vista ambiental no tratan de cambiar a sistemas menos contaminantes. Por ejemplo, es muchas veces menos costoso tirar desechos al río que transformarlos en productos inofensivos. Pero el bienestar de la cadena agroindustrial y el

progreso del país requieren que se avance en la reducción de los costos ambientales.

6. Necesidad de soluciones equitativas

El concepto de desarrollo sustentable significa que los beneficios generados por los recursos naturales tienen que estar al alcance de todos los segmentos de la población. De acuerdo a una definición popular de desarrollo sustentable (Comisión sobre Ambiente y Desarrollo 1987) los beneficios del desarrollo deben favorecer a las generaciones presentes, pero sin comprometer su uso por generaciones futuras (Bird et al. 1995). El problema es que no sabemos cuales serán las necesidades de las generaciones futuras ni tampoco sabemos que tecnologías estarán a su alcance.

Cómo asegurar que las generaciones futuras tendrán acceso a los recursos naturales que estamos utilizando en el presente no es un problema sencillo. Es particularmente difícil cuando se trata de recursos no renovables como los minerales y el petróleo. Pero también representa un problema en el caso de recursos renovables como son los utilizados por la agricultura y la ganadería.

Para adoptar un desarrollo sustentable se requieren tecnologías protectoras de recursos, como por ejemplo la siembra directa, que reduce la erosión de los suelos. Pero la siembra directa reduce pero no elimina el uso de agroquímicos y de combustibles fósiles. Para que esta tecnología sea más sustentable necesita ser combinada con otras, tales como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas y el uso de variedades resistentes a pestes y enfermedades.

Aunque es indudablemente cierto que se necesitan tecnologías de uso que sean protectoras de los recursos naturales, su implementación requiere un cambio en la manera en que se encara el negocio agropecuario. Junto con consideraciones de rentabilidad se requieren tener consideraciones ambientales. En lo personal todas las personas toman en consideración no sólo su bienestar sino también el de la familia y sobre todo el de los hijos. Se necesita ahora una mentalidad en que la acción colectiva sea una imagen de la acción privada. El desarrollo de ideas ambientalistas que hemos esbozado en estas páginas indican que hay voluntad para crear una sociedad en la que el desarrollo sea realmente sustentable.

Pero también se requiere el desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas que sean

buenas para el ambiente y a su vez aumenten la rentabilidad y el desarrollo social (Solbrig 2004). La siembra directa tiene el doble mérito de ser rentable y ecológicamente favorable. Sin embargo, cuando su uso lleva al desplazamiento de pequeños agricultores por grandes emprendimientos que aprovechan economías de escala, se puede cuestionar su sustentabilidad.

En los próximos capítulos se detallan los problemas y posibles soluciones al uso de recursos naturales en la República Argentina y cómo estos pueden afectar la cadena agroindustrial y a su vez como la cadena se puede beneficiar al adoptar medidas conservacionistas que ayuden a desarrollar un desarrollo sustentable en lo económico, ecológico y social.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Amouretti, M-C 1994. *L'agriculture de la Grèce antique. Bilan des recherches de la dernière décennie*. Topoi. Orient-Occident, 4 : 69–94.

Banco Mundial 2000. *Entering the 21st century. World Development report 1999/2000*. Washington, D.C.: Oxford University Press.

Bird, E. A., G. L. Bulena y J. C. Gardner, 1995. *Planning the Future. Developing an Agricultura that Sustains Land and Community*. Ames, Io.: Iowa State University Press.

Brown, L. 1974. *In the Human Interest*. New York: Norton.

Comisión sobre Ambiente y Desarrollo, Naciones Unidas. 1987. *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development.* Naciones Unidas Informe de la Comisión sobre Ambiente y desarrollo, diciembre 1987.

Carreño, L. y E. Viglizzo 2008. *Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina*. Buenos Aires: INTA

Carson, R. 1962. *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin Co.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Shahid, Naeem, O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Shahid, Naeem, O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1998). *The value of ecosystem services: putting the issues in perspective.* Ecological Economics 25: 67-72.

Cronon, W. 1996. *Uncommon Ground. Rethinking the Human Place in Nature*. New York: W. W. Norton.

Culbert, T. P., P.C. Magers, and M. L. Spencer. 1987. Regional Variability in Maya Lowland Agriculture In Pre-Hispanic Maya Agriculture, editado por P.D. Harrison and B. L. Turner, pp. 157-161. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Daily, G. H (ed.) 1997. *Nature's Services. Societal dependence on natural ecosystems.*

Washington, D.C.: Island Press.

Daly, H. E. 1996. *Beyond Growth*. Boston: Beacon Press.

Diamond, J. 2005. *Collapse. How societies choose to fail or succeed*. New York: Viking

Ehrlich, P. 1975. *The Population Bomb*. Rivercity, Ma.: Rivercity Press.

Escobar, A. 1995. *Encountering Development. The making and unmaking of the Third World.* Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Evenary, M., L. Sanan y N. Tadmor. 1971. *The Negev*. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.

Fernandez Alés, R. y O. T. Solbrig. 2001. *Are Famine and Malnutrition questions of Supply or Demand? Implications for Environmental Rural Sustainability*. In O. T. Solbrig, R. Paarlberg and F di Castri, (eds.) Globalization and thee Rural Environment. Cambridge, Ma.: Harvard University Press

Finley, M. 1975. *Le Problème de la terre en Grèce ancienne*. Paris-La Haye : Mouton.

Gadgil, M y R. Gutha. 1995. *Ecology and Equity*. London: Rutledge.

Glacken, C. J. 1967. *Traces on the Rhodian Shore*. Berkeley: University of California Press. Grove, R. H. 1995. *Green imperialism: Colonial Expansion, Tropical Island Edens and the Origin of Environmentalism*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.

Hammond, N. 1987. The Myth of the Milpa: Agricultural Expansion in the Maya Lowlands En Pre-Hispanic Maya Agriculture, editedo por P.D. Harrison and B. L. Turner, pp. 23-34. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Hays, S. P. 2000. *A History of Environmental Politics since 1945*. Pittsburg, University of Pittsburg Press.

Hughes, J. D. 2001. *An Environmental History of the World*. New York: Routledge.

Isager, S. y J. E. Skydsgaard, 1995. *Ancient Greek Agriculture: An Introduction*. London: Routledge.

Lawton. J. H. 2007. *Ecology, politics and policy*. Journal of Applied Ecology 44: 465-474.

Malthus, T. H. 1798. *An essay on the Principle of Population as it affects the future improvements of Society*.

Margulis, L. 1984. *Early Life*. Boston: John and Bartlett publishers.

McNeil, W. H. 1963. *The Rise of the West*. Chicago: The University of Chicago Press.

Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Tanders y W.W. Behrens III. 1972. *The limits to Growth*. New York: Universe Books.

National Research Council (USA) 1991. *Towards Sustainability. Soil and Water Research Priorities for Developing Countries*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Palermo V. y C. Reboratti (comp.) 2007. *Del Otro Lado del Rió*. Buenos Aires: Edhasa.

Pepper, D. 1993. *Eco-Socialism. From Deep Ecology to Social Justice*. London: Routledge.

Prugh, T. 1995. *Natural Capital and Human Economic Survival*. Sunderland, Ma.: Sinaueer.

Ramankutty N., J. A. Foley y J. Olejniczak. 2002. *People on the Land: Changes in Global Population and Croplands during the 20th century*. Ambio 31: 251-257.2002

Ramankutty N., E. Amato, T. Evan, C. Monfreda,y J. A. Foley. 2008. *Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000*. Global Biogeochemical Cycles, 22: 1029-2007.

Reboratti, C. 1999. *Ambiente y Sociedad*. Buenos Aires: Editorial Planeta.

Rice, D.S., and T.P Culbert. 1990. Historical Contexts for Population Reconstruction in the Maya Lowlands En Precolumbian Population History in the Maya Lowlands. Editedo por T.P, Culbert y D.S. Rice, pp. 1-36. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Richard, J. F. 1986. *World environmental history and economic development*. En W. C.

Clark y R. E. Munn “Sustainable Development of the Biosphere” pp. 53-71. Cambridge, U.K. Cambridge University Press.

Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesa. 1995. *Alerta Amarilla*. Buenos Aires: INTA

Solbrig, O. T. 2004. *La agriculturización de la Argentina. Una cuestión de producción, equidad y medio ambiente*. Actas del XII Congreso de AApresid, pp. 27-40.

Tainter, J. 1988. *The Collapse of Complex Societies*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Tainter, J. 2006. *Archeology of Overshoot and Collapse*. Annual Reviews of Anthropology: 35: 59-74.

Turner II, B.L. 1987. The Development and Demise of the Swidden Thesis of Maya Agriculture En Pre-Hispanic Maya Agriculture, editado por P.D. Harrison and B. L. Turner, pp. 13-22. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Turner II, B. L. and P. D. Harrison (eds).1990. *Poultrosser Swamp: Ancient Maya Habitat, Agriculture and Settlement in northern Belize*. Austin, Texas: University of Texas Press.

Willey, G.R. 1987. Pre-Hispanic Maya Agriculture: A Contemporary Summation. En Pre-Hispanic Maya Agriculture. Editedo por P.D. Harrison y B. L. Turner, pp. 325-336. Albuquerque: University of New Mexico Press.

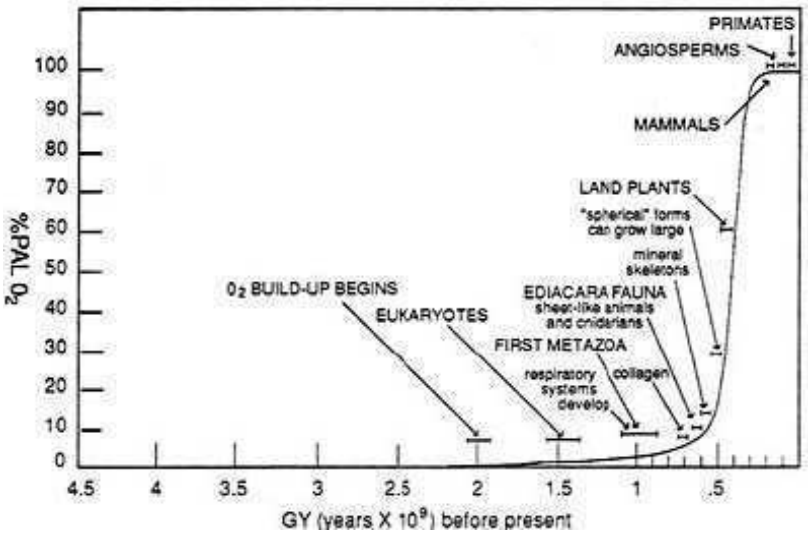


Figura 1. Aumento de la concentración de oxigeno (dado en % de la concentracion presente) y la aparición de diversos grupos de organismos y procesos biológicos. Fuente: Svenson y Turvey)

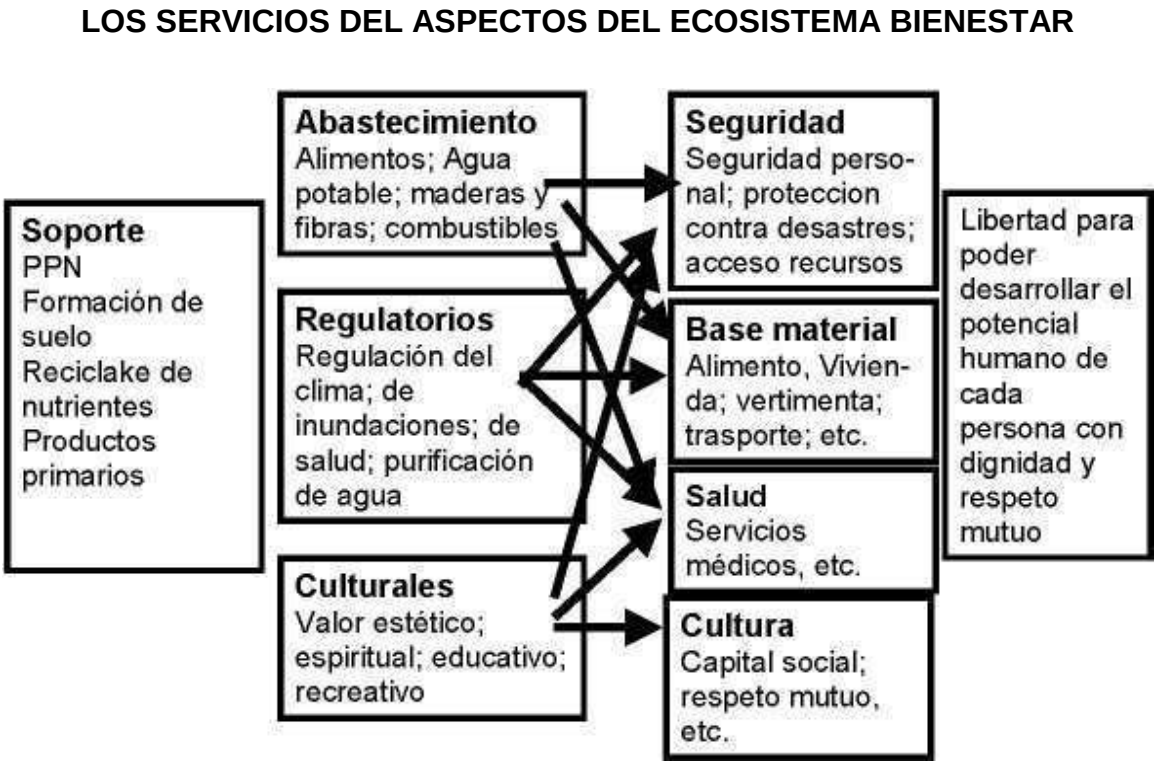


Figura 2. Los servicios del ecosistema y su relación con el bienestar humano. Las flechas indican las principales conexiones.

Capítulo 3

El Cambio Climático en Argentina

Vicente R. Barros

1. Condicionantes geográficas

La Argentina continental está dentro de la región de climas subtropicales y de latitudes medias. Junto con Chile, se extiende como una cuña entre dos inmensos océanos, lo que junto con la acción de los vientos que transportan masas de aire desde los océanos, favorece un clima poco continental, excepto en el norte. En consecuencia, las amplitudes térmicas tanto diarias como anuales no son muy pronunciadas en comparación con las regiones continentales de similares latitudes del Hemisferio Norte.

La Cordillera de los Andes es otro importante condicionante del clima regional; desde 40° S hacia el norte su altura media de alrededor de 4000 metros bloquea el intercambio de aire en los niveles bajos de la atmósfera entre un lado y otro de la misma. Como en estos niveles se encuentra la casi totalidad del vapor de agua, la Cordillera impide el pasaje de humedad del Pacífico hacia la Argentina. De esta forma, el noroeste de Argentina y el Chaco tanto argentino como paraguayo quedan aislados de las fuentes de vapor de agua desde el Pacifico y su lejanía del Atlántico, determina que su clima adquiera características secas y continentales. Esta falta de aporte de aire marítimo lleva a temperaturas más elevadas que en las regiones circundantes al este, oeste y sur, contribuyendo así a la formación de un sistema de baja presión de capas bajas de característica casi permanente. Este sistema, conocido como la Baja del Chaco, induce vientos cálidos y húmedos desde el norte sobre el este y centro de Argentina. Al sur de 40° S, la cordillera es mucho más baja, y el ascenso forzado de los vientos del oeste sobre la misma favorece la condensación y la precipitación en Chile y sobre una angosta faja del lado argentino. Las masas de aire transportadas por los vientos del oeste son de esta forma despojadas de su humedad, por lo que el resto de la Patagonia argentina recibe muy poca precipitación.

La Circulación Atmosférica.

Al norte de 40º S, la circulación predominante cerca de la superficie stá regida por el borde occidental del anticiclón del Atlántico Sur y por lo tanto los vientos más

frecuentes son del nordeste y en menor medida del este. De aquí en adelante, esta región será llamada Argentina subtropical. Como la Cordillera de los Andes bloquea el acceso de los vientos del Pacifico en las capas bajas de la atmósfera, las fuentes de vapor de agua de las precipitaciones en la Argentina subtropical son el océano Atlántico y el continente húmedo tropical. Este último es la principal fuente durante el verano y en parte de las estaciones intermedias (Wang y Paegle 1996). El anticiclón del Atlántico Sur también aporta aire húmedo desde el mar, pero en el este del país esta contribución sólo se traduce en precipitaciones importantes en el invierno.

Al sur de los 40° S, abarcando toda la Patagonia, predominan los vientos del oeste con una alternancia continua entre los sistemas sinópticos de las latitudes medias, esto es frentes, ciclones extratropicales y anticiclones migratorios. Esto produce rápidas sucesiones de tiempo lluvioso y despejado sobre la región cordillerana y de cielos nublados y claros en el resto de la Patagonia. La circulación del oeste irrumpe con frecuencia al norte de los 40° S en la forma de frentes fríos que avanzan hacia el norte y rotan los vientos a componentes del sudoeste o sudeste sobre el este de Argentina.

Temperatura

Campos medios de temperatura. En el mes típicamente invernal de julio, la temperatura media de superficie varia de 18° C en la frontera con Paraguay a menos de 2° C en buena parte de Santa Cruz y Tierra del Fuego. En el este y centro de la región subtropical la temperatura desciende hacia el sur pero también hacia el oeste, reflejando la mayor altura y también la continentalidad, ya que en esta época del año hay condiciones más frías en el continente que en el océano. La costa Patagónica tiene poca variación latitudinal por la corriente de Malvinas que por su dirección sur-norte tiende a morigerar los gradientes meridionales de temperatura. En la meseta y la región andina patagónica, la temperatura desciende hacia el oeste, influida por los mismos condicionantes que en la región subtropical, pero en forma más marcada. En enero, la temperatura media varia desde 9° C en el sur de Tierra del Fuego a 29° C en la frontera con Paraguay. En la Patagonia sigue persistiendo el gradiente hacia el oeste, acentuado con respecto al invierno por la mayor temperatura de la zona central y costera.

En la mayor parte de las zonas alejadas del mar, el ciclo anual de la temperatura sigue con muy poco desfasaje al de la radiación solar, con un máximo que en la mayor parte de la región subtropical se produce en la primera o segunda semana de enero.

Variabilidad interanual. En la Argentina subtropical, las situaciones con viento norte persistente durante varios días son las que producen los periodos con las mayores temperaturas. En la parte cálida del año, ello se refuerza cuando estas situaciones están acompañadas de cielos despejados que posibilitan la llegada de mayor radiación solar a la superficie. Sin embargo, en esta parte del año, el viento norte trae también considerable vapor de agua y por lo tanto estas situaciones suelen terminar rápidamente con abundante nubosidad primero y precipitación después. En las regiones subtropicales, la nubosidad y la precipitación tienden a reducir la temperatura ya que la primera intercepta la radiación solar y la segunda enfría la superficie por la evaporación. De este modo, en la Argentina subtropical hay un efecto compensador entre la advección de mayor temperatura desde el norte y la nubosidad y precipitación que la acompañan. Por esa razón la variabilidad interanual de las temperaturas medias mensuales es relativamente pequeña en el este de la Argentina, donde aún en invierno, aunque en menor medida que en verano, sigue actuando este mecanismo compensador. Por el contrario en el oeste de la Argentina durante el invierno, la escasa humedad y precipitación no interfieren con la advección de temperatura y por ello se registra una mayor variabilidad interanual (Barros et al 2002).

Precipitación

Características de la precipitación. En la Patagonia, tanto en los Andes donde es más frecuente, como en el resto de la región donde es más esporádica, la precipitación se produce principalmente desde nubes de tipo estratiforme, llamadas nimbostratus. Estas tienen dimensiones horizontales de cientos o miles de kilómetros y verticales de no más de 5000 metros y dan lugar a lluvias regulares en tiempo y espacio. En cambio, en la región subtropical, la mayor parte de la lluvia se origina en nubes o sistemas convectivos. Ello es más cierto en el verano, cuando casi toda la precipitación tiene ese origen. Las nubes convectivas (cumulunimbus) producen precipitación intensa en forma de chaparrón y están asociadas generalmente con actividad eléctrica y vientos intensos en superficie. Su diámetro típico es del orden de 10 Km o menos y alcanzan alturas de hasta 15 Km. Estas

nubes pueden presentarse en forma aislada, pero es frecuente que se desarrollen en gran número dentro de los sistemas sinópticos de mayor escala como los frentes y ciclones extratropicales, o agrupados en un sistema convectivo de mesoescala (SCM).

En la Argentina subtropical, la mayor parte de la precipitación está asociada al pasaje de frentes fríos. Sin embargo, la precipitación no se produce sólo durante el pasaje de los mismos, sino más frecuentemente antes, originándose dentro de la masa de aire tropical. Otros sistemas sinópticos de gran importancia en la Argentina subtropical, que generalmente se producen antes del pasaje frontal frío, son los SCMs (Velasco y Fritch 1987). Los SCMs son de una dimensión menor que los ciclones extratropicales y los frentes, aunque pueden estar asociados a estos últimos. Su diámetro suele ser de 300 Km o menos y son de tal intensidad que pueden producir precipitaciones superiores a 100 o aún 200 mm en pocas horas. El sudeste de América del Sur y la zona sur del medio oeste de los Estados Unidos son las regiones del mundo donde estos fenómenos son mas frecuentes (Nesbit y Zisper 2000). Estos sistemas son la principal causa de la enorme potencialidad destructiva de las lluvias intensas ya que pueden generar las mismas sobre áreas del orden de 50.000 y hasta 100.000 Km^2.

Campos medios de precipitación. En la región subtropical, la precipitación media anual presenta un gradiente zonal con un máximo de más de 1200 mm en el Nordeste y valores del orden de 100 mm en los desiertos de Cuyo y Comahue. Este gradiente este-oeste en las precipitaciones responde a que los flujos de vapor de agua, sea desde el continente húmedo tropical o desde el Atlántico están más frecuentemente dirigidos hacia el este del país.

En el oeste de Argentina, sólo durante la parte estival del año llega suficiente humedad desde el Atlántico como para producir precipitaciones al oriente de las sierras de Orán, Tucumán, Córdoba, y San Luis donde consecuentemente se registra un máximo espacial relativo. Al oeste de estas sierras se encuentra la zona más árida, ya que el ingreso de vapor de agua esta impedido por estos cordones desde el este, por los Andes desde el oeste y por la Puna y la altiplanicie boliviana desde el norte. En la Patagonia, donde los vientos son predominantemente del oeste, los Andes restringen el acceso de vapor de agua y excepto en algunas áreas cordilleranas, la precipitación anual no supera los 200 mm. Sólo muy al sur, en Santa Cruz y Tierra del Fuego donde la altura de la cordillera está ya

muy reducida, las precipitaciones superan los 300 mm anuales en algunas zonas.

El régimen anual de precipitación presenta considerables diferencias entre las distintas regiones del país. En el Noroeste y en Cuyo casi toda la precipitación se produce en la mitad estival del año mientras que en invierno es prácticamente mula. Hacia el este, la estación invernal seca tiende a desaparecer y en la costa atlántica de Uruguay y del sur de Brasil el máximo se registra en invierno. En el centro de Argentina y en la Pampa Húmeda hay dos máximos en el régimen anual medio de precipitación, uno en octubre-noviembre y el otro en marzo-abril. Aunque en esa región hay un mínimo relativo en el verano, los valores promedio de esta estación son mayores que los del invierno. De todos modos, es conveniente señalar que en el este de la Argentina subtropical las variaciones interanuales son tan grandes que en un año particular los valores máximos o mínimos pueden ocurrir en cualquier mes.

En la zona cordillerana de la Patagonia las precipitaciones más abundantes se producen en la mitad fría del año, excepto en el extremo sur de Santa Cruz y Tierra del Fuego. Este mismo régimen se observa también en la mayor parte de la costa y la meseta de Chubut y Santa Cruz. Este ciclo anual responde a la fluctuación estacional del borde oriental del anticiclón del Pacífico Sur. La nieve que precipita en los Andes en Cuyo y Comahue sigue esta misma variación estacional, y en la primavera y verano su derretimiento provee el agua de los ríos que permiten los oasis cultivados en el piedemonte andino y en la meseta árida del Comahue.

Las precipitaciones extremas. El origen predominantemente convectivo de las precipitaciones en la Argentina subtropical, y la existencia de frecuentes SMCs favorecen la ocurrencia de eventos severos de gran intensidad. Cuando estas precipitaciones caen sobre zonas donde las condiciones de escurrimiento no son propicias para la evacuación de las aguas superficiales dentro de los cauces normales, su secuela son inundaciones con efectos destructivos. La frecuencia anual de las precipitaciones en exceso de 100 mm registradas en el lapso de dos días consecutivos para el periodo 1959-2002 es en casi todo el noreste de alrededor de una por año. Esta frecuencia disminuye hacia el sur y hacia el oeste. En ese período, las 38 estaciones con registros diarios completos registraron 576 episodios de lluvias de esta magnitud, es decir, más de 12 casos por año o lo que es

equivalente, uno por mes, lo que es indicativo de la naturaleza torrencial de las precipitaciones de la región.

La variabilidad interanual. La precipitación está condicionada no sólo por los flujos de humedad sino por procesos atmosféricos que favorecen o inhiben los movimientos verticales que dan lugar a los mecanismos de la condensación del vapor de agua y posterior precipitación. Estos movimientos verticales son producto de procesos dinámicos de la atmósfera que en ciertos casos se originan en regiones remotas. Uno de estos procesos son las fluctuaciones en la temperatura del mar en el Pacífico ecuatorial que dan lugar a los eventos del Niño y La Niña. Estos cambios en la temperatura de la superficie del mar afectan la atmósfera de esa región ecuatorial y se propagan en la atmósfera en forma de ondas que favorecen o inhiben la precipitación en distintas zonas geográficas. En el caso de la Argentina subtropical, estas influencias remotas son tan importantes que la alternancia de condiciones del Niño, la Niña y neutras es la mayor fuente conocida de la variabilidad interanual de la precipitación (Ropelewski y Halpert 1987; Kiladis y Díaz, 1989, Grimm et al 2000). Aunque en promedio, el Niño y la Niña presentan determinadas asociaciones con las precipitaciones en Argentina subtropical, hay también una notable variabilidad de la precipitación entre eventos del mismo tipo, sean estos Niños o Niñas.

La variabilidad interanual de la precipitación tiene también otras causas, distintas a las fluctuaciones de la temperatura superficial del mar del Pacífico ecuatorial, que son menos conocidas. No obstante se sabe que las precipitaciones en el oeste y centro de la Argentina responden también a la temperatura superficial del mar en el Atlántico Sur y en otras regiones remotas (Castañeda y Barros 2001).

Los cambios climáticos observados en Argentina durante las últimas 4 décadas

Temperatura

La temperatura media de superficie, no presenta tendencias significativas en la Argentina subtropical. Ello es el resultado de dos tendencias contrapuestas en la temperatura mínima (positiva) y la máxima (negativa), cada una de ellas con valores que varían espacialmente entre 1 y 3° C durante el siglo veinte. El aumento de las temperaturas mínimas es lo que debe esperarse como consecuencia del aumento en las concentraciones

de gases de efecto invernadero, mientras que el descenso en las máximas se debe a las mayores precipitaciones asociadas con mayor nubosidad y evaporación, procesos que tienden a reducir las temperaturas máximas.

El aumento de las temperaturas mínimas se ha notado más en el invierno donde es muy marcada la tendencia a largos periodos del mismo sin condiciones muy frías. Además, se ha estado observando la prolongación de las condiciones térmicas del verano en el otoño temprano y la reducción de la diferencia entre invierno y verano por las mayores temperaturas en el primero (Bejarán y Barros 1998). Asociado con esto, se ha observado un progresivo aumento de la circulación media de las capas bajas de la atmósfera típica del verano en detrimento de la propia del invierno en las estaciones intermedias. (Di Luca et al 2006).

En la Patagonia se aprecia un marcado tren positivo en las temperaturas medias que es más intenso hacia el sur donde se han registrado aumentos superiores a 1° C. Esta tendencia parece haberse detenido y en algunos casos revertido parcialmente en los últimos años.

Precipitación

Las precipitaciones medias anuales. El cono sur de América al este de los Andes fue la región del planeta con el mayor aumento en la precipitación durante el siglo XX (Giorgi 2003). En contraste, al oeste de los Andes, las tendencias fueron intensamente negativas. Esta diferente tendencia en la precipitación entre las dos regiones de latitudes subtropicales, positiva al este y negativa al oeste de los continentes se ha registrado también en Australia por lo que parece ser una característica del Hemisferio Sur. La aparente causa de este comportamiento hemisférico es el desplazamiento de los anticiclones subtropicales hacia latitudes más altas que se ha registrado en las últimas décadas (Gillet et al 2003; Escobar et al 2003, Barros et al 2008), lo que es un comportamiento consistente con el calentamiento global

Las tendencias positivas de la precipitación se intensificaron a partir de la década de 1960 en la mayor parte del territorio argentino (Castañeda y Barros 1994) como puede apreciarse en dos ejemplos en la figura 3.2.

Las dos regiones donde se han producido los mayores aumentos son el oeste de la Provincia de Buenos Aires y La Pampa al sur y en Corrientes y sur de Misiones en el noreste (Fig. 3.3). En ambas, los incrementos en los últimos 30 años del siglo pasado fueron de más de 300 mm. En la primera de ellas, el incremento porcentual fue casi del 50 %, lo que explica que en esa zona se haya registrando cada vez más frecuentes inundaciones y que incluso, muchos campos se hayan transformado en lagunas permanentes. En el caso de Corrientes, los esteros y las lagunas del sistema Iberá han expandido su superficie notoriamente.

Este aumento de las precipitaciones no fue simultáneo sobre toda la región. En el sur y centro de la Argentina subtropical (provincias de Buenos Aires, Córdoba y La Pampa) la fuerte tendencia positiva se inició a fines de la década de 1960 (Fig. 3.1). Esto coincidió con un notable calentamiento de las costas e islas antárticas del hemisferio occidental, y fue muy probablemente causado por el desplazamiento hacia el sur del Anticiclón del Atlántico Sur (Barros et al 2008). En el sur de Brasil y noreste de Argentina, las tendencias positivas se iniciaron a partir de mediados de la década de 1970 estando aparentemente vinculadas con una mayor intensidad y frecuencia del fenómeno de El Niño (Barros et al 2008).

Dado que las isoyetas corren en dirección aproximadamente meridional, el aumento de las precipitaciones medias anuales sobre toda la región, implicó el desplazamiento de las isoyetas hacia el oeste. Como puede verse en la figura 3.3, la isoyeta de 600 mm, que aproximadamente delimita la frontera agrícola en el sur de la pampa húmeda argentina, se desplazó más de 100 Km al igual que la de 800 mm que en el norte es el límite de la agricultura de secano.

Las ciudades y la economía cuyana dependen del agua de los ríos que se originan en las nieves y glaciales cordilleranos ya que las precipitaciones en el piedemonte andino son sumamente escasas y no influyen en los caudales medios de los ríos que dan lugar a los oasis. Más hacia el sur, en el Comahue ocurre lo mismo, aunque ya las precipitaciones al este de los Andes tienen cierta influencia en los caudales medios de los ríos. Los sistemas meteorológicos que dan lugar a las nevadas en la cordillera son los mismos que producen las precipitaciones en las localidades chilenas al oeste de los Andes. A falta de datos que permitan visualizar las tendencias de las precipitaciones sólidas en la alta montaña, se

pueden considerar las tendencias de las precipitaciones del lado chileno que han sido decrecientes en la región chilena lindantes entre 30 y 42° S. Estas tendencias negativas son más pronunciadas desde la década de 1960, siendo similares a las de las muy pocas estaciones con largos registros en la zona oeste de la Patagonia argentina

Tendencias estacionales y por fases del El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) **.** En líneas generales por encima de detalles regionales, en la Argentina subtropical las tendencias positivas de la precipitación de las últimas décadas del siglo veinte se produjeron en el verano y en las estaciones intermedias. En el invierno las tendencias tuvieron poca magnitud, excepto en el Litoral donde fueron negativas (Barros et al 2008).

La fase Niño del ENSO ha ganado en intensidad en las últimas décadas del siglo pasado. Ello explica gran parte de tendencia positiva al norte de una franja que va desde Jujuy hasta el centro de Uruguay, incluyendo por lo tanto, al Noreste de la Argentina. Por el contrario al sur de esta franja, la contribución de la fase Niño fue prácticamente nula. En esta última región, la tendencia positiva se produjo por la contribución de los períodos neutros que también influyeron además en el núcleo de tendencias positivas de Corrientes y Misiones. Por otra parte, el aporte de los periodos Niña a las tendencias de la precipitación en la región fue muy escaso o prácticamente nulo (Barros et al 2008). Estos resultados puede ser importante a la hora de la interpretación de los escenarios futuros pues sirven para poner de manifiesto los mecanismos responsables de las tendencias climáticas de las últimas décadas, pero sobretodo para estimar los escenarios de los próximos años dado que como todo parece indicar, el ENSO ha entrado en una fase con Niños menos intensos que puede durar entre 10 y 20 años.

Las precipitaciones extremas. Desde la década de 1970, en el este de la Argentina, es decir, en el Litoral y la Pampa Húmeda, también se registró una tendencia hacia precipitaciones extremas más frecuentes. Esta tendencia se agudizó en la década de 1990. El incremento de la frecuencia de precipitaciones intensas se muestra en la figura 3.4 que grafica el cociente entre la frecuencia anual de casos con precipitaciones por encima de 150 mm entre dos períodos de 20 años, 1983/2002 y 1959/1978. Eventos como los que se analizan en esa figura son los que conducen generalmente a inundaciones cuando las condiciones del terreno no facilitan el escurrimiento o lo

concentran en determinados lugares. Estas precipitaciones son producidas en muchos casos por SCMs.

Las tendencias calculadas hasta el 2002 resultaron ampliamente confirmadas por eventos posteriores entre los que se destaca la inundación de la ciudad de Santa Fe por la gran crecida del río Salado y numerosos eventos de precipitaciones intensas durante los años 2006 a lo largo de todo el país con las consiguientes secuelas de inundaciones. Varios episodios de lluvias intensas causaron torrentes y deslizamientos en Tartagal que afectaron la ciudad e inundaciones en las provincias del Chaco y Formosa. Durante el invierno, temperatura inusualmente altas para la época del año derritieron las superficies nevadas, lo que sumado a intensas lluvias produjo importantes riadas en Neuquén ocasionando severos daños, que la provincia estimó cercanos a los 100 millones de pesos. En el otoño del 2007, se produjo una secuencia de precipitaciones extremas que se extendieron desde el este de Córdoba hasta Uruguay, con un máximo sobre el centro de Santa Fe, donde en 3 o 4 días llovieron más de 500 mm afectando una gran superficie agrícola. Otros eventos de grandes precipitaciones se registraron durante los años 2006 y 2007 en Tucumán, Formosa, Reconquista y en varias oportunidades en Córdoba.

Hay razones físicas para que las precipitaciones más intensas aumenten su frecuencia con el calentamiento global. Entre otras razones de más compleja explicación, el contenido de vapor en la atmósfera usualmente aumenta con la temperatura y en consecuencia los sistemas meteorológicos precipitantes disponen de mayor agua. Como resultado del calentamiento global, hay grandes regiones del planeta donde el aumento de las precipitaciones intensas fue mayor que el esperado por el aumento de las precipitaciones medias anuales (Groisman et al. 2005).

El viento

No existen mucha información sobre la evolución del campo de viento en superficie durante las últimas décadas Ello en parte se debe a la poca calidad de los datos de esta variable debido a deficiencias del instrumental y a la influencia que un entorno variable en el tiempo puede ejercer en forma significativa sobre la tendencia de los vientos en superficie.

El campo de presión en superficie, variable asociada al viento a través de la relación geostrófica muestra claros indicios de que el anticiclón del Atlántico se ha estado desplazando hacia el sur (Camilloni 2006). Asociado a ello se debe esperar que el viento predominante sobre el Río de la Plata haya rotado desde el noreste hacia una componente más cercana al este. Ello se comprobó con escasos datos (Simionato et al 2004) y puede haber afectado el nivel medio del Río de la Plata en algunos centímetros (Barros et al 2005).

El desplazamiento de la circulación del anticiclón hacia el sur, muy probablemente haya incidido en la menor frecuencia de vientos del oeste y mayor del noreste sobre el sur de Buenos Aires y norte de la Patagonia. Igualmente es de esperar que el cinturón de vientos del oeste que tenia su máxima intensidad en Comodoro Rivadavia se haya desplazado hacia el norte y centro de Santa Cruz. Al respecto no hay publicaciones, pero los datos de C. Rivadavia y Puerto Deseado indican ese desplazamiento y los datos mas recientes muestran el máximo en el centro de Santa Cruz (Barros et al 1997)

3. Consecuencias de los cambios climáticos observados

La expansión de la frontera agropecuaria

Como consecuencia del aumento de las precipitaciones, así como por la incorporación de nuevas tecnologías, y una relación de precios favorable, la frontera agrícola se ha desplazado más de 100 Km hacia el oeste, dando lugar a una importante agriculturización en una franja que va desde La Pampa hasta Santiago del Estero y que hasta no hace mucho era considerada semiárida. Este tema se trata con mayor extensión en otros capítulos de este libro por lo que solo se lo menciona aquí a título de inventario.

El ascenso de la napa de agua subterránea

Las mayores precipitaciones, no acompañadas por mayores temperaturas han dado lugar a excesos hídricos que se manifestaron no solo por mayores escurrimientos hacia los ríos, sino que en las grandes llanuras donde el equilibrio hídrico se da fundamentalmente en la vertical aumentaron la infiltración provocando ascensos de la napa freática que a su vez se ven potenciados en las zonas mas bajas por el escurrimiento sub-superficial. Cuando la

napa alcanza la superficie se generan inundaciones permanentes como ocurre en el sur de Santa Fe, oeste y centro de Buenos Aires y en Corrientes. Las inundaciones transitorias de este tipo en algunos casos salinizan el suelo, por lo que el daño es más duradero que la inundación (Capítulo 7).

De esta forma un aspecto negativo del cambio climático del las ultimas década ha sido la depreciación de algunas zonas agrícolas por las continuas o repetidas inundaciones en muchas zonas de las provincias de la Pampa, Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires y Corrientes. En algunos casos, el aumento de la napa freática, esta causando trastornos urbanos como en la ciudad de Reconquista con el afloramiento de aguas servidas y otros perjuicios. Recientemente en el este de San Luis en la zona de Villa Mercedes y Justo Daract se observa un proceso similar con perjuicios a la infraestructura, especialmente vial y a la actividad agrícola.

Afectaciones por más frecuentes inundaciones

Otro aspecto negativo del cambio climático de las últimas décadas es la mayor frecuencia e intensidad de inundaciones de todo tipo que pasaron a ser las catástrofes de origen natural que mayores daños económicos y sociales causaron en las últimas décadas. Grandes áreas ribereñas del Paraná Medio y del Bajo Paraná han sido afectadas con creciente frecuencia, al punto que tres de las cuatro mayores inundaciones del siglo XX se produjeron en sus últimos veinte años, en 1983, 1992 y 1998.

El aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas ha incrementado notablemente la vulnerabilidad social y puesto en crisis a gran parte de la infraestructura. Los perjuicios de las inundaciones en muchos casos se han potenciado por la inadecuación de la infraestructura a las nuevas condiciones climáticas y por la falta de conciencia sobre estas nuevas condiciones.

La Argentina tiene el 90% de la población concentrada en 800 centros urbanos. Un número importante de estos centros, y casi todos los más grandes, tienen una localización cercana algún curso importante de agua, por lo cual son vulnerables a posibles inundaciones causadas por desbordes de los mismos. Aunque generalmente la localización inicial de los centros urbanos se hizo en zonas altas, la posterior expansión ha llevado a la

ocupación de zonas más bajas. Por ello que se han detectado problemas por afectaciones hídricas negativas en al menos 32 ciudades donde algo mas de un millón de personas podría sufrir riegos de inundación debido a lluvias intensas (Kullock, 2007).

Desde el punto de vista económico, en algunos años, los daños directos de las inundaciones han superado los mil millones de pesos, reduciendo las exportaciones y afectando las economías regionales. Los daños mediatos han sido probablemente más importantes con la quiebra de empresas, el mayor desempleo y las consecuencias de largo plazo sobre la salud.

Los mayores caudales en los ríos del Litoral

Como las mayores precipitaciones también se registran en Paraguay y Brasil, los caudales de los ríos del Litoral aumentaron considerablemente. En particular, los caudales de los grandes ríos Paraná, Paraguay y Uruguay aumentaron considerablemente desde mediados de la década del 70 (García y Vargas 1998; Genta et al 1998, Barros et al 2004). Los aumentos porcentuales de los caudales de estos ríos fueron más de dos veces mayores que los de la precipitación (Berbery y Barros 2002). Esta amplificación de la respuesta hidrológica indica que los caudales de estos ríos tienen una gran sensibilidad a los cambios climáticos y que por lo tanto las actividades humanas que dependen de estos caudales son potencialmente muy vulnerables a los cambios climáticos.

La Figura 3.5 muestra los caudales medios anuales de los tres grandes ríos, Paraná, Paraguay y Uruguay, que si bien tienen una alta variabilidad interanual, presentan claras tendencias positivas en sus caudales desde 1970. Ese aumento de los caudales produjo enormes beneficios a las represas hidroeléctricas, al superarse sus expectativas iniciales de producción, con aumentos que en general alcanzaron más de un 30%.

La menor oferta de agua en Cuyo y Comahue

Las series de los caudales de los principales ríos de Cuyo y Comahue, presentan una moderada tendencia negativa cuando se considera la totalidad de la información, generalmente cerca de un siglo, y una marcada aceleración de esta tendencia negativa a partir de la década de 1980. Debido a ello, en el Comahue ya ha habido una reducción del

orden del 30 % en la generación de electricidad cuando se la comprara con la que se hubiera obtenido con las misma infraestructura hidráulica si se hubieran mantenido los caudales de la década de 1940 (G. Devoto, 2005). Sobre la importancia de este impacto negativo, cabe mencionar que la producción hidroeléctrica anual de esta región varía según el año entre el 20 y 25 % del total de la generación eléctrica del país.

En Cuyo, donde el riego es el uso consumptivo del agua predominante (80 % o más), este parece haber llegado ya al límite o estar muy próximo del mismo por lo que se hace un uso complementario de agua subterránea para riego que es del orden del 20%, razón por la cual en Mendoza se la denomina como el “quinto río”.

Los glaciares sufren desde principios de siglo un marcado retroceso, producto de balances de masa (cantidad de hielo acumulado en el invierno menos cantidad de hielo derretido en el verano) negativos. Hay mediciones desde el año 1979 en un glaciar representativo de la región, el del Cajón del Rubio (cuenca del Río Mendoza). Los resultados muestran que el balance de masa acumulado es altamente negativo (Leiva 1999). El uso de datos de fuentes documentales combinadas con otras técnicas de análisis paleo-climático han permitido establecer que el comportamiento de la mayoría de los glaciares de la Cordillera Central, tanto en la vertiente Argentina como en la Chilena es similar al observado en el mencionado glaciar con un retroceso que se manifiesta desde principios del Siglo XX (Boninsegna y Villalba 2006).

El aumento de la temperatura esta cambiando además el hidrograma anual de los ríos andinos ya que al comenzar más temprano el proceso de fusión de la nieve, se incrementa el caudal en los meses de primavera, y el pico de máximo ocurre más temprano, dando lugar en consecuencia a la disminución de los caudales de verano por agotamiento de la masa de nieve. A ello se suma que debido a la elevación de la isoterma de cero grado, una fracción cada vez mayor de la precipitación de invierno cae como agua líquida y escurre rápidamente. Como el agua es requerida en Cuyo principalmente para el riego en el verano, este desfasaje del hidrograma agrega una dificultad más a la notoria reducción de los caudales. Esto mismo está ocurriendo en los ríos de origen nival en California, una región que tiene condiciones climáticas similares a las de Chile central y Cuyo.

La isoterma de cero grado y los glaciares

La altura de la isoterma de cero grado, representa en general la altura por encima de la cual la temperatura se encuentra debajo de 0° C cero (punto de congelación del agua). Ello implica que en las superficies sólidas que se encuentran por encima de la altura de esa isoterma, el agua permanecerá en estado sólido. Mientras que por debajo de esa altura, se escurrirá en forma líquida. La altitud a la que se ubica la isoterma de cero grado puede ser entonces usada para inferir el comportamiento de la altura mínima en que se puede hallar nieve y o hielo. Esta altura tiene un ciclo anual bien marcado, variando las alturas entre verano e invierno con diferencias de hasta 2.000 metros o más en la región Comahue.

En los últimos 50 años, la isoterma de cero grado ha estado aumentado su altitud (Fernández, 2006), como puede verse, por ejemplo, en la Figura 3.6. Esto explica que el retroceso generalizado de los glaciares de Argentina y Chile se debió principalmente a un aumento de la temperatura del aire que se refleja en el aumento de la altitud de esta isoterma. Sin embargo como en el caso de la temperatura de superficie, la tendencia al aumento de la altura de la isoterma parece haberse morigerado en los últimos años.

4. Los cambios climáticos proyectados para Argentina durante las próximas décadas

La metodología de los escenarios climáticos, construcción y limitaciones

Los escenarios climáticos son representaciones acerca del clima futuro posible, consistentes con suposiciones sobre las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles, y con el conocimiento científico actualizado sobre el clima. Describen cómo las futuras actividades humanas alterarían la composición de la atmósfera y, en consecuencia, el clima global. Con esta información se trata de estimar cómo serán afectados los sistemas naturales y las actividades humanas.

Los escenarios climáticos no son predicciones como los pronósticos del tiempo. Un escenario climático depende de la suposición que se hace sobre las futuras emisiones de GEI. Estas a su vez dependen de factores de difícil pronóstico como la intensidad y el tipo de crecimiento económico, la demanda de energía y el tipo de energía primaria para satisfacer dicha demanda, así como los desarrollos tecnológicos en el uso y generación de energía, los cambios en el uso del suelo y muchos otros aspectos. En general, la

incertidumbre que rodea estas suposiciones es bastante grande y se pueden asumir un gran número de escenarios posibles de emisiones de GEI. La utilidad del uso de escenarios de emisiones y vinculados a ellos de escenarios climáticos es que aunque no se sabe cual de ellos puede llegar a realizarse, dan un abanico de futuros posibles de forma que se puede entonces estimar las cotas mínimas y máximas de los valores climáticos para un determinado horizonte temporal. Con estas estimaciones que fluctúan dentro de un determinado rango se puede hacer la evaluación de los probables impactos climáticos en determinadas regiones y actividades humanas.

Para el Tercer Informe del año 2001, el IPCC elaboró una serie de escenarios que incluyen proyecciones hasta el año 2100 a partir de una amplia variedad de suposiciones socioeconómicas, cuya validez fue severamente cuestionada. Por ello, se ha terminado por considerarlos simplemente escenarios de emisiones. Las dos principales dimensiones en la construcción de estos escenarios socioeconómicos son una que varía entre el desarrollo mundial con prioridades en valores económicos (tipo A) o ambientales (tipo B) y otra que va desde un aumento en la homogenización global (tipo 1) al mantenimiento de condicione heterogéneas entre regiones (tipo 2). A partir de estas combinaciones con aspectos demográficos y tecnológicos hay toda una variedad de escenarios socioeconómicos que dieron lugar a escenarios de emisiones de GEI.

El efecto de las concentraciones de GEI en el clima se estudia mediante modelos climáticos globales (MCGs) que permiten simular el sistema climático en casi toda su complejidad. Estos modelos representan los procesos físicos del mar, la atmósfera, el suelo y la criósfera, y simulan su evolución mediante el uso de grandes computadoras. Para la realización de los experimentos climáticos globales se requiere de enormes capacidades de cómputo en supercomputadoras. Los MCGs más sofisticados han sido capaces de reproducir, a partir de la evolución de las concentraciones de los GEI, los cambios climáticos globales observados durante el periodo industrial. Esto genera cierta confianza en su habilidad para simular los cambios globales del clima futuro.

Los distintos MCGs proyectan valores de la temperatura global con algunas diferencias, aún bajo los mismos escenarios de emisiones de GEI, aunque todos dan la misma respuesta cualitativa, esto es calentamientos apreciables a lo largo del siglo XXI.

Aunque los MCGs son una metodología confiable para estimar cambios climáticos a escala global, aún tienen una capacidad limitada para simular el clima en la escala regional. En efecto, aunque los distintos modelos son consistentes entre sí en sus predicciones en la escala global, presentan diferencias en la escala regional, particularmente en las simulaciones de la precipitación y en su predicción futura, lo que es una limitante de importancia a la hora de evaluar los impactos del cambio climático, ya que es de esperar que la mayor parte de los impactos ecológicos, económicos y sociales sean de escala regional o local.

Una de las razones por la que los MCGs no reproducen adecuadamente los aspectos regionales del clima es su baja resolución espacial. Como deben cubrir todo el planeta y el paso de tiempo en su fase atmosférica es del orden del minuto, ello hace que sus simulaciones del clima por 100 o 200 años requieran enorme tiempo de computación. Para no aumentar indebidamente estos tiempos, los modelos tienen una baja resolución espacial, de 200 a 300 Km. La mejora de las simulaciones del clima en una determinada región se puede hacer mediante el anidado de un Modelo Regional de Alta Resolución (MRAR) en las salidas de los MCGs. Los MRARs se circunscriben a la zona de interés y pueden alcanzar resoluciones espaciales de hasta 15 Km. Este proceso se denomina downscaling dinámico.

Finalmente es necesaria la definición de una línea de base para determinar el clima observado con respecto a la cual la información de cambio climático es referida para crear los diferentes escenarios climáticos. La elección de esta línea o período de referencia está con frecuencia determinada por la disponibilidad de información climática. La mayoría de los estudios de impacto tiene como objetivo determinar los efectos del cambio con respecto al "presente" y por lo tanto utilizan períodos de base recientes como por ejemplo 1961-1990.

Horizontes temporales

Aunque parezca curioso, una vez supuesta ciertas emisiones de GEI, los MCGs pueden generar escenarios climáticos con menos incertidumbre en horizonte de tiempo de un siglo que en el caso de una o dos décadas. Ello es así porque por una parte, en un siglo

el efecto del aumento de las concentraciones de GEI será mucho mayor que en 10 o 20e años y de esta forma la señal que producen en el clima es más clara y sobresale por encima de la variabilidad interanual típica del clima. Por otra parte, el clima presenta a escala global y más aún a escala regional, variaciones en la escala de décadas que hasta hoy no se las sabe predecir y que por su magnitud pueden oscurecer las tendencias debidas al forzamiento del aumento de la concentración de GEI en esa escala de tiempo.

Sin embargo, el valor de un escenario climático a 10 o 20 años es de mayor interés para la toma de decisiones que uno tan alejado como 50 o 100 años, que no solo tiene poco interés para los tomadores de decisión y la sociedad en su conjunto, sino que debido a la rapidez con que están ocurriendo los cambios socioeconómicos y tecnológicos resulta de escaso valor para la adopción de adecuadas medidas de adaptación anticipatoria.

En consecuencia, se impone un compromiso y por ello los escenarios que se discuten en este capítulo son para un periodo de entre 20 y 40 años.

Composición de escenarios globales para Argentina

Precipitación media anual. Los distintos MCGs muestran resultados dispares, pero en general, los cambios respecto de la década de 1990 son relativamente pequeños, sea en un sentido u en otro. Muestran mayoritariamente una tendencia al aumento de la precipitación en la mayor parte del Centro de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. Otra característica mucho más común a todos los modelos es la tendencia a la disminución de la precipitación en la región central de Chile, Cuyo, Neuquén y el oeste de Río Negro y Chubut (Figura 3. 7).

Pese a la disparidad entre los modelos, cabe señalar que la mayoría de sus escenarios muestran que en el futuro continuarían las tendencias climáticas observadas en las últimas décadas en la región con incrementos al este de la Cordillera de los Andes y disminuciones sobre la misma y en Chile. Esto es también una indicación de que las tendencias actuales estarían relacionadas con el cambio climático global.

Temperatura media anual. Si bien los modelos muestran resultados dispares en cuanto a la magnitud de la variación de la temperatura y su distribución espacial, hay bastante

concordancia en la mayoría de ellos, Figura 3.8. Todos muestran un aumento de la temperatura en toda la región analizada. El mayor calentamiento aparece en la región norte (hasta casi 1° C) y el menor calentamiento se registra en la Patagonia (0,4º C) y sobre el norte de Buenos Aires y Entre Ríos (aun menos de 0.4º C).

Las zonas sombreadas son aquellas en que los distintos modelos concuerdan en más de un 95 % en el signo del cambio. Es decir que los modelos concuerdan entre si en que habrá un calentamiento, prácticamente en toda la región, excepto en Tierra del Fuego.

Los cambios estacionales serían muy similares en todas las estaciones para toda la región. Sin embargo, al este de los Andes, en el caso del verano y las estaciones intermedias además del gradiente norte-sur en el calentamiento, hay una componente oeste-este asociada al mayor calentamiento del continente con respecto a los océanos, característica global del cambio climático que se espera.

Escenarios de alta resolución desarrollados por el CIMA

Para obtener estimaciones más localizadas del clima futuro se deben realizar experimentos con modelos numéricos de alta resolución sobre la región de interés usando las condiciones fronteras de MCGs. Este método permite tener en cuenta con más detalle los forzantes locales importantes del clima como el tipo de vegetación suelo y la elevación. Por otra tienen una mayor demanda computacional y aún así no soluciona todos los problemas de los escenarios provenientes de los MCGs. En parte, porque los MRARs conservan parametrizaciones físicas no perfectas y en parte porque trasladan algunos errores desde las condiciones de frontera provistas por los MCGs.

El Hadley Centre proveyó al CIMA los resultados de un modelo atmosférico de más resolución espacial forzado por las salidas del MCGs. La información de los modelos del Hadley Centre fue usada para las condiciones iniciales y de borde de los experimentos con el modelo regional de alta resolución MM5/CIMA con una resolución aproximada de 40 Km. Dadas las limitaciones computacionales, para el clima actual se usó el periodo 1981-1990 y el 2081-2090 para representar el cambio climático. Sobre la base de estas de las proyecciones al 2081/2090, mediante la técnica de “pattern scaling”, se obtuvieron los

escenarios climáticos para la década 2020/2030 para Patagonia y zona cordillerana (Nuñez y Solman 2006).

Los cambios proyectados, Fig. 3.9, son de condiciones levemente más áridas en la Patagonia, que pueden considerarse como de baja certidumbre, ya que se trata de un solo modelo y valores muy bajos. Al contrario, la reducción de la precipitación en la zona próxima a la Cordillera, sobre la misma y en Chile central y patagónico es muy importante, coincidiendo con las tendencias actuales y cualitativamente con las proyecciones de casi todos los MCGs en esa zona.

La proyección de la temperatura es más importante hacia el sur de la Patagonia. En esa zona, en los Andes se encuentra el campo de hielo más importante de América del Sur, y con esta proyección continuarían las tendencias actuales de retroceso generalizado de los glaciares.

Consecuencias ambientales y socioeconómicas de los escenarios climáticos en sus cambios menos inciertos

Si los escenarios climáticos para este siglo resultaran ciertos serian muy preocupantes para la Argentina, donde el clima es uno de sus más importantes activos físicos. Según estos escenarios, el aumento de temperatura abarcará todo el territorio, pero será más intenso en el norte del país donde podría superar los 3° C hacia fines del siglo. Los aumentos serían menores hacia el sur, pero aún en la Patagonia, superarían ampliamente un grado, los que sumados al calentamiento ya producido durante el siglo XX continuarían impulsando el retroceso generalizado de los glaciares.

Las respuestas hidrológicas con respecto a la variabilidad climática, las tendencias de la precipitación y de los caudales durante las últimas décadas y los escenarios del clima para el resto del siglo crean dudas sobre la actual disponibilidad de los recursos hídricos de la Cuenca del Plata en las próximas décadas. Hay por lo menos tres razones para ello; la primera es que el porcentaje de cambio en los caudales se amplifica con respecto a los respectivos cambios en la precipitación o en la evaporación (Berbery y Barros 2002). Esta es una característica intrínseca de la Cuenca de Plata que depende de sus condiciones fisiográficas y de su clima e implica que cambios relativamente moderados en la

precipitación o en la evaporación, no compensados entre sí, generan grandes cambios en los caudales, lo que hace que las actividades dependientes del agua tengan una alta vulnerabilidad potencial al Cambio Climático. La segunda razón es que en los últimos 30-40 años, los aumentos en la precipitación y en los caudales fueron muy importantes. Aunque aún no se sabe con certeza si estos aumentos se relacionan o no con el Cambio Climático global, su ocurrencia en tiempos recientes indica que podrían presentarse cambios semejantes en el futuro cercano, con el mismo u opuesto sentido al recientemente observado. Una tercera y mayor fuente de preocupación es que los más recientes escenarios climáticos proyectan cambios importantes de la temperatura sobre la mayor parte de la cuenca de Plata. Aunque estos cambios dependen de las emisiones de gases invernadero y del horizonte de tiempo, los aumentos de temperatura serían de cerca de 2° C en los próximos 50 años en la región donde se generan la mayor parte de los caudales de la Cuenca del Plata. Este aumento podría llevar a una mayor tasa de evaporación, produciendo reducciones considerables en los caudales de hasta el 30 % (Re et al 2005). Estos cambios en la hidrología de la Cuenca de Plata tendrían impactos considerables en la economía y la vida de la región. En particular, se vería reducida la generación de energía hidroeléctrica, no sólo a nivel nacional sino regional, con el agravante de que esta es la principal fuente de electricidad de Brasil (90 %) y Uruguay y la única de Paraguay. Otros usos del agua y de los ríos, como la navegación y el suministro de agua potable de algunas localidades, se verían igualmente comprometidos.

En el Este y el Centro de la Argentina, hay evidencias de cambios en las frecuencias de las precipitaciones extremas durante las últimas décadas. En esa región, el número de casos con precipitaciones mayores a 150 y 200 mm durante el período 1983-2002 es aproximadamente tres veces mayor que en el período 1959-1978 (Re et al. 2005) Este es un fenómeno observado en muchos lugares de la Tierra, y además esperable en un contexto de calentamiento global. Esta mayor frecuencia de precipitaciones extremas, que muy probablemente continuarán, es la causa de inundaciones locales que causan pérdidas de vidas y estragos económicos y sociales.

Para Cuyo y Comahue, los diferentes escenarios climáticos muestran bastante concordancia entre si, indicando un descenso de las precipitaciones sobre la cordillera de

los Andes y la zona vecina de Chile para el resto del siglo. Estas tendencias decrecientes se vienen ya registrando desde comienzos del siglo XX. Además, los escenarios indican un calentamiento que hacia 2020/2040 mayor a 1° C en Cuyo y algo menos en Comahue, con el consiguiente aumento de la demanda debida a la mayor evapotranspiración de los cultivos. De acuerdo con estos escenarios climáticos y sin una política de adaptación, el actual sistema de producción agrícola de Cuyo, basado en el riego con el agua superficial o subterránea que proviene de la Cordillera, se tornará vulnerable y hasta probablemente cada vez más próximo a ser inviable en pocas décadas. En el caso de los valles del Comahue, los caudales de los ríos seguirían decreciendo y reduciendo la generación de energía eléctrica.

En el Norte y Centro del país, debido a las mayores temperaturas, aumentará considerablemente la evaporación y como no se prevén grandes cambios en la precipitación es probable que se vaya hacia mayor aridez, revirtiéndose la tendencia opuesta de las últimas décadas. Este aspecto es de particular relevancia ante el actual avance de la frontera agropecuaria en el norte del país con la consiguiente destrucción del monte y la perdida de la cubierta vegetal del suelo que en un clima más árido conduciría a un proceso de desertificación.

A pesar de la probable reducción de los caudales, el uso consumptivo del agua en Comahue y el norte de la Patagonia para riego y uso urbano e industrial no se vería afectado en la primera mitad del siglo. En el caso de los valles del río Negro, este uso es menor a 80 m^3/s y el caudal es del orden de 1000 m^3/s. Por lo tanto, aún si se regara toda la superficie del valle con potencial agrícola (esto es triplicando el área actual), con una mayor evapotranspiración y con un caudal reducido en un 30 %, todavía se estaría lejos de una situación crítica. Estos mismos cambios pueden llegar al limite del uso del recurso en el caso de los ríos Colorado y Chubut, pero es poco probable que ello ocurra en la primera mitad de este siglo (Barros et al 2006).

No se esperan reducciones de los caudales en los ríos de Chubut y Santa Cruz que nacen en la cordillera de los Andes durante la primera mitad del presente siglo, porque si bien las precipitaciones sobre la cordillera seguirán reduciéndose, tal como parece haber estado ocurriendo durante la segunda mitad del siglo XX, ello se estaría compensando con la pérdida de masa de los glaciares, proceso que seguiría durante el resto del siglo XXI.

Excepto por la recesión de los glaciares, desde el punto de vista del desarrollo regional, este panorama es favorable. Al respecto cabe recordar que debido a la extrema aridez de la región, el agua, que sólo se puede obtener en cantidad y calidad adecuada a partir de los ríos, es el principal factor limitante del desarrollo (Barros et al., 2006).

Los cambios climáticos y sus impactos ocurridos en los últimos 50 años en la Argentina han sido importantes, especialmente en lo concerniente a la precipitación y los caudales de los ríos. Quedan aún aspectos de este cambio y adaptaciones por implementar a nivel nacional y local en muchos casos. De acuerdo a los escenarios climáticos más probables, los cambios climáticos y sus impactos para las próximas dos o tres décadas no serían tan graves que en general y con algunas excepciones, no se puedan manejar sin grandes costos, si se toman las acciones con suficiente antelación.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Barros, V., 2006. Tendencias climáticas. En: *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Barros, V., I. Camilloni, O. Frumento y M. Rivero, 1997. Estudio del potencial eólico en la República Argentina. En: *Programa de Abastecimiento Eléctrico a la Población Rural Dispersa*. Subsecretaría de Energía de la Nación.

Barros, V, A. Grimm y M. Doyle, 2002. Relationship between temperature and circulation in southeastern South America and its influence from El Niño and La Niña events. *J. Met. Soc. of Japan* 88: 21-32.

Barros. V., L. Chamorro, G. Coronel y J. Báez, 2004. The major discharge events in the Paraguay River; Magnitudes, source regions and climate forcings. *J Hydrometeorology* 5: 1061-1070

Barros, V. P. Svarka, C.Vera, R. Seoane, D. Brea, A. Fernández, I. Camilloni, F. Coronado, H. Del Valle y H. Mazza 2006. Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Actividad habilitante para la 2ª Comunicación Nacional a la Convención del Clima. Fundación e Instituto Di Tella,

Barros, V,. M. Doyle y I. Camilloni, 2008: Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and the low-level circulation. *Theoretical and Appl. Climatology*. En prensa

Bejarán, R y V. Barros, 1998. Sobre el aumento de la temperatura en los meses de otoño en Argentina Subtropical. *Meteorológica* 23: 15-25.

Berbery E. y V. Barros, 2002. The Hidrological cycle of the La Plata basin in South America. 2002, *Journal of Hydrometeorology* 3: 630-645.

Boninsegna, J. y R. Villalba, 2006: La oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. En: *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella-Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Camiloni, I., 2006. Tendencias climáticas. En: *Cambio Climático en el Rio de la Plata*. (Eds, V. Barros, A. Menendez y G. Nagy) Buenos Aires, CIMA,

Camilloni, I., 2006. Informe sobre el desarrollo de escenarios de Cambio Climático. En :

Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad. Fundación T. Di Tella y Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Castañeda, E. y V. Barros, 1994: Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19: 23-32.

Castañeda, E. y V. Barros, 2001.Tendencias de la precipitación en el oeste de Argentina. *Meteorológica* 26: 5-23.

Devoto, G. 2005: Comunicación personal.

Di Luca, A., I. Camilloni y V. Barros, 2006. Sea-level pressure patterns in South America and the adjacent oceans in the IPCC AR4 models. En: *Proceedings del 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography.* Foz de Iguazú. AMS

Escobar, G., V. Barros y I. Camilloni, 2003: Desplazamiento del anticiclón subtropical del Atlántico Sur y su relación con el cambio de vientos sobre el estuario del Río de la Plata. En : *Proceedings del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*. La Habana

Fernández, A., 2006. Variabilidad de la temperatura en la Patagonia. En: *Vulnerabilidad de la Patagonia y sur de las Provincias de La Pampa y Buenos Aires, actividad habilitante para la Segunda Comunicación Nacional a la Convención del Clima*. Fundación e Instituto Di Tella.

García, N. y W. Vargas, 1998: The temporal climatic variability en the Río de la Plata basin displayed by the river discharges, *Climate Change* 38: 359-379.

Genta, J., G. Pérez-Iribarren y C. R. Mechoso, 1998. A recent increasing trend in the streamflow of rivers in Southeastern South America. *J. Climate* 11: 2858-2862.

Giorgi F., 2003. Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: Observations. *Clim.Dyn.* 18: 675-691.

Gillet, N., F. Zwiers, A. Weave y P. Scott, 2003. Detection of human influence on sea-level pressure. *Letters to Nature* 422: 292-294.

Grimm, A., V. Barros y M. Doyle, 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña. *J. Climate* 13: 35-58.

Groisman, P., R. Knight, D. Easterling, T. Karl, G. Hegerl, y V. Razuvaev, 2005. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. *J. Climate* 18: 1326–1350.

Kiladis, G. y H. Díaz, 1989. Global climatic anomalies associated with extremes in Southern Oscillation. *J. Climate* 2: 1069-1090.

Kullock, D., 2007. Sistema Urbano. En: *Programa Nacional de Adaptación y Planes Regionales de Adaptación. Actividad habilitante para la Segunda Comunicación Nacional*. Fundación e Instituto Di Tella.

Leiva, J., 1999. Recent fluctuations of the Argentinian glaciers. *Global Planet.Change* 22: 169-177.

Nesbitt, S. y E. Zisper 2000. Census of precipitation features in the tropics using TRMM: radar, ice scattering and lightening observations. *J. Climate* 13: 4087-4106.

Nuñez, M, y S. Solman, 2006: Desarrollo de Escenarios Climáticos y Estudios de Vulnerabilidad. En : *Proyecto de desarrollo de escenarios climáticos y estudios de vulnerabilidad*. Fundación T. Di Tella y Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

Re, M., R, Saurral y V. Barros, 2005. Extreme Precipitation in Argentina: Trends and Climate Change. IV En: *Taller Internacional sobre Presas*. Salto Grande.

Ropelewski, C. y M. Harper 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev*. 115: 1600-1626.

Simionato, C., C. Vera y F. Segiesmund 2004. Surface wind variability on seasonal and interanual scales over Río de la Plata. *Continental Shelf Research* 4: 770–783

Velasco, I. y J. Fritsch 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res*. 92 (d8): 9591-9613.

Wang, M. y J. Paegle 1996. Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux.

J. Geophys. Res. 101: 7291-7303.

1500

Cordoba

1300

1100

mm

900

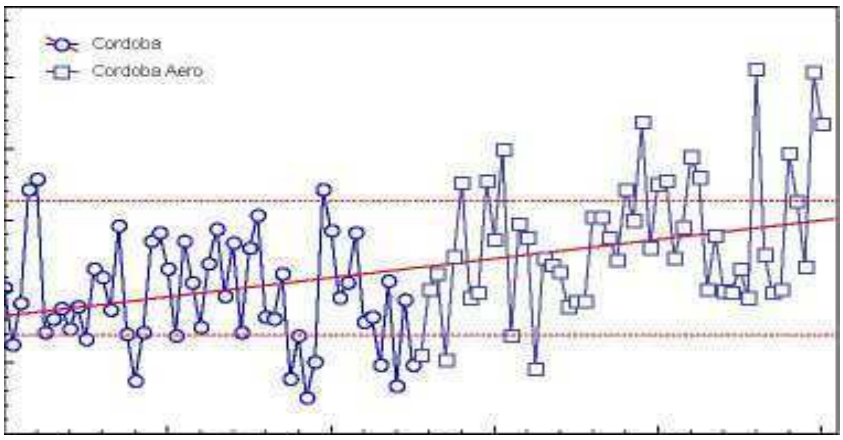
700

500

300 1900 1920 1940 1960 1980 2000 2000 1800 1600

1400 1200 1000 800 600 400 1900 1920 1940 1960

1980 2000



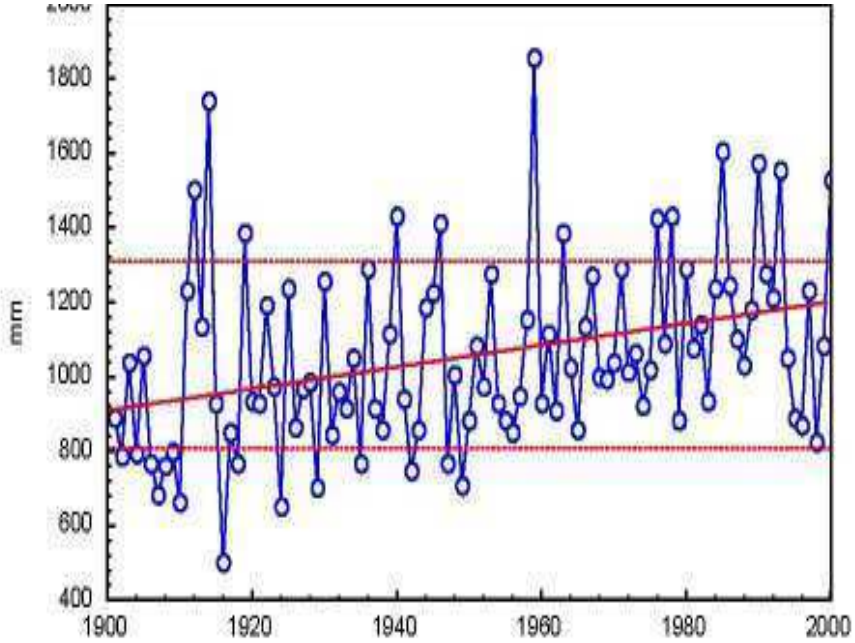


Figura 3.1: Precipitación media anual y tendencia lineal. Córdoba (arriba) y Buenos Aires (Abajo)

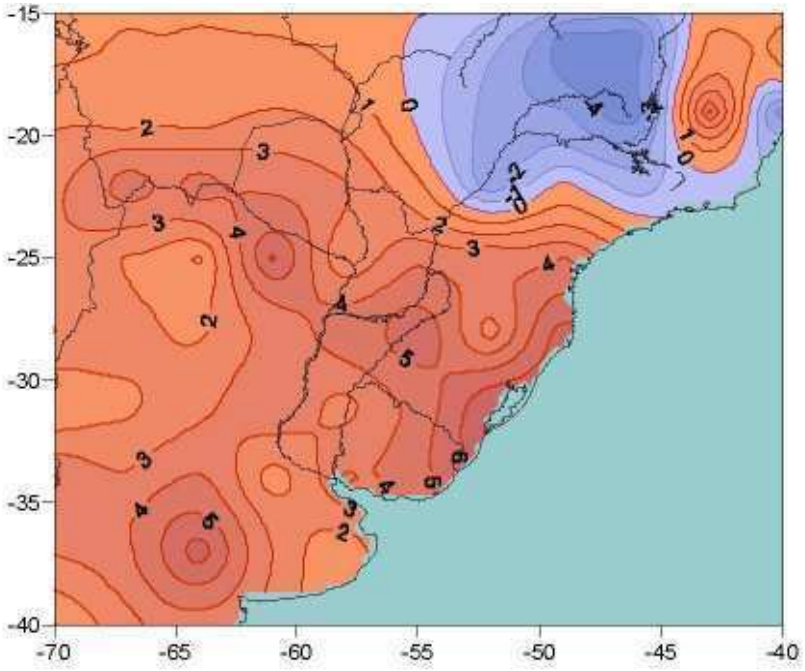


Figura 3.2: Tendencia de la precipitación anual en mm/año. Período 1960-2000

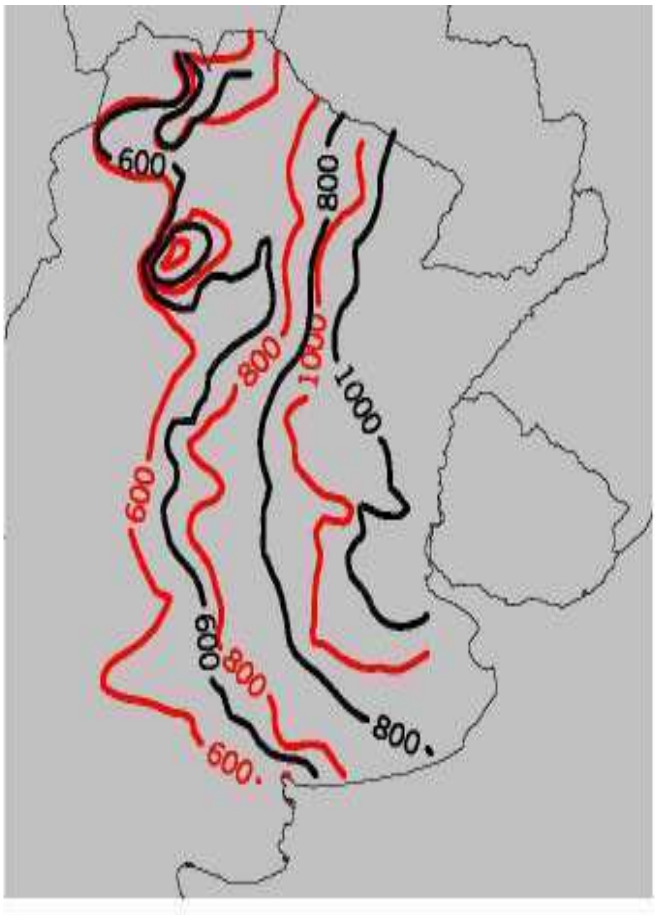


Figura 3.3: Corrimiento de las isoyetas hacia el oeste. 1950-1969 en negro. 1980-1999 en rojo

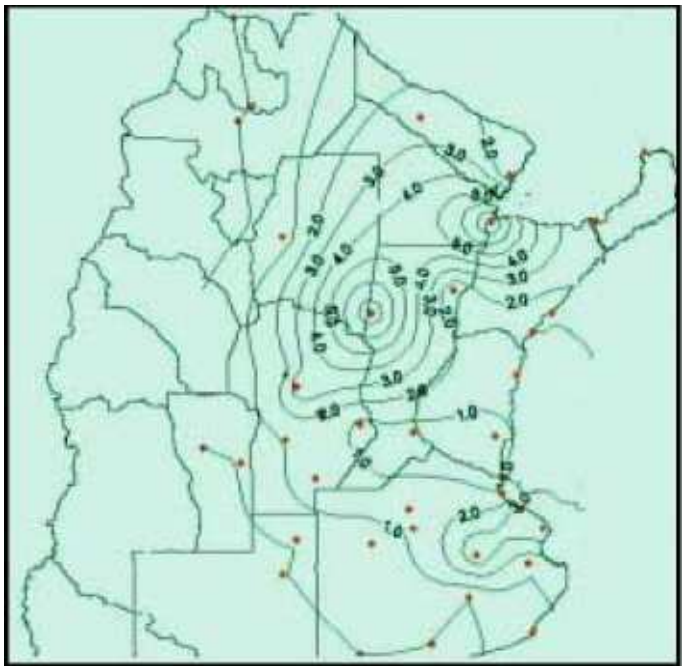
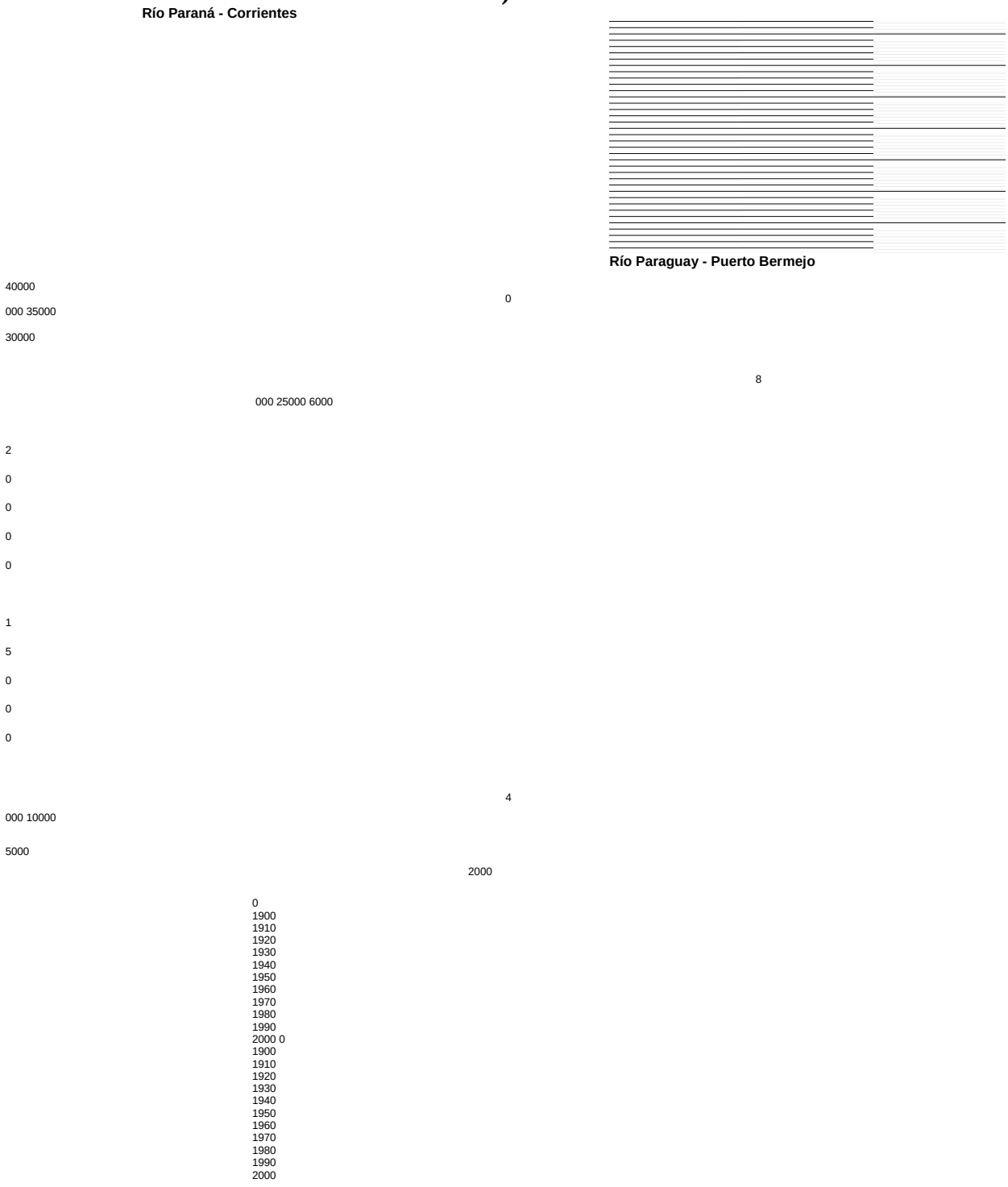
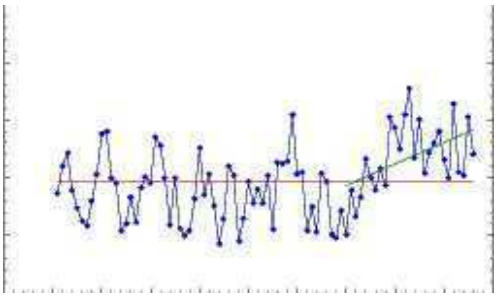


Fig. 3.4: Cociente entre la frecuencia anual de número casos de precipitaciones mayores de 150 mm en dos días entre dos períodos 1983/2002 y 1959/1978. (Barros 2006)





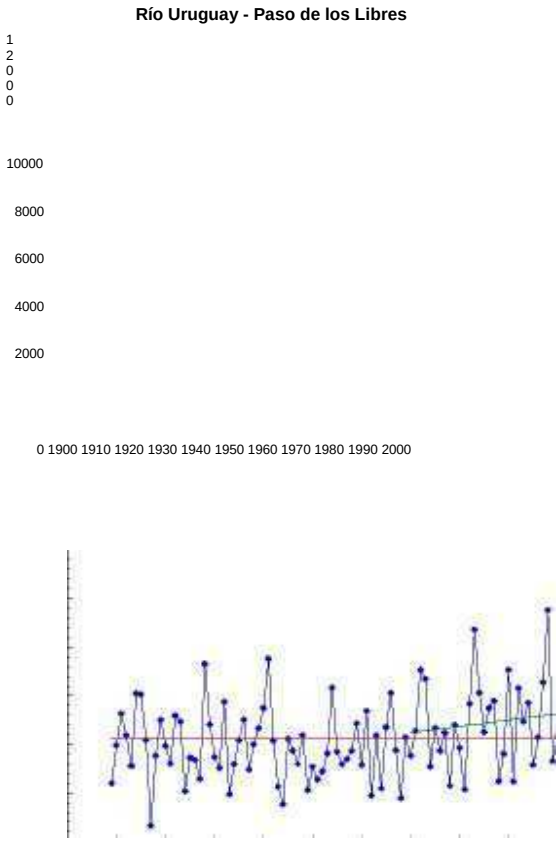


Figura 3.5: Caudales medios anuales (m^3/s) en estaciones de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. Promedios para el período informado (línea roja) y tendencia lineal a partir de 1970 (línea verde)

Lat 40.0; Long 70.0 $y = 0{,}7012x + 2276{,}6$ $R^2 = 0{,}0408$

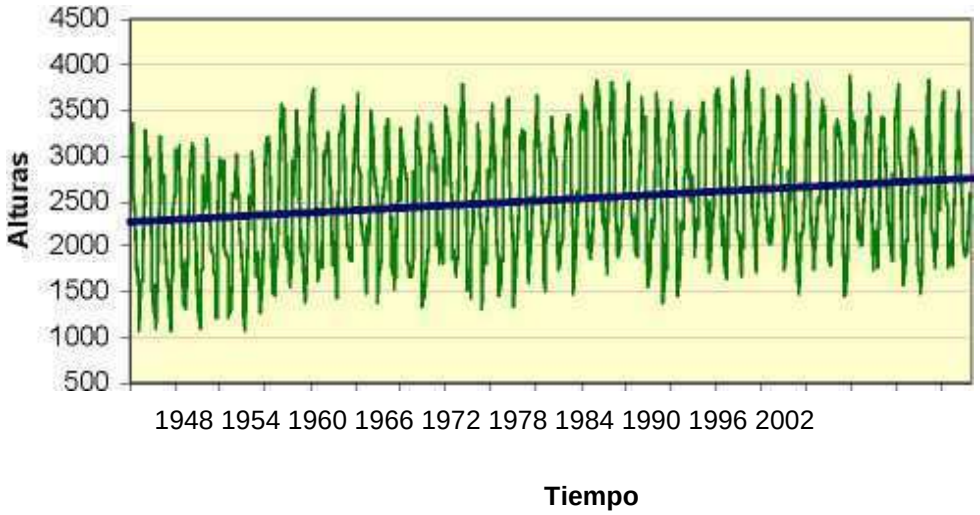


Figura 3.6: Tendencia de la altura de la isoterma cero en 40° Sur; 70° Oeste, para el período 1948 - 2002 (Fernández, 2006).

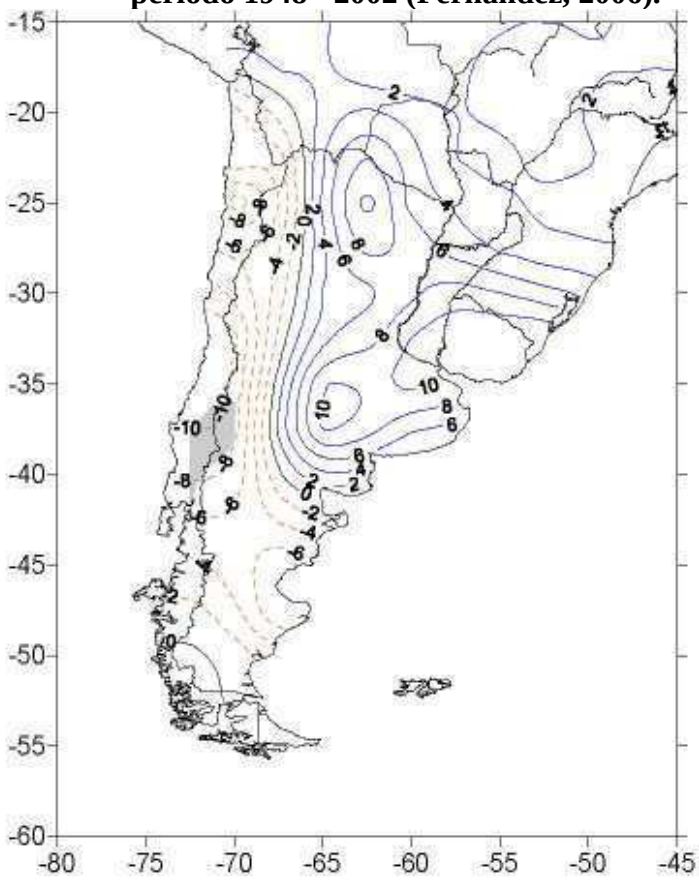


Figura 3.7: Cambio de la precipitación media anual (%) para el período 2020-40 respecto de 1991-2000 para el escenario A1b derivado de un ensamble de 14 MCGs (Versión 2006) Las áreas sombreadas son significativas al 5%. Gentileza de I. Camilloni 2007

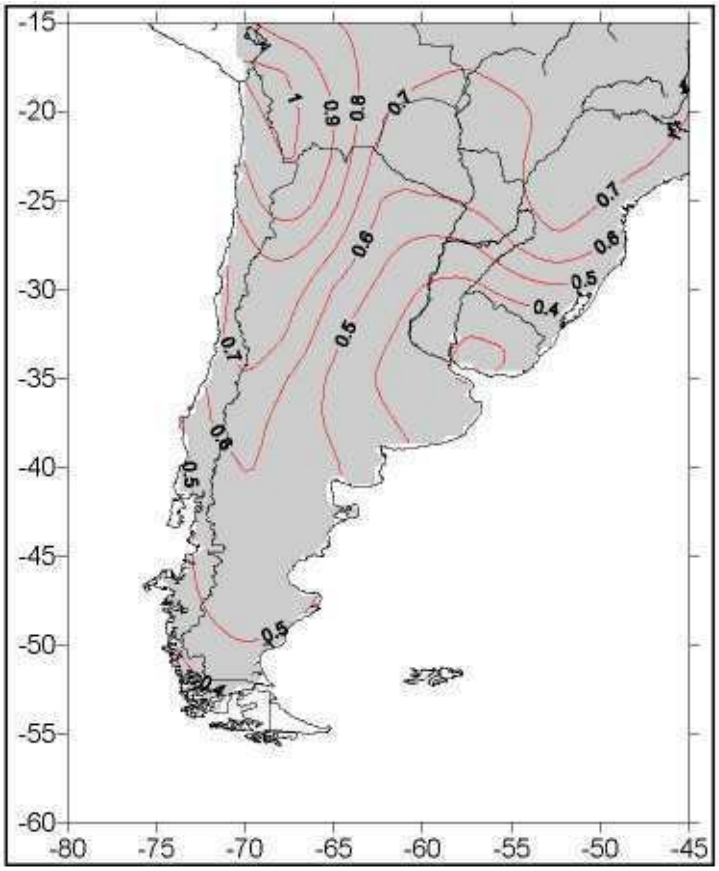
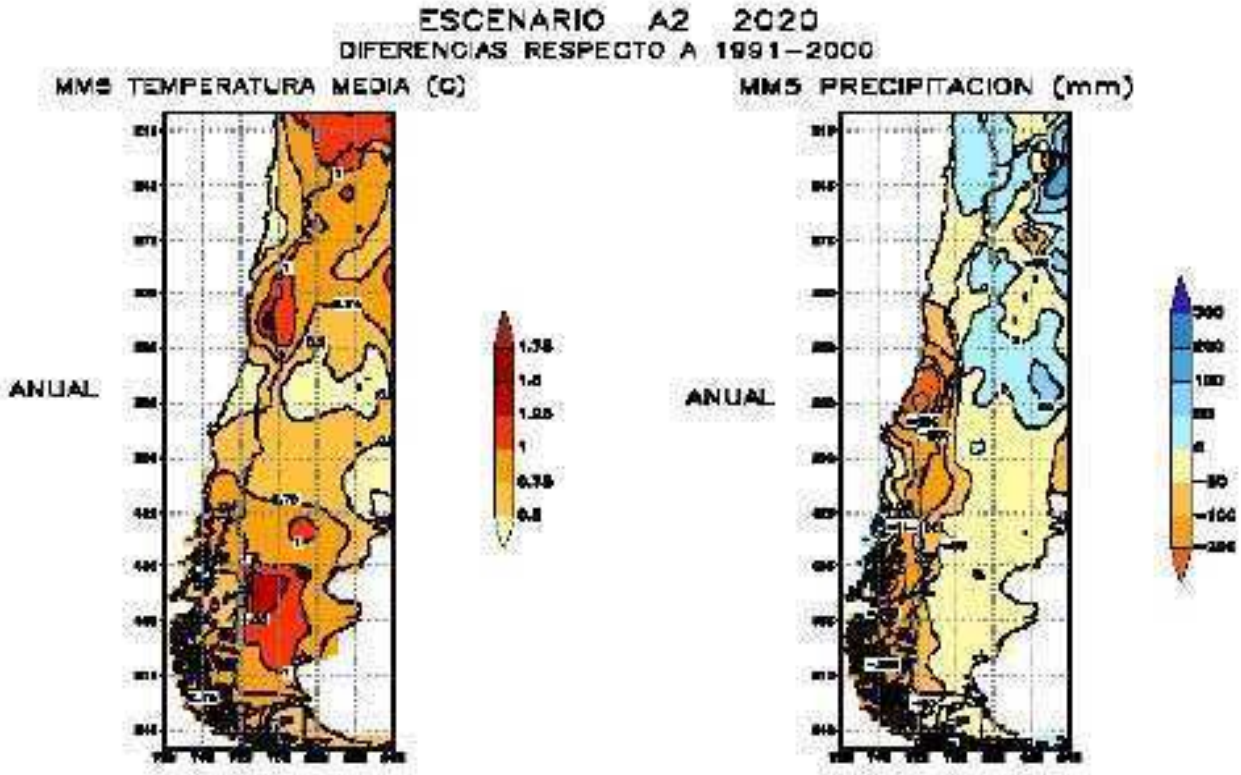


Figura 3,8: Cambio de la temperatura media anual (º C) para el período 2020-40 respecto de 1991-2000 para el escenario A1b derivado de un ensamble de 14 MCGs (Versión 2006) Las áreas sombreadas son significativas al 5%. Gentileza de I. Camilloni 2007


ESCENARIO A2 2020
DIFERENCIAS RESPECTO A 1991–2000
MM5 TEMPERATURA MEDIA (C)
MM5 PRECIPITACION (mm)
ANUAL
ANUAL

Capítulo 4
Impacto del Cambio Climático en la Costa y el Mar Argentino

Enrique J. Schnack y Alberto R. Piola

1. Introducción

Los océanos cubren alrededor 70% de la superficie del planeta, con profundidades medias de 4.000 m. Con un volumen de 14.000 millones de m^3, sus aguas son un gran reservorio de carbono inorgánico y sólo ca. 700 Pg de carbono orgánico, del cual un porcentaje ínfimo (1.7-3.3 %) consiste en biomasa viva y muerta (Denman et al., 2007). A pesar de la escasa biomasa, el fitoplancton es responsable de casi la mitad de la producción global primaria y es la base de la cadena trófica marina (Field et al., 1998). Una biodiversidad sustancial caracteriza a los dominios pelágicos (toda la masa de agua oceánica) y bentónicos (los fondos marinos) y a las zonas costeras en un rango diverso de ecosistemas desde aquéllos altamente productivos (e.g. regiones de surgencia o upwelling) hasta los de baja productividad
(e.g. los giros oceánicos de latitudes medias). La productividad primaria oceánica depende de la luz solar y los nutrientes provenientes de las aguas profundas (Sarmiento et al., 2004). Los ecosistemas marinos proveen bienes y servicios tales como pesquerías, energía, recreación y turismo. También se destaca su función por la absorción de CO_2 y regulación del clima, descomposición de materia orgánica, regeneración de nutrientes y desarrollo de sistemas costeros (Costanza et al., 1997). El océano habría absorbido cerca del 70% del carbono emitido por la actividad humana desde el inicio de la revolución industrial (Sabine et al., 2004). La biodiversidad marina sostiene el funcionamiento ecosistémico que, entre otros aspectos, provee fuentes de proteína animal a más de 1.000 millones de personas que dependen de los recursos pesqueros. Las zonas costeras, especialmente las áreas bajas, son particularmente importantes por sus servicios socio-económicos y ecológicos, ya que soportan asentamientos humanos y actividades conexas (infraestructura, turismo), zonas de reproducción de especies de interés comercial, áreas de asentamiento de especies migratorias, y por ello son vulnerables al cambio climático.

El cambio climático puede impactar ecosistemas marinos a través del calentamiento oceánico, incrementando la estratificación térmica y reduciendo el upwelling (Sarmiento et

al., 2004) y la producción primaria en las zonas estratificadas del océano (Behrenfeld et al., 2006) aumentando el nivel del mar (IPCC, 2001) y causando modificaciones en el régimen de olas y tormentas e incrementando la vulnerabilidad de las poblaciones costeras.

2. Los cambios del nivel del mar

Los cambios del nivel del mar han ejercido una fuerte influencia en la evolución del planeta y en la historia de la humanidad. Han influenciado la evolución del fitoplancton, la química oceánica y la distribución y actividad de carbonato, carbono orgánico y sedimentos silicoclásticos, estos últimos compuestos por granos y partículas inorgánicas, fundamentalmente silicatos (Miller et al., 2005). En una escala de tiempo geológico, las variaciones de los niveles oceánicos han dejado un registro ampliamente distribuido en la forma de depósitos sedimentarios. Durante la mayor parte del Fanerozoico (543 Ma- 33 Ma) prevalecieron condiciones de "planeta de invernadero", con niveles del mar considerablemente más altos que los actuales, hasta + 250 m. En los últimos 100 Ma, los cambios del nivel del mar reflejan la evolución climática global desde tiempos de casquetes polares antárticos efímeros (100 a 33 Ma) hasta el establecimiento de grandes casquetes primariamente en Antártida (33-2,5 Ma) y un planeta con grandes casquetes en la Antártida y en el Hemisferio Norte (2,5 Ma-presente). Es decir, desde hace unos 33 Ma el mundo es un "planeta frío" ("ice house"), con niveles del mar con tendencia descendente, aunque con fluctuaciones de amplitudes máximas de 200 m.

Durante el período Cuaternario (últimos 2,5 millones de años) el nivel del mar fluctuó con una variación vertical del orden de los 100 m, en respuesta a los ciclos glaciales/deglaciales, alcanzando niveles máximos en los últimos. El descenso del nivel del mar durante la Ultima Glaciación, que alcanzó unos 120 metros hace unos 18.000 años, permitió la emergencia del estrecho de Bering y la migración humana y de otras especies desde Eurasia hacia América.

La Antártida y Groenlandia contienen suficiente hielo para elevar el nivel del mar mundial unos 70 metros. Aunque los registros mareográficos centenarios indican que el nivel medio del mar aumentó entre 1 y 2 mm/año durante el siglo pasado, nuevos aportes de la altimetría satelital señalan un incremento de 3 mm/año a partir de 1992 (Meier et al.,

2007), lo que indica una aceleración reciente de la elevación del nivel medio del mar.

Durante el ultimo siglo el nivel del mar ascendió globalmente 1-2 mm/año, de los cuales la expansión térmica del océano contribuyó solamente 0,5-±0.2 mm, debiéndose la mayor parte a la adición de agua al océano (cambio eustático) debido al derretimiento de hielo terrestre (Church et al., 2001). Se han planteado diferentes escenarios relativos a las concentraciones de gases de invernadero. A partir de ellos y teniendo en cuenta las incertidumbres de los modelos, la pérdida de la masa de hielo de Groenlandia más las contribuciones por expansión térmica y un colapso parcial del casquete antártico occidental contribuiría durante el presente milenio a un incremento del nivel del mar de 1m/siglo (Nicholls and Lowe, 2004). Sin embargo, otros modelos muestran que Groenlandia es el mayor contribuyente al aumento del nivel del mar, mientras que la Antártida estaría casi balanceada (Alley et al., 2005)

Según algunas evidencias, la mayor contribución proviene del derretimiento de Groenlandia, con aportes menores de la Antártida, glaciares de montaña y pequeños casquetes de hielo (Shepherd and Windham, 2007). Según Meier et al. (2007), la desintegración de los glaciares constituye una causa sustancial en la aceleración del nivel del mar global. La pérdida de hielo representa virtualmente todo el aumento del nivel del mar no atribuible al calentamiento del océano. Alrededor del 60% de la pérdida de hielo proviene de los glaciares y “mantos” de hielo antes que de los dos casquetes (Antártida y Groenlandia). La contribución de estos pequeños glaciares se ha acelerado durante la década pasada, en parte debido al adelgazamiento y retroceso de glaciares en contacto con el mar. Esta aceleración puede causar 0.1 a 0.25 m de incremento adicional hacia el 2100 (Meier et al., 2007).

El incremento de los gases de invernadero y el calentamiento global resultante plantean escenarios inquietantes ante una futura aceleración del aumento del nivel del mar. El informe preparado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001) indica que la temperatura media sobre la superficie terrestre, promediada globalmente, ha aumentado en 0,6°C (con un error de 0,2°C) durante el siglo XX. Las proyecciones sugieren que la temperatura en superficie aumentará entre 1,4°C y 5,8°C durante el siglo XXI, y el aumento del nivel medio del mar, también promediado

globalmente, se hallará entre 0,09 y 0,88 m para el mismo período, con un valor medio de ca. 0,50 m (Fig. 1). El aumento de temperatura induciría un aumento en el gradiente meridional de temperatura en las capas medias de la atmósfera, provocando un desplazamiento hacia el sur y una intensificación de los vientos del oeste (Shindell y Schmidt, 2004). Los cambios del patrón e intensidad de los vientos del hemisferio sur tendrían un impacto significativo sobre la circulación oceánica regional y global (Toggweiler y Russell, 2008).

Las áreas costeras son sistemas frágiles y se verán severamente afectadas por las tendencias señaladas, en caso de confirmarse los pronósticos. Se estima que actualmente reside en ellas, incluyendo su "hinterland", un 60 % de la población mundial. Entre los efectos esperados pueden citarse el incremento de la erosión de las playas, la inundación de zonas bajas, la restricción o desaparición de humedales y acuíferos costeros, el aumento de la frecuencia e intensidad de procesos episódicos (e.g. ondas de tormenta, ENSO) que provocarán impactos de variada magnitud sobre los ecosistemas y el hombre. Actualmente se encuentran en desarrollo distintas iniciativas tendientes a formular estrategias de adaptación y respuesta ante los escenarios de cambio global.

3. La Costa Argentina

Características morfodinámicas

La costa argentina (excluyendo las Islas Malvinas y el sector antártico) se extiende por unos 5.700 km desde el Río de la Plata-Delta moderno del Paraná hasta el Canal Beagle, en Tierra del Fuego. Exhibe una variedad de rasgos ecológicos y morfodinámicos, incluyendo ambientes estuáricos y deltaicos, marismas templadas, playas de arena y grava (cantos rodados) y frentes rocosos que constituyen acantilados (Fig. 2).

A lo largo de los sectores más deprimidos, se manifiestan evidencias de niveles marinos producto de las oscilaciones del nivel del mar ocurridas durante el período Cuaternario, de las cuales las más conservadas corresponden a depósitos de playa, planicies de marea y estuarios emergidos del Holoceno medio, cuando el mar alcanzó una altura de 3-4 m sobre el nivel actual, hace aproximadamente 6000 años (Schnack, 1985; Schnack et al., 2005). Esto significa que la distribución actual de ambientes costeros está relacionada

con la historia geológica (Fig. 3).

Los dominios del delta moderno del Paraná-Río de la Plata, constituyen un complejo morfosedimentario que se caracteriza por el avance del frente deltaico sobre el estuario (Codignotto y Kokot, 2005), por lo que el Río de la Plata puede considerarse desde este punto de vista un delta en evolución. Cabe destacar que son importantes en la evolución del delta y en la sedimentación del estuario y áreas conexas (e.g. planicies costeras) los aportes sedimentarios de la cuenca del Paraná y, particularmente, los provenientes de los flujos pulsátiles (excesos hídricos) asociados a la fase positiva de El Niño, a cuya causa se ha atribuido el origen de la selva marginal que, aunque restringida en la actualidad, se manifiesta en las cercanías de La Plata (Schnack, 2000).

La Bahía Samborombón representa un ambiente transicional de planicie mareal y marismas y es un ambiente de gran importancia no sólo desde el punto de vista conservacionista sino también porque es un área de reclutamiento y reproducción de especies de interés comercial (Fig. 4).

El litoral atlántico, desde Cabo San Antonio hasta Monte Hermoso, presenta costas arenosas expuestas a la dinámica de olas que, a partir de las cercanías de Mar del Plata, cambian a frentes de acantilados que, alternando con costas bajas, llegan hasta cerca de Bahía Blanca. En esta se desarrolla un estuario que continúa con rasgos deltaicos heredados hasta la zona del delta del río Colorado. Hacia el sur, comienza un verdadero dominio patagónico, tanto climáticamente como por la presencia de cantos rodados en sus cordones litorales. A lo largo de toda la costa patagónica, predominan sectores con acantilados interrumpidos en parte por las desembocaduras de cursos fluviales y por depresiones que, como en la Bahía de San Antonio, presentan vastas acumulaciones arenosas y ambientes de marismas. En general, las marismas son muy comunes a lo largo de la costa patagónica y fuegina oriental, aunque no representan grandes extensiones.

En cuanto a la dinámica costera asociada a las mareas (semidiurnas), en el norte son características las micromareas (rango menor a 2 m) mientras que a la altura de Bahía Blanca y hasta algo al sur de la desembocadura del río Negro el régimen es mesomareal (2-4 m) y en casi toda la costa patagónica operan condiciones macromareales (rangos mayores a 4 m), alcanzándose valores superiores a los 12 m (e.g. Río Gallegos, Bahía San

Sebastián). Los rangos de marea decrecen hasta micromareales en el Canal Beagle.

Problemas de erosión e inundación

La erosión es un proceso común a lo largo de la costa atlántica Sus causas naturales están vinculadas a las ondas de tormenta en conjunción con alta energía de olas. La configuración costera sufre importantes modificaciones con un pronunciado cambio en el perfil de la playa y un retroceso de la línea de costa, tanto en playas de zonas bajas, asociadas con dunas, como en áreas de acantilados. Por otro lado, las ondas de tormenta, según su intensidad y duración, causan la inundación de zonas bajas, como los bordes costeros entre La Plata y Buenos Aires o las planicies mareales (e.g. Bahía de Samborombón, estuario de Bahía Blanca). El incremento del nivel del mar (v. sección 3.2.2) puede contribuir a exacerbar estos fenómenos.

Ondas de tormenta

El esquema regular de la marea astronómica es modificado, por factores meteorológicos irregulares que actúan sobre la superficie del mar. Las denominadas “ondas de tormenta” son el resultado de fuertes vientos que apilan las aguas sobre la costa, provocando inundaciones, pérdida de vidas, ingentes daños materiales y severa erosión costera, en especial cuando se combinan con la pleamar. Además del viento, la baja presión atmosférica en el centro de la tormenta ciclónica eleva aún más el nivel de las aguas.

Las ondas de tormenta que se desarrollan a lo largo de la costa argentina son de carácter extratropical, del mismo tipo de las que se producen en la costa atlántica de América del Norte y en el Mar del Norte. En la región del Atlántico sudoccidental se las reconoce como “sudestadas” (“nordestadas” en América del Norte). Aunque persistentes ondas de tormenta de alta energía se originan sobre el propio frente costero de la provincia de Buenos Aires, muchas de ellas provienen de la región austral de la plataforma continental argentina y llegan hasta las costas de la provincia de Buenos Aires después de recorrer cientos de kilómetros.

Muchas ondas de tormenta han sido registradas a lo largo de la costa argentina simultáneamente con la onda de marea dirigida hacia el norte. La duración de estas

tormentas varía desde unas pocas horas hasta dos o tres días. Se producen básicamente por la acción combinada de un anticiclón localizado hacia el oeste de Argentina (anticiclón semi-permanente Pacífico) y un ciclón localizado sobre el Atlántico hacia el sudeste que se mueve hacia el este o noreste. Debido a esta situación, se generan fuertes vientos desde el sur o sudoeste y los altos niveles del agua afectan toda la costa argentina, incluyendo el Río de la Plata, Uruguay y el sur de Brasil.

Sin embargo, las más típicas y peores inundaciones se producen en el Río de la Plata y su área de influencia, con la acción de vientos muy fuertes desde el sudeste, a menudo causados por un anticiclón ubicado sobre el sur argentino y el océano adyacente. Pero para que el nivel del agua alcance una magnitud significativa es necesario, entre otros factores, que se forme una depresión hacia el norte de Buenos Aires.

La mayor sudestada registrada en esta área desde el comienzo de los registros en 1905 fue la que ocurrió el 15 de abril de 1940, cuando el nivel predicho de la marea fue excedido en 3.18 m, causando 25 fatalidades y cuantiosos daños materiales, especialmente en la zona ribereña desde Ensenada al norte. Las aguas ocuparon prácticamente toda la planicie costera (ver Fig. 3), llegando hasta el pie del terraplén del ferrocarril que une la ciudad de La Plata con la Capital Federal (Balay, 1961; Schnack and Pousa, 2004). Otros episodios similares, aunque no de la magnitud del anterior, ocurrieron en 1958 y 1959 y, más recientemente, en 1989, 1993 y 2001 (Fig. 5) (ver Barros, este volumen).

La ciudad de Buenos Aires, con una alta densidad poblacional y gran desarrollo urbano y portuario, está expuesta a ondas de tormenta. Las positivas (niveles altos sobre los predichos) causan inundaciones severas, mientras que las negativas (niveles inferiores= “bajantes”) afectan la navegación y el suministro de agua. Barros et al. (2006) evaluaron significativos impactos socio-económicos para el área metropolitana rioplatense ante episodios de inundación que superen los 2,5 m sobre el nivel medio del mar. D´Onofrio et al. (2008) estudiaron los cambios en frecuencia, duración y altura de las ondas en el período 1905-2003, concluyendo que los promedios decadales de frecuencia y duración de las ondas positivas se incrementaron en las últimas tres décadas pero disminuyeron para las ondas negativas. Sin embargo, la altura de las ondas positivas ha decrecido en la última década y las negativas se han manifestado más intensamente en las dos últimas décadas.

Los cambios en la frecuencia y duración de las ondas de tormenta positivas pueden exacerbar impactos sobre esta área, reduciendo el efecto de las defensas costeras y incrementando la probabilidad de inundaciones. Algunos sectores del Gran Buenos Aires son severamente afectados con niveles del agua superiores a 2,80 m (referidos al cero del Riachuelo) y serían completamente inundados si el nivel del agua alcanzara los 3,50 m (Fig. 6).

La erosión es un proceso común a lo largo de la costa atlántica bonaerense. Sus causas naturales están vinculadas a las ondas de tormenta en conjunción con alta energía de olas. La configuración costera sufre importantes modificaciones con un pronunciado cambio en el perfil de la playa y un retroceso de la línea de costa (Schnack et al., 1998).

El primer estudio sistemático de variaciones de playas en la Argentina fue realizado por Cortelezzi et al. (1972). Este trabajo analiza perfiles promedio anuales sobre la base de relevamientos mensuales realizados durante los años 60 en playas de San Clemente del Tuyú, Mar Chiquita, Mar del Plata y Miramar. Los dos perfiles relevados en la playa de Mar Chiquita resultaron en un retroceso de 60 m y 35 m en el lapso de seis años. Este retroceso fue nuevamente mencionado en estudios posteriores (Schnack, 1985), confirmando un ritmo de más de 6 m/año (Fig. 7). Sin embargo, este retroceso fue atenuado en los últimos años mediante la construcción de diversas obras de defensa.

En el Partido de la Costa (Santa Teresita y Mar del Tuyú) se han estudiado casos de erosión severa (con significativa destrucción de las dunas costeras por la urbanización y actividades extractivas). López (1996) menciona importantes pérdidas de arena en el Partido de la Costa durante las sudestadas (ondas de tormenta) que se manifestaron en distintas estaciones del año desde 1989 hasta 1993, y las atribuye a la contribución de la actividad humana. En Mar del Tuyú, la onda de tormenta de febrero de 1993 causó modificaciones severas en el perfil de la playa con variaciones verticales hasta 1,40 m, de acuerdo a mediciones realizadas por la Dirección de Hidráulica**,** y la destrucción de propiedades. El 30 de diciembre de 2003 una fuerte sudestada afectó severamente un importante sector del frente costero de Villa Gesell. Hacia fines de agosto de 2005 un fenómeno similar causó erosión en localidades del Partido de la Costa (Fig. 8).

La costa atlántica oriental bonaerense es estructuralmente del tipo acrecional (de

acumulación). Sin embargo, la intervención humana, a través de la minería de playas, fijación y degradación de dunas costeras, obras de infraestructura y urbanización, es la responsable primaria de los procesos erosivos que caracterizan a este sector. Las ondas de tormenta son agentes de significativa influencia en la erosión costera, pero debe notarse que en ausencia de actividades humanas el perfil de la playa tiende a restablecerse.

Procesos erosivos han sido identificados en otras áreas del litoral atlántico bonaerense, aunque debe señalarse que el grado de intervención humana no es tan decisivo como en el sector oriental, que se extiende entre Miramar y el Partido de la Costa.

En Mar del Plata y zonas aledañas, el emplazamiento de obras de defensa para detener la erosión (consecuencia, entre otros factores, de la construcción del puerto de Mar del Plata), incrementó los procesos erosivos deriva arriba, hacia el norte. Mar del Plata, el más antiguo sitio turístico costero-marino, ha evolucionado a una ciudad con actividades múltiples, desde hace varias décadas asiento de industrias, actividad portuaria y población estable. La erosión de sus playas, que comenzó durante la primera mitad del siglo pasado, motivó la construcción de numerosas obras de defensa, que permitieron la conservación del recurso arena para su utilización turística y al mismo tiempo como defensa de la costa. Las obras, concebidas por la Dirección Provincial de Hidráulica, aportaron buenas soluciones locales, tal como las experiencias de varios países con problemas similares. Pero, al interrumpir el transporte litoral de arenas (hacia el norte), se fue incrementando la erosión en las localidades vecinas (Camet, Santa Clara del Mar, Mar Chiquita, entre otras). En este sector, el retroceso de los acantilados ha motivado el replanteo de la ruta costanera en varias oportunidades. Al sur de Mar del Plata, en la zona conocida como Ensenada Mogotes, se desarrolla un tramo de costa en el que predominan acantilados de gran altura, que se extienden hacia la localidad de Miramar. En este sector, tal vez el de mayor imponencia de la región, se ha venido desarrollando un intenso proceso erosivo durante las últimas décadas, producto de la combinación de actividades humanas (extracción de arenas en el norte; obras de defensa costera en la costa de Miramar, al sur) combinadas con factores oceánicos naturales relacionados con la poca disponibilidad de sedimentos y la acción del oleaje (Fig. 9).

La costa patagónica muestra sectores con erosión de acantilados, producto

combinado de la abrasión marina y procesos de remoción en masa (deslizamientos, derrumbes) que caracterizan a estas costas altas (Fig. 10).

Codignotto y Ercolano (2006) describen casos de incremento de la erosión costera en la Argentina debido al cambio climático. El análisis abarca a todo el litoral atlántico, con referencia a algunos sectores particulares. En la región patagónica, mencionan algunos casos de aceleración de la erosión manifestada en el retroceso de los acantilados, a partir de 1980. Estos valores serían de 0,6 m/año en las proximidades de Comodoro Rivadavia (Chubut), casi 1 m/año en el sector costero de Monte León y al sur de Punta Loyola (Santa Cruz). Isla y Cortizo (2005) mencionan un retroceso de ca. 1 m/año para la costa patagónica, sobre la base de estimaciones realizadas en algunos sectores.

El incremento del nivel del mar

El estudio de los registros mareográficos de la Argentina ha aportado resultados que muestran un incremento del nivel del mar coincidente con la tendencia global.

El cálculo de valores absolutos a partir de mediciones horarias del nivel del mar del mareógrafo de Mar del Plata (período 1954-2002) muestra una tendencia de 1,4 ± 0.01 mm/ año (Pousa et al., 2007; Fig. 11).

El análisis de niveles medios anuales del registro del Río de la Plata sobre un período de 98 años arroja un incremento de 1,68 ± 0,05 mm/año, sin mostrar aceleración significativa, por lo que de confirmarse esta tendencia sus efectos se harán evidentes a largo plazo (D´Onofrio et al., 2008; Fig. 12). El registro del estuario del Quequén muestra un incremento de 1.6 ±0.2 mm/año.

Los valores obtenidos son bastante coincidentes y sugieren estabilidad geológica (sin movimientos verticales en la interfase continente/océano). Si bien dos de los mareógrafos se encuentran en zonas estuáricas (Río de la Plata y Quequén), por lo que podría suponerse un efecto de las variaciones en la descarga superficial, en el caso del Río de la Plata los aportes hídricos de la cuenca del Paraná no tienen en general influencia sobre el nivel del mar debido a la geometría del cuerpo receptor (el estuario del Plata) , que permite la redistribución de las aguas sin efectos verticales significativos y, pese a

algunas alteraciones debidas a los excesos hídricos causados por El Niño (e.g. 1983; 1992; 1998), éstas no modifican la serie temporal (D´Onofrio et al., 2008).

La Oscilación Austral El Niño

Los procesos interanuales vinculados a El Niño/Oscilación Austral (ver sección 4 y Barros, este volumen), en sus expresiones más intensas (e.g. 1982-1983, 1991-1992, 19971998) provocaron severas inundaciones en la planicie aluvial del río Paraná y en amplios sectores del delta. Los daños económicos de la inundación de 1982-1983, la mayor ocurrida en el siglo XX con más de 3 millones de ha inundadas en el noreste argentino, fueron calculados en US$ 1800 (Bergman, 1994).

El delta medio-inferior del río Paraná, que se desarrolla desde Rosario hasta el Río de la Plata con una longitud de 300 km y una superficie de 17.500 km^2, forma parte del complejo morfosedimentario del Río de la Plata y su expresión actual obedece a procesos asociados con las variaciones del nivel del mar en los últimos 6000 años, por lo que su formación es bastante reciente en términos geológicos. La inundación de 1983 cubrió prácticamente la totalidad del delta, con diversos efectos morfológicos, hidrológicos y ecológicos (De Francesco et al., 2002). Desde 1974 los episodios de inundación han sido más frecuentes y severos. Las crecidas prolongadas alteran la cubierta vegetal y modifican sensiblemente los parámetros de escurrimiento (Borús y Goniadzki, 2002). La porción inferior, en contacto con el Río de la Plata, es particularmente vulnerable a estos fenómenos pulsátiles, dada su exposición a otros procesos, especialmente las sudestadas.

Escenarios futuros

En una perspectiva regional, tomando como caso la costa oriental y norte de Sudamérica, debido a la alta densidad poblacional en las zonas costeras, así como por las actividades turísticas, portuarias y asociadas, una aceleración del aumento del nivel del mar según los escenarios del IPCC, produciría daños severos, especialmente en sus zonas bajas (Schnack 1993, Brooks et al. 2006). Incrementos en riesgos de inundación costera se manifestarán en la cuenca del Paraná-La Plata (Barros, 2005), y en áreas de humedales, así como una exacerbación de procesos erosivos preexistentes en las playas, que demandarán varios tipos de respuestas para mitigar la exposición de la población

humana a los riesgos asociados al aumento del nivel del mar.

La vulnerabilidad de la costa argentina al incremento del nivel del mar fue tratada en distintas contribuciones. Schnack et al. (1992) y Dennis et al. (1995), basados en relevamientos aéreos con videos y comprobaciones de campo, estimaron los impactos de una aceleración sobre los sistemas costeros y las pérdidas potenciales de tierra, valores actuales de mercado de tierra y propiedades (al año 1991) y costos posibles de las respuestas, tomando como valor, dentro de varios escenarios, un aumento de un metro como referencia. El análisis abarcó el área costera entre el Delta del Paraná y Rawson (Chubut). Los mayores impactos ocurrirían en la Provincia de Buenos Aires y el área metropolitana, que concentran gran parte de la población e infraestructura. Se propone que un metro de elevación del nivel del mar afectaría por inundación y erosión por lo menos 2000 km^2 de la costa argentina, gran parte de la cual consiste en zonas bajas. Si bien este escenario excede los generalmente establecidos, aún en magnitudes menores serían afectadas las planicies costeras cuyas altitudes son menores de 5 m, en general desarrolladas entre 3 y 0 m con respecto al nivel medio del mar. Entre las zonas más vulnerables pueden citarse los dominios del Delta inferior del Paraná (también sujeto a efectos de inundación ENSO), la Bahía Samborombón (Fig. 4), los ambientes aledaños al estuario de Bahía Blanca y las más pequeñas, aunque extendidas a lo largo de depresiones costeras, de la Patagonia. Desde la Bahía Samborombón hacia el sur, los humedales costeros están compuestos por planicies de mares (“cangrejales”) y marismas, pobladas por vegetación halófila típica de zonas templadas (Spartina sp., Salicornia sp., entre otras). En caso de producirse un avance de las aguas sobre estos ambientes existe la posibilidad de su migración pueda ser impedida por rasgos geológicos o por construcciones (e.g. carreteras), por lo cual muchos de estos ambientes podrían reducirse sustancialmente o desaparecer.

En las costas arenosas, una elevación del nivel medio del mar del orden del metro, o aún menor, puede ocasionar efectos erosivos ulteriores como consecuencia del potente oleaje asociado con las tormentas. Análisis de datos del período 1950-2002 no revela tendencias en la altura de las olas en el área del Atlántico Sudoeste (Gulev y Grigorieva, 2004). Las zonas más vulnerables, con procesos erosivos ya existentes, son las playas

situadas entre San Clemente del Tuyú y Mar del Plata. Sin embargo, se han registrado procesos erosivos en otras localidades, principalmente aquéllas con ocupación humana asociada al turismo y actividad portuaria (e.g. Quequén-Necochea) y localidades turísticas de la Patagonia.

Es evidente, por sus características naturales y socio-económicas, que la región costera de la Provincia de Buenos Aires es la más vulnerable a los cambios planteados por el aumento del nivel del mar. La aplicación de índices de vulnerabilidad (Diez et al., 2007) arroja resultados coincidentes con los expuestos, señalando como las zonas de mayor exposición a inundación y pérdida de superficie las áreas bajas de Bahía Samborombón, el estuario de Bahía Blanca y la Bahía Anegada, mientras que asigna alta vulnerabilidad a la erosión a la costa atlántica entre Punta Rasa y Bahía Blanca.

Dentro de los escenarios formulados, tomando el valor medio de 0,50 m de incremento del nivel del mar hacia fines del presente siglo, puede sumarse el potencial aumento de la frecuencia e intensidad de las tormentas.

Sin embargo, debe notarse que en muchos casos la intervención directa del hombre a través de construcciones costeras, urbanización, sobreexplotación y contaminación de recursos hídricos y bióticos, entre otras actividades, tiene una gravitación ostensiblemente mayor que los procesos asociados al cambio global, al menos en los escenarios más prudentes planteados de aceleración del aumento del nivel del mar.

4. Flujos del Continente al Mar Impacto del Río de la Plata

El Río de la Plata descarga aproximadamente 23000 m^3 por segundo al océano cerca de 35°S. El agua “dulce” del río flota sobre el agua océanica más densa y aporta sedimentos y nutrientes, dando características únicas al ambiente marino circundante. Los fosfatos y nitratos abundantes en el agua de río promueven el desarrollo de algas microscópicas llamadas fitoplancton, que son la base de la cadena alimentaria marina. Sin embargo, los sedimentos acarreados por el agua de río limitan la penetración de la luz e inhiben el desarrollo de las plantas marinas. Las variaciones estacionales de los vientos predominantes, del sudoeste en invierno y primavera y del noreste en verano y otoño,

alteran la distribución de aguas diluidas promoviendo importantes cambios en el ambiente marino (Piola et al., 2000). En invierno las aguas diluidas por la descarga del Plata se extienden hacia el noreste a lo largo de la costa uruguaya y del sur de Brasil superando los 28°S (Fig. 13) y en verano se retraen hacia el sur de la desembocadura, eventualmente llegando a las proximidades de Mar del Plata. Estas fluctuaciones de la llamada pluma del Plata impactan sobre la distribución de huevos y larvas de peces (Muelbert y Sinque, 1995) e influyen sobre las pesquerías (Sunyé y Servain, 1998) de especies de interés comercial sobre una amplia región de la plataforma continental de Argentina, Uruguay y sur de Brasil. La extensión de aguas diluidas hacia el noreste también produce la disminución de la temperatura superficial a lo largo de la costa, por lo tanto las variaciones de extensión de la pluma pueden generar variaciones del clima costero (Fig. 13 b).

El Plata también presenta grandes variaciones de caudal. Los períodos de máximo caudal están relacionados con las lluvias más intensas en la cuenca hidrográfica, en algunos casos asociada a eventos Niño/Oscilación Austral y existe evidencia de un aumento del caudal en las últimas décadas (ver Figura 7 en Capítulo Barros, este volumen). Durante estos períodos, en particular los eventos de 1982-1983 y 1997-1998 las lluvias intensas triplican el caudal del Plata, aumentando la disponibilidad de agua dulce al océano adyacente. Por ejemplo, modelos numéricos de la distribución de aguas diluidas muestran que su extensión hacia el noreste típica de invierno debería aumentar con el aumento del caudal. Sin embargo, los vientos predominantes durante períodos de caudal alto tienden a oponerse al desarrollo de la pluma y, en consecuencia, las aguas diluidas no presentan habitualmente mayores extensiones hacia el noreste en respuesta a los mayores caudales (Piola et al., 2005).

Durante el periodo 1944-1970 el caudal medio anual del Río de la Plata fue 17800 m^3 por segundo, mientras que durante 1970-2002 alcanzó 23900 m^3 por segundo, representando un aumento del 34%. Este aumento refleja variaciones en el balance hidrológico, que incluye a las precipitaciones, la humedad del suelo y la evapotranspiración sobre la cuenca. La mayor disponibilidad de agua dulce debería producir una expansión de la pluma e impactar sobre la biota y el balance de los sedimentos vertidos sobre el océano adyacente. Sin embargo, dado que la componente del viento paralelo a la costa parece

ejercer más eficientemente el control de la distribución de la pluma en la plataforma continental, la evolución del ecosistema costero dependerá de las futuras variaciones del campo de viento.

En las últimas décadas se ha observado evidencias que sugieren el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur, aumentando el flujo de humedad desde Amazonia hacia la cuenca del Plata (ver Barros, este volumen). Este proceso podría inducir el aumento de las precipitaciones sobre partes de la cuenca del Plata y un aumento del caudal. Al mismo tiempo, el desplazamiento del anticiclón hacia el sur induciría la menor frecuencia de vientos del oeste sobre el área de influencia de las aguas del Plata. El análisis del campo de vientos entre 1948 y 1997 sugiere que la transición vientos predominantes del noreste en verano a vientos predominantes del sudoeste en invierno tiende a adelantarse y que durante los períodos de transición ha aumentado la influencia de vientos del norte (Simionato et al., 2005). Los cambios observados en el campo de viento sugieren el paulatino aumento de las situaciones semejantes al verano, las que reducirían la penetración hacia el noreste de la pluma del Plata, reforzando las penetraciones hacia el sur y hacia el borde exterior de la plataforma continental, donde las aguas diluidas tienden a ser mezclarse rápidamente con las aguas de la Confluencia Brasil-Malvinas, y son arrastradas hacia el sudeste fuera de la plataforma continental.

Otros efectos

Los cambios de la temperatura superficial y del régimen de precipitaciones pueden inducir modificaciones en los caudales de los ríos y en sus aportes de agua dulce a la plataforma continental. Según Barros et al. (2006) los caudales de los ríos de las provincias del Chubut y Santa Cruz, no sufrirían la reducción de sus caudales durante la primera mitad del siglo actual debido a que, si bien disminuirán las precipitaciones en la cordillera de los Andes, donde tienen sus nacientes, la recesión de los glaciares, que continuaría por el resto del siglo, compensará los aportes de agua de estos cursos superficiales.

En la cuenca del Plata se prevén aumentos de temperatura de cerca de 2° C en los próximos 50 años, lo que resultaría en una mayor tasa de evaporación y una reducción de los caudales de hasta el 30% (ver Barros, este volumen). En este escenario, cabe esperar cambios en la influencia de ENSO, en sus fases cálidas (El Niño), implicando mayores

precipitaciones y caudales, en sus fases frías (La Niña), con seguías y menores caudales, y en sus fases intermedias. Las contribuciones hacia el estuario del Plata y la plataforma continental cercana por el transporte de materia orgánica, nutrientes y sedimentos podrán sufrir modificaciones de importancia.

La descarga de efluentes sanitarios urbanos y de nutrientes derivados de la fertilización agraria constituye un riesgo potencial de eutrofización. El proceso está asociado al desarrollo excesivo de vegetación o fitoplancton debido a la incorporación de nitratos y fosfatos, acumulación de materia orgánica y drástica reducción de los niveles de oxígeno disuelto. También existen evidencias que ciertos tipos de floraciones, algunas de las cuales pueden ser tóxicas, favorecidas por el aumento de temperatura (e.g. Paerl y Huisman, 2008). La eutrofización puede conducir a un deterioro general de la calidad del agua y el ambiente. Dicho proceso actúa sobre lagunas del humedal pampeano (Quirós et al., 2006) y reservorios de agua dulce, existiendo registros episódicos en sectores de los ríos Paraná y Uruguay, lagunas costeras (Conde y Rodríguez Gallego, 2002) y áreas del Río de la Plata (Nagy et al., 2002). En el caso de éste último la estratificación vertical, principalmente debida a la presencia de agua de densa de alta salinidad en la capa profunda y agua de baja salinidad en la capa superior, jugaría un rol importante en el ecosistema (Nagy et al., 2002). El aumento de la temperatura superficial tendería a aumentar la estratificación vertical y el *stress* biológico en el área del estuario exterior.

Estudios recientes en las capa superior del Océano Atlántico, a través del análisis de la concentración de un trazador radioactivo, el radio ^{228}(Ra^{228}, de origen terrestre), revelan que el agua subterránea submarina, consistente en flujos de agua terrestre y marina que han penetrado sedimentos costeros permeables, contribuye significativamente, a veces con mayor incidencia que los flujos fluviales, en el aporte de nutrientes, carbono y metales al océano (Moore et al., 2008). En investigaciones realizadas en aguas poco profundas adyacentes a la Laguna de los Patos (Brasil), se determinaron contribuciones significativas de hierro disuelto atribuibles a flujos de agua subterránea (Windom et al., 2006). Si bien parte de estos flujos podría tener tiempos de residencia prolongados y por lo tanto debidos a condiciones pasadas, nuevas y futuras contribuciones asociadas al cambio climático podrían inducir cambios en los ecosistemas costero-marinos. Este aspecto merece especial atención en el caso del Mar Argentino, tanto en la región costera pampeana como en la

patagónica donde existen acuíferos subterráneos que drenan al mar, sin que hasta el momento se hayan estudiado.

5. La Circulación Oceánica

La expansión de los anticiclones de latitudes medias y la intensificación de los vientos del oeste son escenarios posibles frente al calentamiento global. Estas alteraciones del campo de vientos tendrían un impacto sobre las corrientes oceánicas regional y global.

Las corrientes en las plataformas continentales están dominadas por la acción del viento. Al sur de aproximadamente 40°S el viento produce un flujo hacia el NE en la capa superficial y un flujo compensatorio hacia la costa en capas más profundas. En promedio, la corriente se dirige hacia el noreste (Palma et al., 2008). En verano se forma una capa superficial cálida que se extiende unas decenas de metros, separada de la capa profunda más fría por una capa delgada, llamada termoclina. A medida que progresa el otoño e invierno, la capa superficial va cediendo el calor almacenado durante el verano, disminuye su temperatura y aumenta la densidad. Hacia el final del invierno la columna de agua es prácticamente homogénea en la vertical. Estas variaciones estacionales de la estructura de la columna de agua están acompañadas por variaciones en la concentración de nutrientes, que tienden a agotarse por el consumo del fitoplancton hacia el final de la primavera. Sin embargo, en ciertas regiones la mezcla vertical suministra nutrientes suficientes a la capa superior, favoreciendo un crecimiento sostenido. En la plataforma continental patagónica estas regiones se limitan a zonas de la plataforma interior (sector más próximo a la costa), asociada a los llamados frentes de marea, y al talud continental.

El fitoplancton se desarrolla más eficientemente cerca de estos frentes (Romero et al., 2006). Los frentes también sustentan el crecimiento de una variedad de especies de niveles superiores de la cadena alimentaria marina, incluyendo varias especies de interés comercial (Acha et al., 2004). Los frentes también son importantes desde el punto de vista geoquímico y climático pues son áreas de transición entre regiones en las que el océano absorbe dióxido de carbono atmosférico, que coinciden aproximadamente con las de máximo crecimiento del fitoplancton, y áreas de emisión. Sin embargo, en promedio, la plataforma patagónica es una región de elevada absorción de dióxido de carbono (Bianchi

et al., 2005). Al absorber CO_2 el océano contribuye a reducir la concentración del gas en la atmósfera y reduce, parcialmente, la magnitud del efecto invernadero asociado. Sin embargo, el CO_2 se combina con el agua e iones carbonato disueltos en agua de mar produciendo la "acidificación" del océano (Caldeira y Wikett, 2003). La acidificación producida por la absorción de CO_2 antrópico ha reducido el pH del océano y la concentración de carbonato que utiliza una gran variedad de especies marinas para formar sus caparazones de carbonato de calcio, representando una amenaza potencial considerable para el ambiente marino.

Al norte de 40°S los vientos son más débiles y variables. Los vientos variables y el aporte de agua dulce del Rio de la Plata son importantes en la configuración de las corrientes en ese sector de la plataforma. Fuera de la plataforma, las Corrientes de Brasil y Malvinas interactúan con las aguas de la plataforma y, en alguna medida, extienden su influencia hacia el interior de la plataforma, generando la penetración de aguas de la plataforma patagónica hacia el noreste hasta aproximadamente 32°S. La teoría sugiere que la intensidad y localización de la Corriente de Brasil depende principalmente del sistema de vientos sobre el sector subtropical del Atlántico Sur.

Las corrientes hacia el noreste sobre la plataforma continental son muy sensibles al viento (Palma et al., 2004). Posibles cambios en la latitud del centro de alta presión del Atlántico Sur y de los vientos del oeste, podrían impactar sobre la circulación en la plataforma continental y la intensidad y latitud del encuentro de las corrientes de Brasil y Malvinas. Dichas variaciones podrían influir sobre la disponibilidad de nutrientes en el talud, y el desarrollo de diversas especies marinas que el mismo sustenta.

6. Síntesis y Conclusiones

En el marco de los escenarios planteados a escala planetaria, y teniendo en cuenta las incertidumbres en cuanto a la magnitud de los impactos del cambio climático, es evidente que el nivel medio del mar ascendió durante el siglo pasado a un ritmo de entre 1 y 2 mm/año. Estos valores son coincidentes con los determinados en los mareógrafos más representativos de la Argentina. Dentro de los escenarios de aceleración del aumento del nivel del mar propuestos por el IPCC, adoptando un valor de 0,50 m para el siglo actual, se puede estimar que los efectos se verificarán en distintos ambientes con magnitudes

variables. En este sentido, pueden indicarse factores adicionales, como el posible incremento de la frecuencia e intensidad de ondas de tormenta.

Teniendo en cuenta la tipología costera, pueden considerarse los siguientes ambientes:

Zonas costeras bajas, generalmente yaciendo a altitudes de entre 5 y 0 m sobre el nivel del mar, pero muy comúnmente con menos de 3 m. Dentro de esta categoría se encuentran los humedales costeros (e.g. Bahía Samborombón, áreas vinculadas al estuario de Bahía Blanca), y áreas deprimidas, usualmente de menor extensión, pero frecuentes de la Patagonia. El área ocupada por la porción emergida del Delta del Paraná sufre inundaciones periódicas, en casos vinculadas con descargas excesivas asociadas al fenómeno El Niño. Este ambiente, además de presentar actividad económica, recreativa y población estable.

La ribera y la planicie costera del Río de la Plata albergan concentraciones urbanas, complejos industriales, actividades agrícolas y áreas protegidas (e.g. selva subtropical, humedales). El principal factor de erosión e inundación son las ondas de tormenta extratropicales ("sudestadas") que se originan en el Atlántico Sur y se producen frecuentemente a lo largo del año, con aumentos significativos en el nivel de las aguas acompañados por fuertes vientos provenientes del cuadrante sudeste. Cuando las aguas alcanzan niveles elevados que exceden los valores de alerta, los pobladores deben ser evacuados con cierta frecuencia.

Costas arenosas, principalmente aquéllas situadas en las zonas de mayor intervención humana, fundamentalmente afectadas al turismo, donde el estado de deterioro puede atribuirse mayormente a la acción directa del hombre. En los escenarios planteados, la contribución del cambio climático exacerbará efectos erosivos ya existentes.

Estos procesos no son nuevos ni han sido reconocidos sólo recientemente, sino que se han manifestado a través de los tiempos. Pero debido a que en las últimas décadas las costas han experimentado un incremento en la presión antrópica motivada por la ocupación turística y la demanda de infraestructura y servicios asociada, se han hecho cada vez más vulnerables ante los factores de cambio, tanto naturales como antropogénicos.

Tradicionalmente, la respuesta ante los fenómenos de erosión o inundación consistió en obras de defensa (muros, espigones, rompeolas, entre otras), pero en las últimas décadas han ganado aceptación procedimientos denominados “blandos”, tales como el relleno artificial de playas desde costa afuera, el control de médanos, reservorios de agua potable en las costas arenosas, medidas de manejo, o soluciones mixtas.

Un ejemplo de buenas prácticas es el procedimiento realizado por el Municipio de Villa Gesell después de la fuerte sudestada de fines de diciembre de 2003, cuando dispuso la desactivación de la Av. Costanera y la instalación de pasarelas de madera, disponiendo además una reducción en la densidad de balnearios y el progresivo reemplazo de las construcciones rígidas por instalaciones de madera en el frente costero. Esta metodología se está aplicando en el Partido de la Costa (Schnack y Lasta, 2006).

Costas rocosas, con presencia de acantilados y restingas, que presentan procesos erosivos naturales y antrópicos, tanto en la costa bonaerense como en la patagónica.

La conservación de este tipo de costa presenta algunas limitaciones, considerando que la falta de suficientes acumulaciones de arena favorece el alcance de las olas sobre el pie de los acantilados. Muchas de estas costas contienen un valor estético significativo, por lo cual es desaconsejable el emplazamiento de estructuras de defensa intrusivas en el paisaje costero. Esta situación es visible en la zona al sur de Punta Mogotes, donde se han planteado diversas alternativas, una de las cuales consistiría en el emplazamiento de arrecifes artificiales sumergidos (estructuras geotextiles rellenas con arena), con lo que se atenuaría la energía de las olas. En la costa patagónica los problemas están concentrados en algunas localidades costeras, una de ellas Las Grutas (Río Negro), donde no es posible el relleno a partir de sedimentos costa afuera, dado que albergan recursos biológicos de importancia y la zona está incluida en el “Area Natural Protegida Bahía de San Antonio”. En este caso deben considerarse limitaciones en la ocupación urbana y de los drenajes producidos desde esa fuente.

En todas las tipologías costeras existen distintos tipos de áreas protegidas, de carácter municipal, provincial y nacional, con planes de manejo específicos. La Bahía Samborombón es una Reserva Natural Integral y sitio RAMSAR. La zona inferior del

Delta del Paraná se encuentra protegida como de reserva de la biósfera. La laguna Mar Chiquita y Bahía San Blas-Bahía Anegada son Areas Naturales Protegidas de la Provincia de Buenos Aires. El único Parque Nacional Costero de la Argentina es Monte León, en la Provincia de Santa Cruz.

En las zonas sometidas a mayor presión humana, especialmente las más urbanizadas, industriales y portuarias o destinadas al turismo, se están generando –y en algunos casos aplicando- iniciativas orientadas al "manejo integrado de la zona costera", que involucra acciones interactivas entre los componentes naturales y socio-económicos, en concordancia con las tendencias mundiales. Estas acciones son generalmente de carácter provincial, con la participación de los municipios y de la comunidad. Aunque en estas áreas la acción directa del hombre es de mayor incidencia, al menos en una proyección de algunas décadas, deben tenerse en cuenta los escenarios futuros en el contexto del cambio climático, incluyendo el abordaje de buenas prácticas, ambientalmente compatibles con el desarrollo.

En el ámbito marino, los escenarios climáticos futuros predicen el aumento de la temperatura superficial del mar en la mayor parte del globo (ver por ejemplo Meehl et al., 2007). El aumento de la temperatura superficial puede conducir al aumento de la estratificación vertical, el mayor aislamiento entre la capa superior y las subsuperficiales ricas en nutrientes y, consecuentemente, la disminución de la productividad biológica. Cambios recientes de esa naturaleza han sido observados en el océano tropical y subtropical (Behrenfeld et al., 2006). Cerca de las áreas costeras de la plataforma austral, donde la mezcla vertical que promueve el enriquecimiento de nutrientes de la capa superior está ligada a la acción de la marea, es improbable que aún en un escenario de aguas superficiales más cálidas, se altere significativamente el aporte de nutrientes desde la capa profunda. Por otra parte, la mezcla vertical que favorece el intercambio entre la capa superficial y la profunda también depende de la intensidad del viento. Los cambios en el suministro de nutrientes a la capa superior son importantes pues modulan la abundancia del fitoplancton, e, indirectamente, pueden influir sobre el desarrollo de otras especies marinas. Los escenarios climáticos no presentan una tendencia definida en el patrón e intensidad de vientos en la superficie del mar, aunque la mayoría de los modelos sugieren un desplazamiento hacia el sur de las áreas de máxima actividad ciclónica (Meehl et al., 2007),

pero el conocimiento de los cambios del viento es todavía muy limitado. Dada la incerteza en relación a las posibles variaciones del viento, las variaciones de las corrientes que estos generan, y la estratificación vertical sobre la plataforma continental, sería aventurado especular sobre el posible impacto ecológico de las variaciones futuras del clima. Sin embargo, estudios realizados en otras regiones sugieren que la acción directa del hombre sobre las pesquerías podría ejercer un mayor impacto sobre el ecosistema marino (ver Pauly y Maclean, 2002).

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Acha E.M., Mianzan H.W., Guerrero, R.A., Favero, M., y Bava, J., 2004, Marine fronts at the continental shelves of austral South America: physical and ecological processes, Journal of Marine Systems, 44, 83–105

Alley, R.B., Clark, P.U., Huybrechts, P. y Joughin, I., 2005. Ice-sheet and sea-level changes. Science 310, 456-460. Balay, M.A., 1961. El Rio de la Plata entre la atmósfera y el mar. Servicio de Hidrografía Naval, Publ. H-621, Buenos Aires, 153 p.

Barros, V., 2005: Inundación y cambio climático: costa Argentina del Río de la Plata. *El Cambio Climático en el Río de la Plata*,V. Barros,A.Menéndez andG.J. Nagy, Eds., ProyectosAIACC, 41-52.

Barros, V., A. Menéndez, C. Natenzon, R.R. Kokot, J.O. Codignotto, M. Re, P. Bronstein, I. Camilloni and Co-authors, 2006. *Vulnerability to floods in the metropolitan region of Buenos Aires under future climate change.*Working Paper 26. Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), 36 pp.

Behrenfeld, M. J., O'Malley R.T., Siegel D.A., McClain C.R., Sarmiento J.L., Feldman G.C., Milligan A.J., Falkowski P.G., Letelier R.M. y Boss E.S., 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity, Nature, **444**, 752-755.

Bergman, R., 1994. Informe sobre daños: Recopilación de antecedents de los daños de crecidas de 1983 y 1992. Evaluación económica. Secretaría de Asistencia para la Reforma Económica Provincial, Ministerio del Interior, Buenos Aires, SUCCE, 185 pp.

Bianchi, A. A., L. Bianucci, A. R. Piola, D. R. Pino, I. Schloss, A. Poisson, and C. F. Balestrini, 2005, Vertical stratification and air-sea CO2 fluxes in the Patagonian shelf, Journal of Geophysical Research, **110**, C07003, doi: 10.1029/2004JC002488.

Borús, J. y Goniadzki, D., 2002. Eventos severos de El Niño y su impacto en el delta. En: E. Schnack (ed.), Taller El Niño: sus Impactos en el Plata y en la Región Pampeana. Com. Inv. Cient. de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Asociación Bonaerense de Científicos. Contribuciones , 3-8.

Brooks, N., Nicholls, R. and Hall, J., 2006. Sea level rise: Coastal impacts and responses. Final Draft, WBGU, 46 p.

Central Pacific Hurricane Center–NOAA, 2006. Tropical

cyclone climatology. http://www.pch.noaa.gov/cphc.

Chen, J.L., Wilson, C.R. y Tapley, B.D., 2006. Satellite gravity measurements confirm accelerated melting of Greenland Ice Sheet. Science 313, 1958-1960. Church, J.A, y Gregory, M., 2001. In: Climate Change 2001: The Scientific Basis. J.T. Houghton et al., Eds. Cambridge University Press, Chap. 11, 641-693. Codignotto, J.O. y Kokot, R., 2005. Geología y geomorfología. En: V. Barros, A. Menéndez y G. Nagy (eds.), El Cambio Climático en el Río de la Plata, Parte II, Cap. 8, 85-106.

Codignotto, J.O., y Ercolano, B., 2006. Incremento de la erosión costera en Argentina. VI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Puerto Madryn, diciembre de 2006. Res., 147.

Cortelezzi, C.R., Colado, U.R., Mouzo, F.H., Robbiano, J.A. y E.J. Schnack, 1972. Estudio de las variaciones morfológicas y sedimentológicas en el litoral atlántico de la Provincia de Buenos Aires entre San Clemente del Tuyú y Miramar. V Congr. Geol. Arg. (C. Paz 1972): 341-345.

Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Raskin R. G., Sutton P. y van den Belt, M., 1997, The value of the world´s ecosystem services and natural capital, Nature **387**, pp 253-280.

De Francesco, F., Colado, U.R., Schnack, E.J., Schnack, J.A., García Lozano, L.C., 2002. La inundación de 1982/1983 en la porción argentina de la cuenca del Río Paraná. En: J.Lugo Hubp y M. Invar. (eds.), Desastres Naturales en América Latina. Fondo de Cultura Económica. Cap. XVI, 317-333.

Denman, K.L., G. Brasseur,A. Chidthaisong, P. Ciais, P. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P.L. da Silva Dias, S.C.Wofsy y X. Zhang, 2007: Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution ofWorking Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin,M. Manning, Z.

Chen,
M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 499-587. Dennis, K., Schnack, E.J., Mouzo, F. y Oroná, C., 1995. Sea-Level Rise and Argentina: Potential Impacts and Consequences. J. of Coastal Research, SI Nº 14: 205-223 Diez, P.G., Perillo, G.M.E. y Piccolo, M.C., 2007. Vulnerability to sea-level rise on the coast of the Buenos Aires Province. Journal of Coastal Research 23 (1), 119-126. D´Onofrio, E.E., Fiore, M.M.E. y Pousa, J.L., 2008. Changes in the regime of storm surges at
Buenos Aires, Argentina. Journal of Coastal Research 24, 260-265. Field, C.B.,M.J. Behrenfeld, J.T. Randerson y P. Falkowski, 1998: Primary production
of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281, 237-240.

Gulev, S.K., y V. Grigorieva, 2004: Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data. Geophys. Res. Lett., **31**, L24302, doi:10.1029/2004GL021040.

Isla, F. I., y Bértola, G. R.., 2005. Litoral bonaerense. In: de Barrio, R., Etcheverry, R. O., Caballé, M. y Llambías, E. (eds.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, 265-276.

Isla, F.I.y Cortizo, L. C., 2005. Patagonian cliff erosion as sediment input to the continental shelf. Actas XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, tomo IV, 773-778.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 967 p.

Isla, F.I. y Cortizo, L. C., 2005. Patagonian cliff erosion as sediment input to the continental shelf. Actas XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, tomo IV, 773-778.

López, R.A., Erosión de playas en el Partido de la Costa, Pcia. De Buenos Aires. XIII Congr. Geol.. Arg. Y III Congr. De Exploración de hidrocarburos. Actas IV: 295.1996.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Meier, M.F., Dyurgerov, M.B., Rick, U.K., O´Neill, S., Pfeffer, W.T., Anderson, R.S., Anderson, S.P. y Glazovsky, A.F., 2007. Glaciers dominate eustatic sea-level rise in the 21st. century. Science 317, 1064-1067.

Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N. y Pekar, S.F., 2005. The Phanerozoic record of global sea-level change. Science 310, 1203-1298.

Moore, W.S., Sarmiento, J.L. y Key, R.M., 2008. Submarine groundwater discharge revealed by 228Ra distribution in the upper Atlantic Ocean. Nature Geoscience 1, 309-3011. Muelbert, J. H. y Sinque, C., 1996, Distribution of bluefish (Pomatomus saltatrix) larvae in the southern Brazilian continental shelf, Marine Freshwater Research, **47**, 311-314.

Nicholls, R. J. y Lowe, J. A. 2004. Benefits of mitigation of climate change for coastal areas. Global Environmental Change 14, 229–244.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,

M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.

Palma, E.D., Matano, R.P., Piola, A.R. y Sitz, L.E., 2004, A comparison of the circulation patterns over the Southwestern Atlantic Shelf driven by different wind climatologies, Geophysical Research Letters, **31,** L24303.

Palma, E.D., Matano, R.P., y Piola, A.R., 2008, A Numerical Study of the Southwestern

Atlantic Shelf Circulation, Journal of Geophysical Research, en prensa.

Pauly, D. y Maclean, J., 2002, In a perfect ocean, Island Press, Washington D.C., 175pp.

Piola, A.R., Campos, E.J.D., Möller, O.O., Charo, M. y Martinez, C.M., 2000, Subtropical shelf front off eastern South America, Journal of Geophysical Research, **105**, C3, 6566-6578.

Piola, A.R., Matano, R.P., Palma, E.D., Möller, O.O., y Campos, E.J.D., 2005, The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf, Geophysical Research Letters, **32**, L01603.

Pousa, J.L., Kruse, E., Guaraglia, D., Mazzoldi, A., Carbognin, L., Tosi, L., Bonardi, M., Rizzetto, F. and Schnack, E.J.,, 2007. Geological Hazards in two sandy environments: the eastern coast of Buenos Aires (Argentina) and Vence (Italy). Environmental Geology, 51(8), 1307-1316.

Romero, S.I., Piola, A.R., Charo, M. y Garcia, C.A.E., 2006, Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data, Journal of Geophysical Research, 111, C05021.

Sabine, C.L., et al., 2004, The Oceanic Sink for Anthropogenic CO_2, Science, **305**, 367.

Sarmiento, J.L., R. Slater, R. Barber, L. Bopp, S.C. Doney,A.C. Hirst, J. Kleypas, R. Matear,

U. Mikolajewicz, P. Monfray, V. Soldatov, S.A. Spall and R. Stouffer, 2004. Response of ocean ecosystems to climate warming. Global Biogeochem. Cy., **18**, GB3003, oi:10.1029/2003GB002134.

Schnack, E.J., 1985. Argentina. In: E. Bird and M. Schwartz (eds.). The World´s Coastlines, van Nostrand-Reinhold Co., 69-78.

Schnack, E.J., 1993. The vulnerability of the east coast of South America to sea-level rise and possible adjustment strategies. In: Climate and Sea Level Changes: Observations, Projections and Implications, R.A. Warrick, E.M. Barrow & M.L. Wigley, Eds. Cambridge Univ. Press: 336-348.

Schnack, E.J., 2000. El Niño en el Plata. Revista Museo, 3 (14), 71-76.

Schnack, E.J., Dennis, K.C., Nicholls, R.J. and Mouzo, F.H., 1992. Impact of sea-level rise on the coast of Argentina. In: Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea. Proc., Int. Workshop, Isla Margarita, Venezuela :275-292

Schnack E.J, Pousa J.L., Isla F.I., 1998. Erosive processes on the sandy coastline of Argentina. Vechtaer Studien zur Angewandten Geographie und Regionalwiseenschaft, Band 20, S. 133-136.

Schnack E.J., Pousa J.L., 2004. Episodic Processes (Storm surges and tsunamis). In: F.Isla (ed.) Coastal zones and Estuaries, from Encyclopedia on Life Support Systems (EOLSS-UNESCO, Eolss Publishers Co.Ltd., Oxford, UK, www.eolss.net.

Schnack, E.J. y Lasta, C., 2006. Sobre conservación y manejo de la línea de costa, la gestión de balnearios y facilidades asociadas. El caso del Partido de la Costa. Informe técnico, para servir de sustento al decreto municipal sobre emergencia costera en el Partido de la Costa", 4 pp. texto + 5 pp. figs.

Shepherd, A. y Windham, D., 2007. Recent sea-level contributions from the Antarctic and Greenland ice sheets. Science 315 (5818), 1529-1532.

Shindell, D. T. & Schmidt, G. A., 2004, Southern Hemisphere climate response to ozone changes and greenhouse gas increases, Geophysical Research Letters, **31**, L18209.

Simionato, C.G.; Vera, C.S., y Siegismund, F., 2005, Surface wind variability on seasonal and interannual scales over Rio de la Plata area. Journal of Coastal Research, **21**(4), 770– 783.

Sunyé, P.S. y Servain, J., 1998, Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery, Fisheries Oceanography **7**, 89-100.

Toggweiler, J.R. y J. Russell, 2008, Ocean circulation in a warming climate, Nature, **451**, 286-288.

Windom, H.L., Niencheski, L.F., Moore, W.S. y Jahnke, R. Submarine groundwater discharge: A large, previously unrecognized source of dissolved iron to the south Atlantic ocean. Marine Chemistry102, 252-266.

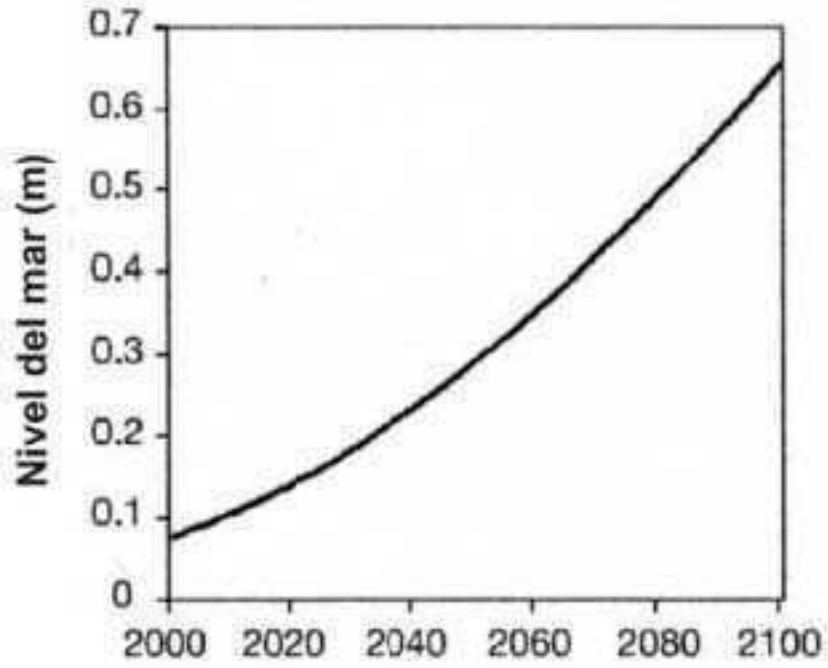


Figura 1. Curva de aceleración del nivel del mar, tomando el escenario de aumento de aproximadamente 0,50 m para fines del siglo actual (Nicholls et al., 2007)

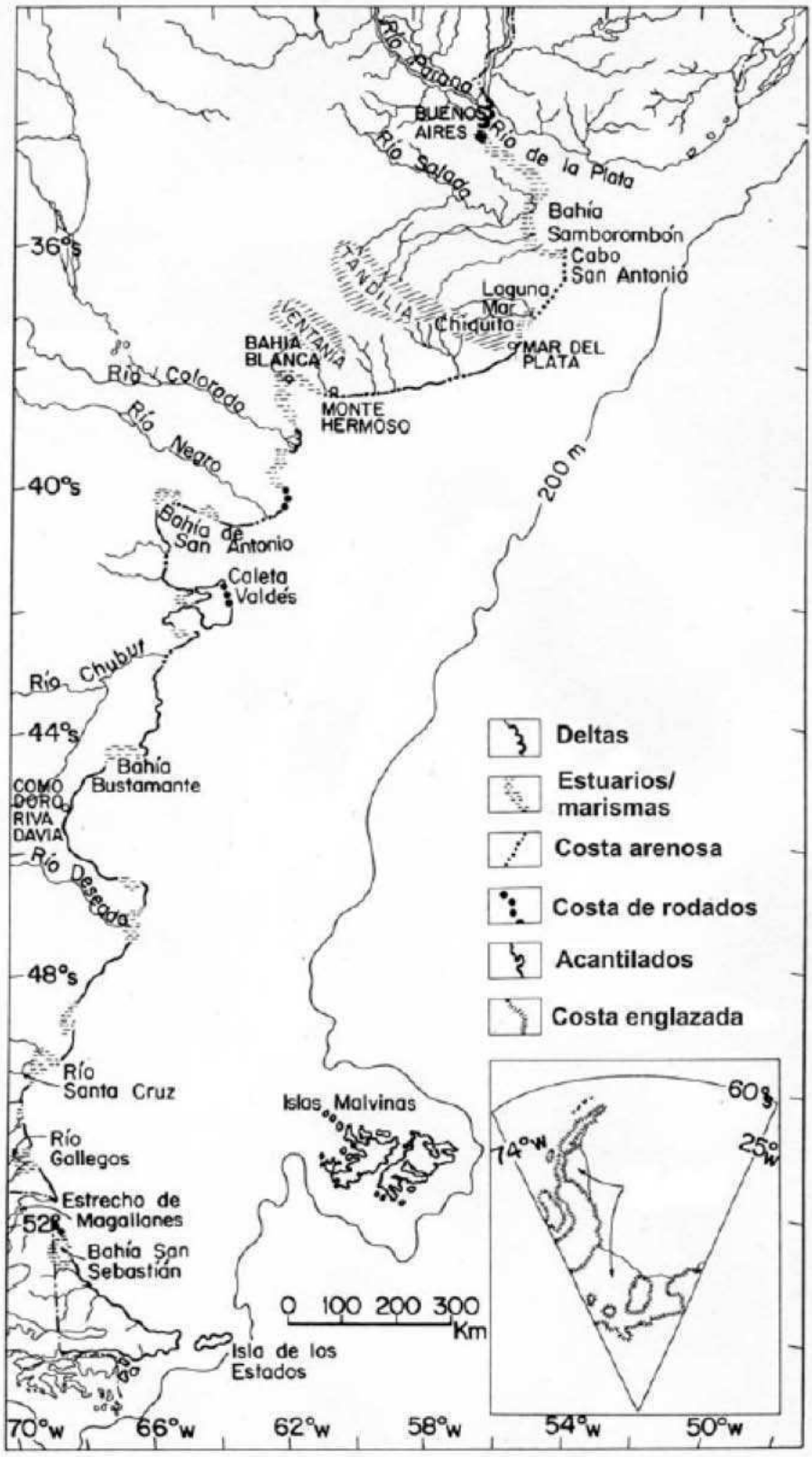


Figura 2. Rasgos geomorfológicos predominantes en la costa argentina (Schnack, 1985).

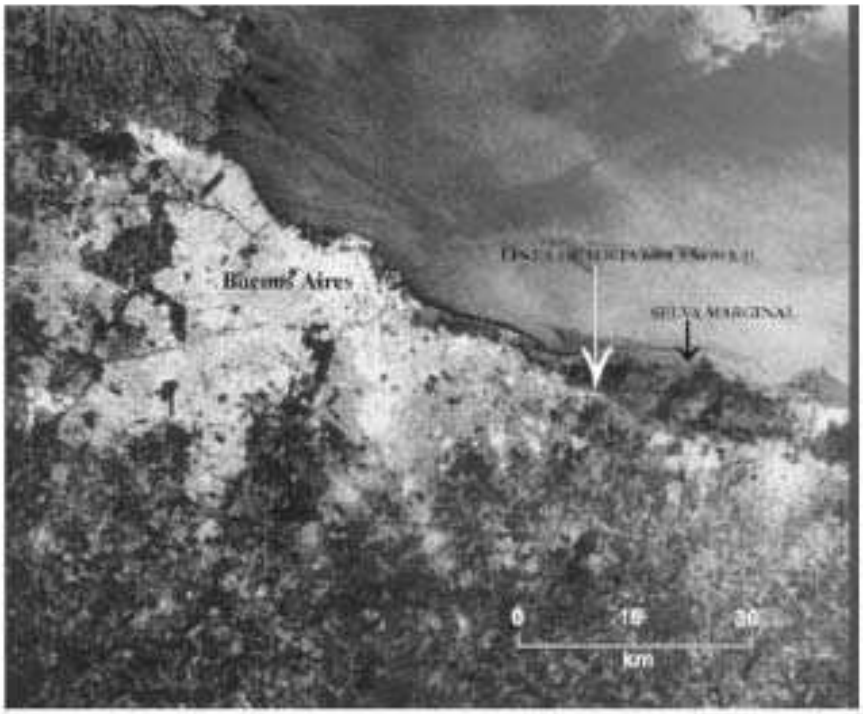


Figura 3. Ambientes costeros vinculados al Río de la Plata en la zona próxima a Buenos Aires. Puede observarse la planicie costera formada durante la última pulsación postglacial del nivel del mar. La flecha blanca indica la línea de costa hace unos 6000 años. En el borde costero se encuentra la selva marginal, un relicto de bosque en galería de origen subtropical. Prácticamente toda la planicie costera fue inundada durante la mayor sudestada registrada en la región, el 15 de abril de 1940 (Imagen LANDSAT TM provista por la CONAE).

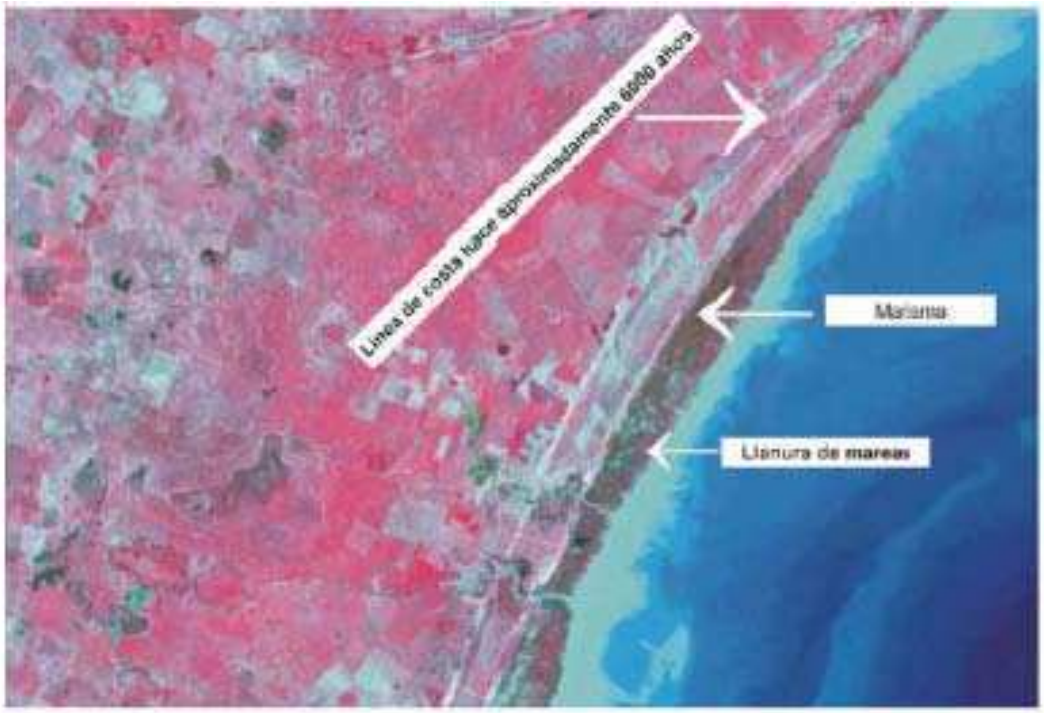


Figura 4. Imagen LANDSAT TM de un sector de la Bahía Samborombón. Se observa la llanura de mareas ("cangrejal"), los ambientes de marisma y los cordones de playa fósiles que indican la línea de costa de hace unos 6000 años.

Figura 5. Fotografía de la tormenta del 21 de marzo de 2001. Ondas de tormenta sobre el muro costero y el camino en Punta Lara, Provincia de Buenos Aires (gentileza del Diario El Dia, La Plata).

Figura 6. Áreas de la ciudad de Buenos Aires y zonas aledañas (en gris) que serían inundadas si el nivel del agua alcanzara una altura de 3,50 m con respecto al cero del Riachuelo (D'Onofrio et al., 2008).

Figura 7. Playa erosiva de Mar Chiquita, unos 30 km al norte de Mar del Plata. A la izquierda pueden observarse espigones emplazados en los últimos años. A la derecha, el retroceso de la línea de costa entre 1957 y 1979, que causó la pérdida de lotes y propiedades (Schnack, 1985).

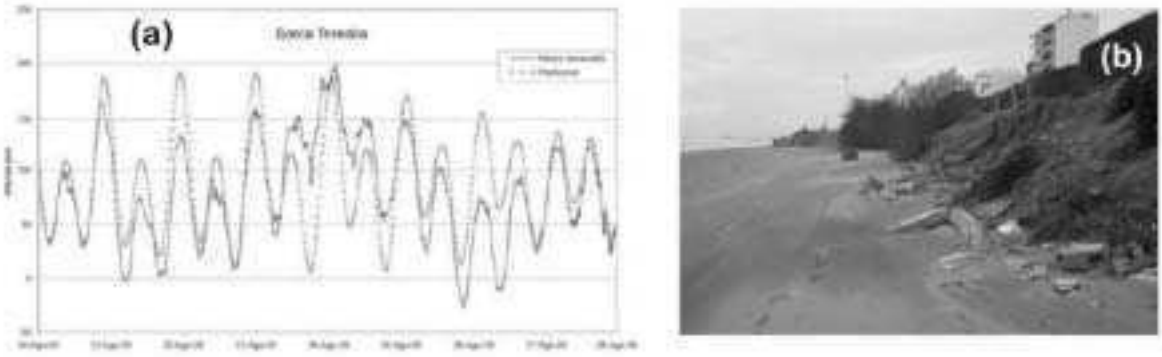


Figura 8. La onda de tormenta de fines de agosto de 2005. (a) gráfico de niveles del mar observados y predichos; (b) impacto en la playa de Santa Teresita.

Figura 9. Vista aérea del sector de Punta Mogotes hacia el sur. En primer plano, se puede observar un sector con acumulación de arenas que disminuye, hasta desaparecer, hacia el sur, con prominentes acantilados, en un proceso erosivo que lleva décadas y para el cual no se han hallado soluciones a la fecha.

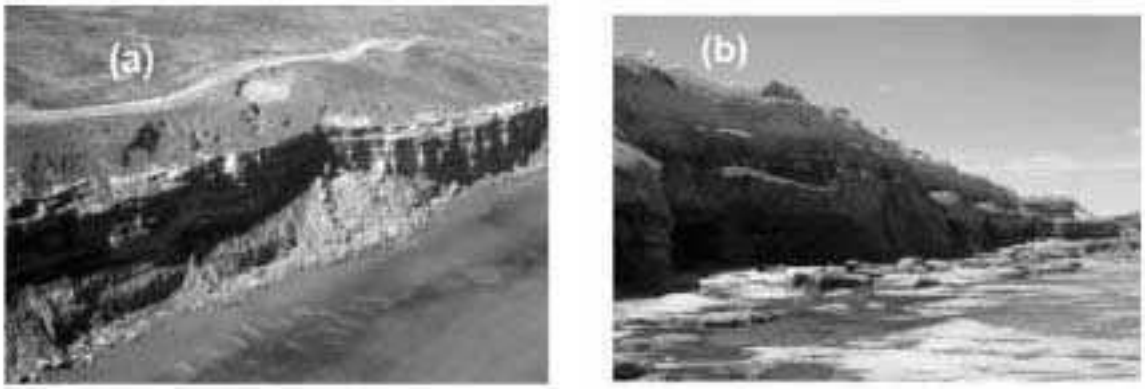


Figura 10. Costa con procesos de erosión de acantilados. (a) sector de la costa del Chubut; (b) sector de Las Grutas, en la Provincia de Río Negro.

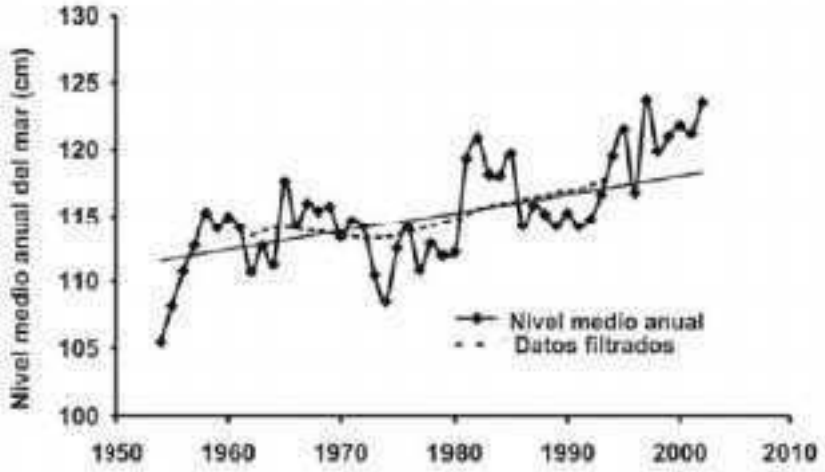


Figura 11. Regresión lineal calculada a partir de datos filtrados de niveles medios absolutos anuales en Mar del Plata, período 1954-2002, indicando un incremento de 1,4 ± 0.01 mm/año (Pousa et al., 2006).

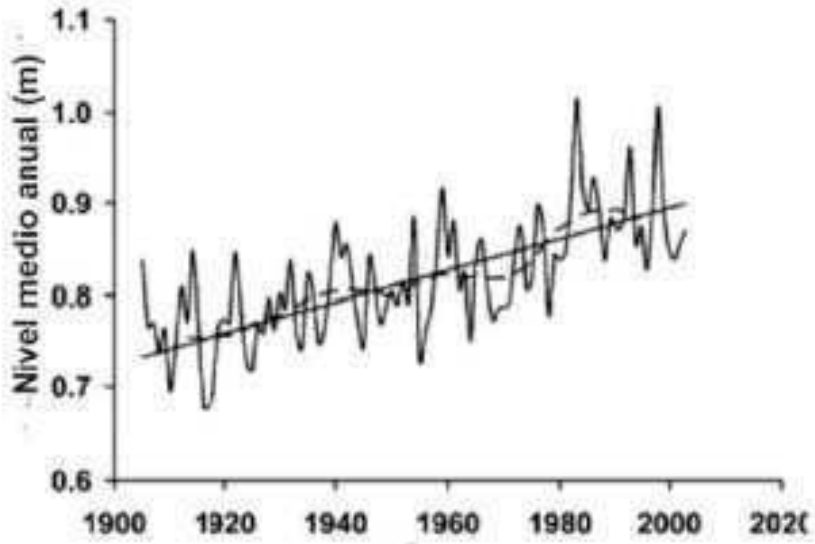


Figura 12. Regresión lineal (línea sólida recta) calculada de datos filtrados (trazo punteado) de los niveles medios anuales en Buenos Aires (trazo sólido curvo), período 1905-2003, mostrando un incremento de 1,68 ± 0,05 mm/año (D´Onofrio et al., 2008).

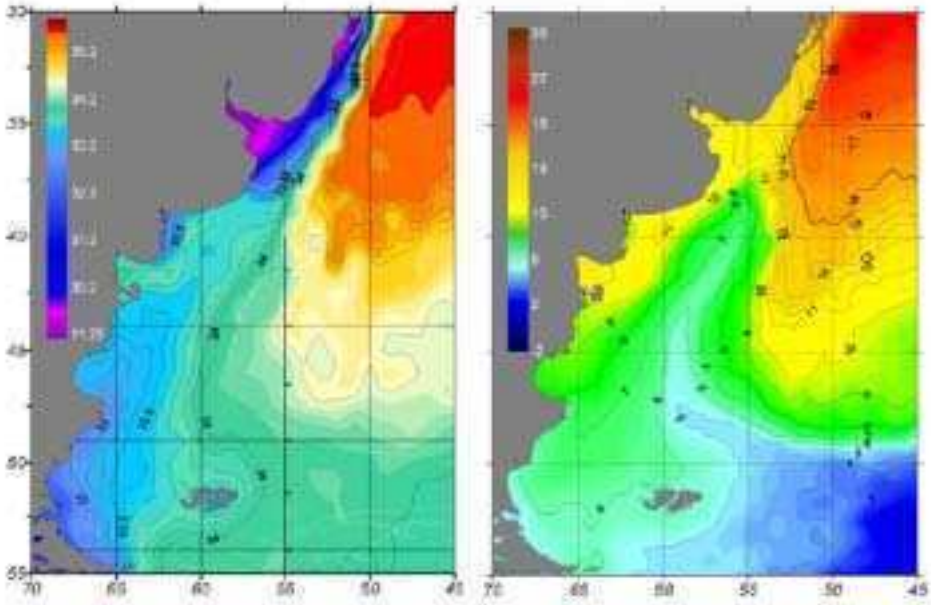


Figura 13. a (izq): climatología de salinidad superficial en invierno. b (der) : imagen de SST de invierno ilustrando la penetración de la pluma de baja temperatura.

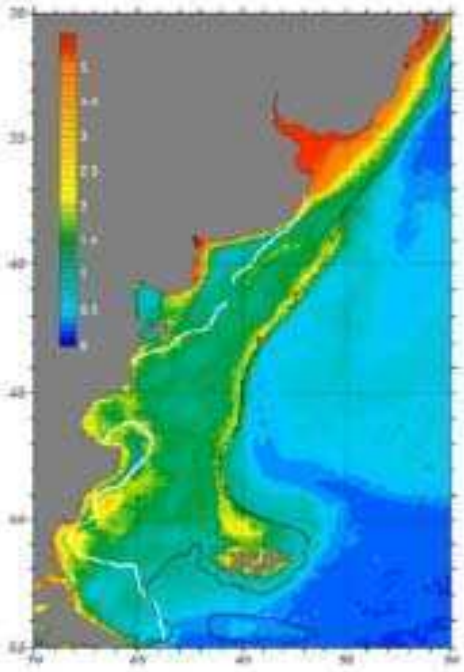


Figura 14. Distribución de clorofila satelital y esquema de frentes oceánicos y patrones de absorción/emisión de CO_2.

Capitulo 5

Plantaciones forestales y ambiente: su importancia ante el Cambio Climático

Tomás Schlichter y Pablo Laclau

1-Introducción. La forestación en el marco de las estrategias para enfrentar el Cambio Climático

Las evidencias del Cambio Climático y los consiguientes impactos ecológicos y socioeconómicos han determinado el desarrollo de distintas estrategias que permitan a la humanidad sobrellevar o atenuar los mismos. Básicamente se pueden agrupar a las mismas en dos grande categorías: a) Mitigación del Cambio Climático, b) Adaptación al Cambio Climático.

La primera categoría, que se orienta a enfrentar las causas del Cambio Climático, incluye alternativas que tienden a disminuir el nivel de gases de efecto invernadero a través de su captura o secuestro, y otras intentan disminuir el flujo de los mismos hacia la atmósfera a través de reducción de emisiones. La reducción se puede producir -en el caso de los combustibles fósiles-, a través del aumento de la eficiencia en el uso de los mismos, o mediante su sustitución.

La adaptación al Cambio Climático comprende aquellas iniciativas que tienden a disminuir la vulnerabilidad de las sociedades humanas y sus actividades económicas a este fenómeno. Se trata de mantener la integridad de los ecosistemas y la actividad socioeconómica, es decir sobrellevar los efectos del Cambio Climático. A diferencia de lo que sucede con la mitigación, su definición es mucho más amplia y aún no están tan acotadas las vías a través de las cuales se puede cumplir con este objetivo. En los últimos años, la adaptación al cambio climático se ha constituido en una de las prioridades de investigación para las instituciones científicas de numerosos países.

Las actividades relacionadas con la Mitigación al Cambio Climático se han formalizado a nivel internacional en el denominado Protocolo de Kyoto, en el ámbito de la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas, que propone mecanismos de mercado atacar algunas causas del Cambio Climático (ver más abajo).

En general se reconoce que el uso de la tierra y los cambios en el mismo pueden constituir mecanismos importantes para aumentar o disminuir emisiones. Los vegetales, a

través del proceso de fotosíntesis fijan CO_2 atmosférico transformándolo en materia contenida en compartimentos como raíces, tallos, hojas o ramas. A través de los procesos de senectud y descomposición una porción de este carbono se puede almacenar como materia orgánica en el suelo.

La mayoría de los cultivos o pasturas que son en definitiva consumidos por la humanidad, tienen una producción que raramente excede el lapso de un año en área determinada. Los cultivos anuales son cosechados al cabo de unos meses, y sus productos se consumen en un período relativamente corto, con lo cual tienen un efecto neutro sobre el CO_2 atmosférico. Lo mismo sucede con las pasturas manejadas con fines de producción animal. El rastrojo de los cultivos o el material seco o muerto de los pastizales y pasturas sufren un proceso de descomposición que resulta en el retorno de una porción importante de CO_2 (y otros gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso) a la atmósfera, mientras el resto puede incorporarse al suelo.

A diferencia de los cultivos agrícolas, las forestaciones mantienen una proporción considerable de carbono en estructuras lignificadas de alta permanencia como el fuste, raíces gruesas y ramas. En algunos casos estos compartimentos de almacenamiento son de sencilla medición y ello (junto con la permanencia) ha determinado su aceptación en convenciones internacionales para el comercio de —bonos de carbono“.

Por otro lado, la permanencia del carbono en estructuras producidas a partir de la madera de plantaciones, como casas y muebles, puede ser sumamente prolongada, y ello determina otra diferencia con los cultivos anuales. La madera resultante de las forestaciones se puede utilizar para fabricar material para la construcción de casas u otros fines estructurales. La producción de estos materiales es mucho menos costosa en el uso de energía, y por lo tanto de combustibles fósiles que los usados más frecuentemente en las grandes ciudades, por lo que el reemplazo de éstas, además de implicar el secuestro de carbono en las mismas estructuras resultaría en una disminución considerable en las emisiones de CO_2. Los residuos de las plantaciones forestales, como los provenientes de las podas o raleos no comerciales, así como los que se producen en aserraderos y en otras transformaciones de la madera pueden contribuir a disminuir el flujo de gases efecto

invernadero hacia la atmósfera mediante su uso como sustitutos de combustibles fósiles.

Sin embargo también sería posible considerar otros usos de la tierra que tienen gran capacidad para acumular biomasa y en consecuencia, de secuestrar carbono. Es el caso de los pastizales de zonas templadas a subtropicales. Si se excluye al pastoreo de ganado doméstico de estos ecosistemas, la acumulación de biomasa puede ser rápida y considerable, aunque se deberían arbitrar los mecanismos de prevención del fuego toda vez que estos ecosistemas suelen existir en zonas donde los incendios naturales constituyen disturbios comunes. La facilidad de medición y la capacidad de acumulación de biomasa han determinado que hasta el momento sean reconocidos formalmente a nivel internacional sólo las plantaciones forestales como secuestradoras de CO_2, y por lo tanto pasibles de generar bonos de carbono para ser comercializados a nivel internacional.

No obstante, aún es una incógnita el impacto que pueden tener las plantaciones para mitigar el Cambio Climático a nivel global. Ello depende de la cantidad de tierras aptas para forestar con esos fines, de las tasas de crecimiento de los bosques y de los impactos sociales y ambientales que esta actividad pueda ocasionar sobre los mismos ecosistemas o sobre economías externas. Todos estos temas son objeto de discusión en los foros internacionales y es muy posible que los acuerdos logrados estén sujetos a ajustes periódicos, puesto que la mitigación del Cambio Climático constituye un nuevo paradigma sobre el cual no es posible establecer límites o restricciones definitivas. Por ello, cabe esperar que ocurran ajustes sucesivos para lograr que las acciones autorizadas, como la forestación y reforestación, sean efectivas en la remoción de gases efecto invernadero, y que a la vez no ocasionen efectos adversos de tipo ambiental o socioeconómico, o estos sean mínimos.

Por otro lado, la deforestación de masas boscosas nativas produce entre el 10 y 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo. Ello ha determinado una prolongada y complicada serie de negociaciones, aún no concluidas, tendientes al reconocimiento económico del reservorio de carbono por parte de los bosques nativos. Muchos de los que apoyan esta iniciativa argumentan que la remuneración a la *deforestación evitada* también contribuiría de manera importante al mantenimiento de la integridad de los ecosistemas, incluyendo todos los bienes y servicios que los mismos

producen

2- Forestaciones y secuestro de Carbono

Una plantación de árboles puede asimilarse a un cultivo plurianual, cuyo objetivo principal es por lo común, la producción de madera. Como se mencionó en la sección introductoria, en el transcurso de la rotación los árboles acumulan carbono en sus distintos compartimentos: hojas y frutos, ramas, tronco y raíces. También con la caída de material herbáceo o leñoso y con la mortalidad de plantas se añade carbono al sitio plantado, que parcialmente puede ser transferido al suelo orgánico. De este modo, la totalidad del carbono de estos compartimentos a nivel agregado en un rodal, puede distribuirse entre cuatro componentes principales: la biomasa aérea viva, la biomasa subterránea, el material muerto y el suelo orgánico.

Aún cuando los suelos pueden almacenar una gran cantidad de carbono orgánico debido a procesos relacionados con su morfogénesis, la mayor acumulación durante el crecimiento de una forestación ocurre en los constituyentes básicos del leño de los árboles: celulosa, hemicelulosa, lignina y otros compuestos organocarbonados acompañantes. Aproximadamente un 50% de la materia seca de la biomasa de un vegetal está constituido por carbono orgánico. Por ello, con el crecimiento de los árboles, el carbono acumulado aumenta. En los sistemas naturales donde los árboles crecen sin intervención del hombre, se alcanza en algún momento un balance entre el carbono que se acumula y el que se pierde por decaimiento y descomposición de tejidos muertos. En cambio, en plantaciones, la silvicultura aplicada tiende a prevenir el decaimiento durante la rotación establecida, de modo que el carbono acumulado suele crecer durante todo el ciclo, y como generalmente se tiende a regular las cortas finales cuando las tasas de crecimiento aún permanecen altas, no suele alcanzarse el máximo potencial de biomasa, y carbono acumulados.

En las primeras etapas de implantación, el secuestro de carbono atmosférico puede tener un balance negativo, dado que normalmente, una plantación de árboles reemplaza, abrupta o paulatinamente, a comunidades vegetales preestablecidas. En el caso de plantaciones donde se realiza roturación de suelos, las pérdidas de vegetación y la liberación de carbono del suelo, son inmediatas, al igual que cuando se amontona y quema

material vegetal. En cambio, en los casos que esta sustitución se realiza con mínimo laboreo -como por ejemplo con el hoyado para plantación únicamente-, la vegetación persiste hasta que el cierre del dosel y la competencia por agua y nutrientes la eliminan. Plantaciones mas ralas o raleos tempranos que disminuyan la cobertura arbórea, pueden resultar en una biomasa del sotobosque estable o aún creciente, debido a los efectos de facilitación, en especial en zonas áridas, que el bosque ejerce sobre la vegetación herbácea ante situaciones de estrés hídrico (Fernandez et al, 2006, Fernández et al 2007). Presumiblemente la pérdida de carbono de los suelos será menor en estos sistemas de baja perturbación en la implantación que en sistemas con laboreo intenso.

Por lo tanto, el balance de carbono secuestrado en un momento dado de la rotación forestal será función entonces de (1) la cantidad de biomasa almacenada en la comunidad vegetal de reemplazo y su tasa de crecimiento, (2) el sistema de preparación de suelos empleado y los laboreos subsecuentes y (3) la cantidad de árboles establecido y su tasa de crecimiento. En consecuencia, el reemplazo por plantaciones forestales de bosques o matorrales densos -cuyo almacenaje de carbono es alto-, tenderá a un balance neutro o negativo de carbono, además de generar una serie de impactos ambientales adversos. Del mismo modo, los sistemas basados en un manejo forestal altamente intensivo con remoción de suelos y eliminación total de la vegetación acompañante, tendrían una tendencia similar, en este caso no solamente por la supresión de biomasa, sino también por la cantidad de emisiones de combustibles fósiles que genera el desplazamiento de vehículos, maquinaria y el uso de fertilizantes y otros agroquímicos. Por otro lado, una baja tasa de crecimiento específico, o forestaciones muy ralas, secuestran relativamente poco carbono, por lo cual suelen preferirse especies de rápido crecimiento. Por ejemplo, en la región Patagónica, una forestación de pinos alcanza y supera aún crecimientos de 30 m^3 por ha-año, al menos 5 o 6 veces mayores que los de un bosque nativo de ciprés de la cordillera de buen crecimiento en sitios comparables. En la región mesopotámica, algunas forestaciones con *Eucalyptus* spp crecen a tasas mayores a los 40 m^3 por ha-año en rotaciones cortas, de no más de quince años.

Por ello, los proyectos de secuestro de carbono por plantaciones se encuentran sesgados a la preferencia de especies de rápido crecimiento como pinos o eucaliptos

(aunque esto no es totalmente aceptable desde posturas ambientalistas), a la plantación en sitios de baja biomasa actual preexistente, y a un manejo semi-intensivo que no provoque fugas importantes por emisiones debidas a las quemas o al uso de maquinarias.

Al igual que otros cultivos, la forestación requiere de un manejo específico durante la rotación esperada, que comprende tareas de preparación del terreno, la implantación de los árboles, su protección y oportunas intervenciones de poda o raleo hasta el momento de corta final. Debido a las variaciones de forma, dimensiones y calidad de los fustes y las ramas, normalmente se obtienen distintos productos maderables, que satisfacen demandas de combustible, aserrados para construcción o carpintería, postes, pastas celulósicas o diversos extractos de la madera. De acuerdo con su destino, una gran parte de estos materiales se conservan durante muchas décadas, reteniendo carbono orgánico aún por lapsos que exceden holgadamente a los de la plantación que les dio origen. Si bien los sistemas de contabilización de secuestro de carbono creados formalmente no consideran el secuestro de carbono en productos durables de la madera, así como tampoco las emisiones de carbono debidas a un proyecto forestal *fuera del área del proyecto*, una contabilización ecológicamente razonable de la remoción de carbono atmosférico debería incluir estos componentes de ganancias o pérdidas que ocurren a partir de un proyecto forestal. Una ecuación más global del carbono efectivamente secuestrado a largo plazo por efecto de una plantación sería entonces:

$$Cns = \Sigma[Cf + Cm + \Delta Cvp + \Delta Cs] - \Sigma [Cmf + Cfr + Cte + Cfe]$$

donde,

Cns: carbono neto secuestrado

Cf: carbono acumulado en la plantación forestal

Cm: carbono acumulado en mantillo y material muerto en pie

Cvp: carbono acumulado en la vegetación preexistente

Cs: carbono acumulado en la fracción orgánica del suelo

Cmf: emisiones de carbono por actividades de manejo forestal

Cfr: emisiones de carbono por factores de riesgo no controlados durante el ciclo de plantación, transporte y elaboración de la madera

Cte: emisiones de carbono por transporte y elaboración de productos de la plantación

Cfe: emisiones por fabricación de maquinarias y equipos relacionados con la plantación e industria derivada

Cada uno de los términos indicados en la ecuación, contiene un conjunto de variables determinantes del carbono secuestrado o emitido. Como se ha mencionado, el nivel de acumulación de carbono secuestrado por una plantación (Cf en la ecuación), dependerá de la densidad de plantación, la especie plantada, el régimen silvícola aplicado, los sistemas de protección implementados, etcétera, factores también vinculados con la acumulación de material muerto en pie o en el suelo (Cm). Algo similar ocurre con la vegetación preexistente (ΔCvp), donde el almacenaje de carbono es función de su composición, estructura y dinámica, y el efecto que tiene la forestación sobre esta ú9ltima. En caso que la descomposición o remoción superen al crecimiento, este valor será negativo. El carbono almacenado en suelos (ΔSo), como se ha dicho previamente, depende principalmente de los procesos formadores de ese sustrato organomineral, aunque las fracciones más lábiles de materia orgánica del suelo están estrechamente relacionadas con el tipo de vegetación preexistente. Este carbón (lábil) del suelo, puede perderse o acrecentarse en el transcurso de una plantación, aunque la detección de estos cambios, suele no ser perceptible en el término de una rotación. Ello ocurre porque los cambios no son muy importantes y también porque el suelo presenta una gran variabilidad espacial, de modo que los datos obtenidos por muestreos de campo no resultan en diferencias estadísticas significativas con el control. En forestaciones instaladas sobre sistemas con una gran densidad de carbono (por ejemplo, un bosque nativo, o un malezal denso) se han detectado tendencias a la reducción de carbono lábil del suelo, ocurriendo lo contrario en suelos con muy bajo tenor de carbono orgánico.

Los términos siguientes de la ecuación (emisiones), refieren a las pérdidas de carbono secuestrado por procesos físicos y biológicos, como la remoción de biomasa resultante del manejo forestal y el consumo de combustibles por equipos y máquinas forestales (Cmf). A estas emisiones “comunes“ de un proyecto forestal pueden añadirse otras de carácter estocástico, o al menos sujetas a incertidumbre, como la ocurrencia de

incendios, el ataque de plagas o enfermedades o al impacto de diferentes eventos climáticos, como huracanes, inundaciones, etc. (Cfr). Los dos últimos términos de las emisiones (Cte y Cfe) se refieren a otras pérdidas de carbono por consumo de combustibles fósiles en forma directa y también a través de emisiones relacionadas con los procesos de fabricación de herramientas de transporte y elaboración. Estas emisiones son consecuencia de la actividad forestal, ya que la forestación con plantaciones es por lo corriente, un proceso predominantemente productivo generador de materia prima industrial. En forestaciones restauradoras, o con fines puramente paisajísticos o de provisión exclusiva de servicios ambientales, estos dos últimos términos se anulan.

Temporalidad del secuestro de C por plantaciones. Como la duración de una forestación -a diferencia de un bosque que crece naturalmente- es limitada, al igual que los productos de la madera, este secuestro de carbono es temporal. Desde el punto de vista funcional, las forestaciones pueden considerarse amortiguadores (—buffers“) del contenido de carbono atmosférico, es decir, reservorios temporarios cuyo contenido, tarde o temprano, será devuelto a la atmósfera o transferido al suelo o al fondo del mar a través de procesos de degradación biológica, o por combustión. En ese sentido, los proyectos de secuestro de carbono difieren sustancialmente de otros proyectos de mitigación del cambio climático, que reducen emisiones en forma permanente, al sustituir el uso de combustibles fósiles por otros sistemas de producción de energía.

Por otra parte, el ataque de una plaga o una intervención de raleo, agregan una importante cuota de incertidumbre a la estimación de cuánto carbono es posible captar en el ciclo de una forestación, y cuánto tiempo durará ese secuestro. Por ejemplo, en las fases iniciales de la plantación, un ataque de hormigas o un verano seco, pueden traer pérdidas que aparejan emisiones actuales y a la vez demoran la acumulación de biomasa y carbono. Las operaciones de poda y raleo, remueven a veces una considerable cantidad de fustes, hojas o ramas de una plantación, y transfieren también parte de los deshechos forestales al suelo desde donde el carbono es incorporado en la materia orgánica del suelo, o bien se pierde por lixiviación o re-emisión a la atmósfera. Algunos manejos, como por ejemplo, la quema de ramas, promueven la eliminación atmosférica; en cambio, el desparramado de materiales y el uso de escarificadores, favorece la incorporación al suelo. Asimismo, la

extracción de árboles completos (con sus copas) para proceder a su desrame fuera de la plantación, remueve mucho más biomasa que la ejecución de esta tarea *in situ*.

Las fuentes de emisiones de carbono asociadas a las plantaciones, como se ha mencionado, son varias, y corresponden a las inherentes al régimen silvícola elegido y a la forma de ejecución de actividades de manejo. En forma sucinta pueden señalarse algunos factores de emisiones durante las diferentes etapas de la rotación forestal (Tabla 1)

Las plantaciones forestales son, como se mencionó, cultivos plurianuales o de larga duración. Como cualquier cultivo implica una perturbación cuyos efectos se pueden verificar a nivel local o producir externalidades, impactando sobre otros ecosistemas y economías en lugares más o menos alejados. Los impactos locales se restringen a aquellos que afectan la fertilidad del suelo, en su dotación de nutrientes, y como se mencionó anteriormente, al contenido de materia orgánica. Si bien la biodiversidad también puede verse afectada, es de mayor utilidad tratar este proceso a nivel de paisaje considerando aspectos como la fragmentación y la existencia de corredores. Los efectos externos incluyen posibles impactos sobre el nivel de la napa freática en ecosistemas adyacentes a la plantación, eventuales disminuciones en el caudal de agua en arroyos cercanos (Jobbagy et al 2006), la calidad del agua en cursos cercanos a las plantaciones y la ya mencionada biodiversidad (Corley et al 2006, Rusch et al 2007, Lantschner et al 2008). Es evidente que la intensidad de los impactos es altamente dependiente de la escala de la plantación, su composición específica, el arreglo espacial y su manejo silvicultural. Para algunas regiones del país, como la Patagonia, existen investigaciones que documentan varios de estos impactos y establecen recomendaciones para mitigarlos de modo de compatibilizar altos niveles de producción con la conservación de la biodiversidad y servicios ambientales esenciales (Rusch et al 2004, Fernández et al 2005)

Resulta lógico pensar que cualquier actividad destinada a mejorar el comportamiento de de un servicio ambiental como el secuestro de carbono no puede realizarse a costa de otros, como la conservación de la biodiversidad o el suministro de agua en calidad y cantidad necesarias para el mantenimiento de funciones ecológicas esenciales en otros ecosistemas y la consiguiente calidad de vida de las sociedades humanas que habitan las cercanías del área plantada. Es por ello que los proyectos de plantación

destinados mitigar el Cambio Climático serán cuidadosamente examinados en sus aspectos ambientales y deberán utilizar toda la información científica y tecnológica disponible en diversas regiones del país, que es creciente y adecuada a estos propósitos.

Adicionalidad y Línea Base

Para que una iniciativa destinada a mitigar el Cambio Climático sea reconocida como tal es necesario demostrar que producirá una disminución en la emisión de gases mayor que la que hubiera ocurrido sin la implementación del proyecto. Análogamente, en proyectos de captura de carbono, deberá demostrarse que se secuestrará más CO_2 que lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto. A esta cantidad de CO_2 secuestrado en exceso sobre el nivel pre-proyecto se lo denomina *adicionalidad de carbono*. La cantidad de carbono que hubiera ocurrido según el uso más probable de la tierra, es decir en ausencia del proyecto de forestación o reforestación, se denomina *línea base de carbono.*

La *línea base* (de carbono) es un concepto dinámico que comprende el balance de carbono en ausencia del proyecto, durante un período equivalente a la duración del proyecto de secuestro de carbono con el que se compara. En la Figura 1 se representa gráficamente la adicionalidad bajo tres escenarios de evolución de la línea base durante una rotación forestal.

En los tres casos la línea llena superior refleja la marcha de la acumulación de carbono por parte de la plantación forestal en función del tiempo. Las caídas en el carbono observadas en dos oportunidades corresponden a los efectos de operaciones de raleo, como es común en la mayoría de las plantaciones forestales destinadas a la producción de madera sólida, cualquiera sea la especie o el lugar en el cual se realizan. En el primer caso (A), donde la línea base permanece constante en el tiempo, corresponde a una plantación realizada con mínimos disturbios en el suelo, por ejemplo realizando únicamente pequeños hoyos para plantar los plantines y con un manejo silvicultural que no permite que el dosel se cierre interceptando la radiación necesaria para el mantenimiento de la cobertura del sotobosque. El caso B, refleja lo que ocurriría en plantaciones en las cuales los disturbios del suelo son mayores, determinando una caída inmediata en la biomasa de la vegetación preexistente, y con cerramiento del dosel, que intercepta totalmente la radiación que debiera

llegar al sotobosque, y una buena parte de la precipitación. El caso C corresponde a la forestación en sitios de vegetación degradada (por ejemplo por sobrepastoreo extendido), en el cual la instalación de árboles y la exclusión al pastoreo disminuyen el estrés hídrico de la vegetación herbácea o arbustiva remanente y promueven la recirculación de nutrientes, generando un ambiente favorable para el crecimiento de estas plantas bajo la plantación forestal.

De los conceptos anteriores se desprende que regiones forestales en las cuales uno de los destinos probables para el uso de la tierra es la plantación de bosques con fines comerciales, no presentarían adicionalidad (dado que las forestaciones constituyen la línea base), y en consecuencia no se podrían comercializar bonos de carbono por actividades de reforestación. Por ello, en general, las tierras que se consideran elegibles para este tipo de proyectos sostienen pastizales naturales, pasturas, cultivos o estepas, es decir, ecosistemas cuyo almacenamiento de carbono a lo largo de un ciclo de forestación es generalmente bajo y por consiguiente, se puede lograr una captura adicional considerable a partir de proyectos forestales. Este sería el caso, por ejemplo, de regiones semiáridas o áridas, o en áreas más húmedas pero fuertemente impactadas, en las cuales el crecimiento forestal sea apreciable, combinando expectativas de comercialización de sus productos con la venta de un servicio ambiental como el secuestro de carbono.

Como se mencionó anteriormente, los proyectos de forestación y reforestación deben presentar evidencias de sustentabilidad, y además de *adicionalidad de carbono,* deben generar *adicionalidad social y ambiental*. Esto significa que es necesario demostrar que la ejecución del proyecto beneficiará a comunidades locales y mejorará el estado de ambiente en comparación con una línea base de estas dos dimensiones. Es por ello que la plantación en suelos altamente degradados por décadas de sobrepastoreo, como es común observar en la Patagonia, o en extensas áreas del Espinal o de la Región Chaqueña del país pueden ser mejor consideradas para realizar este tipo de emprendimientos. También en muchas áreas de la Región Pampeana, en reemplazo de cultivos agrícolas, aunque en este caso, debe fundarse en una alta competitividad económica para que los proyectos forestales sean adoptados.

La combinación de ritmos de crecimiento compatibles con la rentabilidad,

adicionalidad de carbono, social y ambiental constituye en realidad el marco de restricciones que determina las posibilidades reales de realizar plantaciones forestales para secuestrar carbono y en consecuencia el potencial real de esta actividad para mitigar el Cambio Climático.

3- El Protocolo Kyoto

El Protocolo de Kyoto (PK en adelante) es una acuerdo internacional alcanzado en 1997 en una de las conferencias periódicas que mantiene la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC, siglas en inglés). Con la ratificación posterior de la mayoría de las partes (países o asociaciones de países, como la Unión Europea), este protocolo entró en vigencia a partir de 2002.

El PK constituye el fundamento formal de las acciones aprobadas por las Naciones Unidas para mitigar el cambio climático. Es un acuerdo vinculante para países que voluntariamente adquirieron compromisos de mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones o del secuestro de gases de efecto invernadero. Estos países enumerados en el Anexo I del PK, asumieron compromisos individuales de reducción de emisiones domésticas, que fueron aceptados también por los restantes países firmantes, denominados No Anexo I. Los países del Anexo I son la mayor parte de los países europeos, Rusia, China, Japón, Nueva Zelanda, Canadá, es decir, todas las naciones de mayor desarrollo, con excepción de Australia y Estados Unidos. Entre los países No Anexo I se encuentran las naciones sudamericanas, los países árabes y estados de Africa y Asia signatarios del PK.

Globalmente se propuso una meta de reducción de un 5% de las emisiones antropogénicas ocurridas al 31 de diciembre de 1989, para ser cumplida al cabo de un primer período de compromiso, establecido entre 2008 y 2012. Los mecanismos establecidos con este cometido han sido tres: (1) Comercio de Emisiones, (2) Implementación Conjunta y (3) Mecanismo para el Desarrollo Limpio. Los dos primeros se ejecutan únicamente en países del Anexo I, en tanto que en el tercero intervienen países No Anexo I. El Comercio de Emisiones habilita a países que hubieran superado su propia meta de reducción de emisiones a comercializar sus excedentes, bajo la forma de créditos de carbono, a otros países con obligaciones. La Implementación Conjunta comprende la

implementación de proyectos cooperativos de mitigación entre naciones de los países Anexo I, y la distribución de los créditos resultantes entre las naciones cooperantes. Por último, el Mecanismo para el Desarrollo Limpio o MDL, da la posibilidad de desarrollar y ejecutar proyectos de reducción de emisiones a países No Anexo I, y a vender los créditos obtenidos a los países con obligaciones. Constituye además un sistema que aspira a contribuir al desarrollo sustentable de las naciones en vías de desarrollo, para lo cual impone restricciones sociales y ambientales a los proyectos de carbono.

Dentro de los diferentes sectores en que el MDL permite considerar proyectos, se encuentra el llamado Uso del Suelo y Cambio de Uso del Suelo y Forestación (LULUCF, siglas en inglés), que comprende todas las actividades agropecuarias y forestales aplicables a la mitigación del cambio climático.

Si bien existen probadas experiencias de actividades que disminuyen emisiones de gases efecto invernadero, como por ejemplo, la agricultura bajo labranza reducida en reemplazo de la tradicional, o la conservación de bosques u otros ecosistemas naturales, por el momento en el sector LULUCF sólo son aplicables proyectos de secuestro de carbono bajo la forma de forestación y reforestación.

Estos proyectos forestales reúnen algunas características que los diferencian de proyectos tradicionales de producción de madera. En primer lugar, deben verificar durante la rotación, una acumulación de carbono *in situ* que supere a la de los sistemas ecológicos reemplazados, en general cualquier comunidad vegetal distinta de un bosque (*adicionalidad de carbono*, ver título 2). Por otro lado, debe demostrarse fehacientemente que las forestaciones se realizarán únicamente si su factibilidad económica depende la producción de créditos de reducción de emisiones (conocidos como CERs, siglas en inglés). En otras palabras, no es posible acreditar el secuestro de carbono de plantaciones de árboles que se realizarían de todas formas, por ser una de las actividades más probables œlo que suele denominarse en inglés *business as usual*-, debido a objetivos productivos o ambientales distintos del secuestro de carbono. El cambio de uso del suelo, de *no-bosque* a *bosque*, según la definición adoptada por cada país a los efectos del PK, es también una condición necesaria para estos proyectos[1].Debe señalarse que para establecer una plantación forestal bajo el MDL, el terreno debe haber estado desarbolado al 31 de diciembre de 1989,

situación que debe documentarse a través de antecedentes cartográficos, análisis de imágenes satelitales o aerofotografías antiguas, etc.

Para la formulación de un proyecto forestal de secuestro de carbono bajo el MDL es necesario proseguir una serie de pasos formales, que atraviesan distintas instancias de evaluación y aprobación. A este conjunto de tareas se lo conoce como ciclo de proyectos MDL, y en su consecución intervienen diferentes actores, aunque básicamente intervienen un *proponente del proyecto*, responsable de su formulación y presentación, las *autoridades nacionales*[2], que evalúan y avalan su presentación internacional a través de una *carta de no-objeción*, y un proceso formal internacional ante la *Junta Ejecutiva para el MDL*, que incluye la participación de entidades acreditadas en la validación del proyecto y verificación del carbono secuestrado durante el proyecto.

Por su complejidad, la formulación de un proyecto de reducción de emisiones o de secuestro de carbono (en inglés: Project Design Document o PDD) requiere de la participación de consultores expertos en distintos ámbitos: forestales, ambientales, financieros y legales. También un conocimiento adecuado de las normas de presentación ante la Junta Ejecutiva. Las mismas se encuentran disponibles junto, con numerosas herramientas orientativas, en las páginas oficiales de la Convención Marco de Cambio Climático (www.unfcc.int) .

[1] En la Argentina, la definición de bosque adoptada fija un umbral mínimo de una hectárea de superficie con árboles que a la madurez puedan alcanzar tres metros de altura, y una cobertura de copas de al menos el 22,5%. Estos umbrales eventualmente opinables, permiten discriminar objetivamente comunidades de especies leñosas de menor tamaño o cobertura, que pueden considerarse entonces como *no-bosque*.

[2] La autoridad nacional de aplicación de proyectos MDL es la Dirección de Cambio Climático (DCC) de la Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental de la Nación. En su página web www.medioambiente.gov.ar se encuentra ampliamente desarrollado el ciclo de un proyecto y los requerimientos necesarios para su presentación, así como vínculos de información sobre este Mecanismo en el nivel internacional.

La Junta Ejecutiva para el MDL es la entidad que expide los CERs. Los certificados

pueden ser comercializados libremente por el proponente bajo distintas formas contractuales de uso, como ventas pactadas individualmente, actuales o a futuro, remate abierto en bolsas de comercio, etc. Los CERs para la actividad forestal pueden ser de dos tipos, *temporarios de corto plazo* (tCERs) o de *largo plazo* (lCERs), debido a la temporalidad del secuestro de carbono por árboles. Los tCERs tienen una duración de 5 años corridos, en tanto que los lCERs duran 20 o 30 años, con posibilidad de ser renovados hasta 3 o 2 períodos similares respectivamente (hasta 60 años de duración). Esta es una diferencia importante con CERs obtenidos por otras actividades MDL (como por ejemplo, la sustitución de energía fósil por energías limpias), donde las reducciones de emisiones se asumen como permanentes (los CERs mantienen su validez en forma permanente). Una consecuencia de esta diferencia de certificados será obviamente, el menor valor de mercado de los bonos forestales, ya que los países (o las empresas de países que cumplen sus obligaciones de reducción de emisiones con ellos), deberán renovarlos periódicamente.

Limitaciones de los proyectos forestales de secuestro de carbono bajo el PK. Las negociaciones de la UNFCC que condujeron a la formulación del PK, fueron concebidas como una concertación necesaria entre países destinada a ***reducir*** emisiones domésticas de gases efecto invernadero. En ese sentido toda propuesta que sugiriera la posibilidad de establecer mecanismos compensatorios alternativos, desplazando los esfuerzos de evitar la emisión de gases, fue resistida desde el inicio por varios países europeos. Otros reclamos de importancia para los países sin obligaciones de reducción de emisiones (partes No Anexo I) determinaron el desarrollo del MDL, acordándose que cualquier proyecto de mitigación de cambio climático en estos países debía contribuir simultáneamente al desarrollo sustentable, demostrando una adicionalidad social o económica de los proyectos. En este marco, las únicas actividades aceptadas para el sector de uso del suelo (LULUCF) fueron solamente marginalmente consideradas, al menos en la práctica. Algunos obstáculos para que en la actualidad la forestación pueda constituir un mecanismo de alta efectividad global para mitigar el cambio climático, son los siguientes:

- El bajo porcentaje del total de reducción de emisiones (o compensación a través del

secuestro) que puede ejecutarse bajo el MDL (aproximadamente un 5% del total comprometido por las partes del Anexo I).

- La dificultad de ejecutar proyectos forestales que reúnan requisitos de desarrollo sustentable en países de bajo desarrollo actual, que deben demostrar adicionalidad (proyectos *win-win*) en todas sus dimensiones.
- La incertidumbre acerca de un proceso de secuestro de carbono controlado principalmente por procesos biológicos, aún insuficientemente conocidos.
- La ocurrencia de fugas o escapes imprevistos de carbono durante el ciclo forestal, debido a sucesos ambientales o humanos aleatorios, como incendios, desbalances hídricos, plagas, o aún movimientos sociales o cambios políticos.
- La temporalidad del secuestro de carbono por las forestaciones, sea por decisiones de manejo a través de la corta deliberada, por destrucción imprevista, o por envejecimiento y mortalidad natural de los árboles.
- La necesidad de determinar una línea base proyectada en el tiempo que dura el proyecto forestal, solamente a título de hipótesis, ya que es un proceso que no va a ocurrir si se realiza la forestación, y es simplemente un escenario de la situación *sin proyecto* sujeto a alta incertidumbre.
- Por todo lo anterior, la mayor dificultad relativa (respecto de proyectos en otros sectores) de diseñar propuestas consistentes, evaluar los riesgos, monitorear y verificar las ganancia de carbono.
- La exclusión de la contabilización post cosecha, de productos de la madera de larga duración, que aumentaría la permanencia del carbono secuestrado.

4- Zonas con potencial en Argentina

Según, a principios del siglo XX, la superficie cubierta con bosques nativos era algo mayor a cien millones de ha. En la actualidad su distribución se ha reducido a un tercio de esa área original, debido fundamentalmente a la expansión de la frontera agropecuaria, a los incendios y a la eliminación de cobertura arbórea por la extracción de leña o la explotación forestal desmedida. A grandes rasgos, las tierras forestales originales hoy sostienen bosques y matorrales nativos en estado variable de conservación, agroecosistemas de producción forestal, agrícola o ganadera, urbanizaciones y obras de infraestructura social, o áreas degradadas parcialmente cubiertas por arbustos, hierbas y pastos. Por lo tanto tan solo una parte de los suelos históricamente desboscados

mantienen su capacidad para sostener bosques en la actualidad.

Se considera que el potencial actual para instalar plantaciones forestales en el país oscila entre 18-20 millones de ha (SAGPyA, 1995, SAGPyA, 1999), en tierras de ambientes semiáridos a húmedos y de productividad variable. Estas áreas han sido establecidas a partir del Atlas de Suelos de la Argentina (INTA, 1990) para determinar las zonas de aplicación del régimen de promoción de plantaciones forestales. La superficie aproximada por provincia y por eco-región se detalla en la Tabla N° 2. Obviamente, la clasificación por aptitud de suelos, no tiene en cuenta la potencialidad real de realización de una actividad, debido a la competencia en el uso de la tierra con otras actividades. Hasta el presente se han cubierto con plantaciones forestales alrededor de un millón de ha en un lapso de poco más de cincuenta años, de modo que aún existiría un amplio margen para el desarrollo de la forestación. Sin embargo, incluso en los lugares de baja productividad existen otras opciones de uso del suelo que compiten actual o potencialmente con la perspectiva forestal. En las áreas centrales del país de mayor potencial productivo se ha consolidado la producción agrícola y ganadera como uso dominante del suelo (al igual que los emplazamientos urbanos y otros usos no agropecuarios), modelo que históricamente se ha expandido radialmente desde la pampa húmeda hacia la periferia, proceso que se ha intensificado en la última década, conforme el desarrollo tecnológico y económico permite avanzar sobre áreas no cultivadas previamente.

Por otra parte, como resultado de la aplicación de políticas de creación de recursos forestales industriales, a partir de la década de 1950 se instalaron en la Mesopotamia las primeras plantaciones de pinos, eucaliptos y otras especies, particularmente en Misiones, expandiéndose posteriormente a la provincia de Entre Ríos y algo más tardíamente a Corrientes. Junto con el Delta bonaerense, cuyo desarrollo con el cultivo de salicáceas fue aún previo al de la Mesopotamia, esta porción del país constituye el núcleo del desarrollo forestal alcanzado. En otras regiones del país como Córdoba, Cuyo, Patagonia o el Noroeste, la forestación es aún incipiente y su expansión ha sido relativamente baja. En la actualidad la actividad plantadora se concentra en las provincias mesopotámicas y en Buenos Aires, con una participación menor de otras regiones. En este contexto, la expansión del área forestal en la actualidad se realiza sobre sitios anteriormente

considerados marginales para la plantación como en gran parte de los *campos y malezales* correntinos o en el *espinal* entrerriano (Figura 2). Esta expansión se encuentra relacionada fuertemente con la existencia de una estructura industrial desarrollada cercana, que permite, aún en forestaciones de baja productividad, integrar económicamente la actividad.

Sin embargo, en sitios de ecológicamente marginales para la forestación, a una rentabilidad industrial baja o negativa, se suman muchas veces otro tipo de impedimento, considerados generalmente como barreras para la implementación de proyectos forestales. Solamente las grandes empresas integradas a la industria pueden trabajar en economías de escala en tales sitios. A las limitaciones ambientales, que encarecen la implantación o se traducen en bajos los rendimientos maderables se agregan obstáculos de tipo financiero, cultural, y empresarial. En algunas regiones en las que se evalúa el potencial forestal para proyectos de secuestro de carbono, las restricciones comunes encontradas en áreas donde hay potencial para la forestación son: baja productividad maderera, existencia de producciones alternativas tradicionales, bajos retornos económicos forestales y largo período sin ingresos, dificultades en la obtención de créditos e incentivos, cultura ganadera y escaso conocimiento de la actividad por parte de los productores agropecuarios. También el riesgo ambiental, debido a la ocurrencia de incendios, plagas o inundaciones, es un factor limitante en la decisión de plantar. Todos estos aspectos han sido analizado para vastas zonas con potencial forestal en Misiones (sector de *campos* al sur y *capueras* de antiguos cultivos sobre el corredor del Paraná en la Selva Paranaense); Corrientes y Entre Ríos (áreas de las regiones citadas, contiguas a los albardones del Río Uruguay o próximas a la Laguna Iberá), Santiago del Estero (vastas zonas degradadas del Chaco Seco en el centro y norte de la provincia); Buenos Aires (cordón de dunas costeras del sudeste, suelos medanosos del sudoeste; pastizales en las sierras de Tandil y Ventana); La Pampa (suelos medanosos al este y norte de la provincia con limitaciones para agricultura, Espinal al oeste) y en las provincias patagónicas de Neuquén, Río Negro y Chubut (estepas contiguas a los Bosques Patagónicos).

En todas estas regiones, y debido a las limitaciones mencionadas, existen tierras con posibilidades de implementación de proyectos forestales de secuestro de carbono. En general, en las áreas centrales del país y en la Patagonia, con ambientes dominantes

semiáridos, la ejecución de proyectos de carbono forestales, reemplazaría probablemente usos del suelo ganadero extensivos, basados en el aprovechamiento del pastizal natural. En cambio en áreas húmedas de la Región Pampeana o el NEA, los proyectos desplazarían actividades de ganadería en sitios no agrícolas, agricultura en suelos degradados, campos de arroz, etc. Además de los factores (limitantes) mencionados a la forestación actual, con o sin secuestro de carbono, la introducción de propuestas de plantación destinadas a este último fin dependerá fuertemente del precio que tomen los bonos de carbono en el futuro, que por el momento no parecen lo suficientemente atractivos como para generar iniciativas. Cabe señalar que los valores estimados en la actualidad para los CERs temporarios, oscilan entre la cuarta y la quinta parte del valor que tienen los CERs permanentes, es decir, los créditos por reducción de emisiones de proyectos de otros sectores de la economía, como los energéticos, los de transporte, etc.

5- Efectos ambientales originados en la sustitución de materiales y energía fósil por madera.

El uso de madera con fines estructurales puede tener efectos ambientales positivos, si se considera tanto la energía utilizada para producir los materiales, como el correspondiente carbono emitido en dicho proceso de construcción. Según Sutton (2003), el costo energético de la madera tratada destinada a la construcción es de 1.2 GJ/m3 y la emisión neta de Carbono es de - 228 kg/m3 (el signo negativo indica captura neta). En cambio el material de concreto (cemento) consume 7.3 GJ/m3 y la emisión de C es de 182 kg/m3 y en el caso del aluminio el costo energético de la producción de 1 m3 alcanza los 362 GJ mientras que la mismo volumen importa una emisión neta de 6325 Kg de Carbono. Por su parte Petersen y Solberg (2005) analizaron el ciclo de vida de distintos materiales comparados con la madera y concluyeron que el ahorro en emisiones derivado de la substitución de madera por acero resultaba en un rango de 36 -530 Kg CO2 equivalentes por m3 de madera utilizada. Sin embargo en todos estos casos es necesario considerar también impactos negativos derivados del tratamiento de la madera con preservantes, aunque sin duda alguna el resultado ambiental neto del uso de madera en lugar de otros materiales parece ser concluyente.

El aumento del precio del petróleo se origina esencialmente en su carácter de

recurso no renovable, conjuntamente con el incremento de consumo de la población humana. Su elevado valor actual, aunque ciertos efectos especulativos determinan incertidumbres acerca de su carácter permanente, ha movilizado la investigación hacia el desarrollo de alternativas sustentables. La producción de etanol a partir de caña de azúcar, el biodiesel elaborado a partir de oleaginosas como la soja, girasol, colza u otras especies, constituyen hoy en día una realidad creciente. Sin embargo las críticas a la producción de energía a partir de granos o cultivos agrícolas se han incrementado simultáneamente, por evidenciarse una suba en el precio de los alimentos que perjudica a los segmentos más pobres de la población. La competencia en los usos de la tierra entre la producción de energía y alimentos no parece ser fácil de salvar y muy pocos países tienen capacidad para expandir su base de tierras cultivables, y si lo hacen en muchos casos es a costa de deforestación con sus consecuencias negativas a nivel ambiental.

La eficiencia energética de la producción de etanol o biodiesel a partir de granos, es decir las calorías producidas por caloría invertida, constituye también una variable a tener en cuenta para tomar decisiones, y si bien depende en gran medida de la tecnología de cultivo utilizada, pareciera que el etanol a partir de maíz tendría un balance cercano a la unidad. En un artículo reciente de la revista The Economist (2007) se comparan distintas alternativas de producción de energía a partir de cultivos, presentándose a la celulosa como una de las más promisorias desde el punto de vista del balance energético. Las plantaciones forestales tendrían, según el mencionado artículo, un papel muy importante en la provisión de combustibles como el etanol, en un futuro no muy lejano. El proceso de transformación de celulosa a etanol, es ciertamente mas complejo que el de la sacarosa o el almidón, y por lo tanto presenta algunos interrogantes desde el punto de vista económico. Sin embargo un reciente informe del Instituto de Investigaciones de Nueva Zelanda, Scion, (2008), da por sentado que ese país, en el mediano plazo, será capaz de reemplazar todos sus combustibles fósiles utilizados para el transporte, por etanol generado a partir de la madera proveniente de plantaciones. Según el informe, le tecnología esta disponible, incluyendo las enzimas de origen industrial, para transformar la biomasa en etanol y hay abundancia de tierras marginales para la agricultura, pastizales poco productivos y /erosionables que podrían ser pasibles de plantación con este objetivo. De cualquier manera esta sustitución total de

combustibles fósiles se verificaría en el mediano plazo, por cuanto se estima que en unos 25 años los bosques plantados con fines bioenergéticos estarían en condiciones de suministrar toda la biomasa requerida. Entre tanto, la producción de etanol a partir de madera puede poner en valor residuos forestales que generalmente no se remuneran, como los provenientes de podas y raleos tempranos (en ausencia de una industria de tableros o de pulpa en las cercanías), y dar más tiempo para refinar la tecnología de producción y actualizar la infraestructura necesaria para este emprendimiento.

No todos los países tienen disponibles la superficie necesaria para realizar plantaciones a la escala que se necesita para producir una sustitución de esta magnitud, (en Nueva Zelanda se estima que se deben plantar una 4 millones de has con este fin), y aunque estén disponibles es necesario realizar una cuidadosa planificación a nivel regional para evitar daños ambientales originados en el reemplazo de pastizales por plantaciones forestales (Nosetto et al 2005, Nosetto el al 2008). Se estima que Argentina podría disponer de superficies con este fin repartidas en distintas partes de país, como la Patagonia y las amplias áreas que han sido deforestadas y convertidas a pastizales de dudosa productividad en el norte de país, podrían ser objeto de replantación, incluso con especies nativas, que proveerían la biomasa al mismo tiempo que se contribuye a la restauración de ecosistemas

6- Perspectivas futuras

En los próximos años comenzara a redefinirse el protocolo de Kyoto. Seguramente las nuevas negociaciones de basarán en el balance de éxitos y fracasos que presenta hasta el momento el mismo y permitirá que se presenten propuestas que le den mayor importancia a la forestación como mecanismo mitigador. Para ello es necesario por un lado agilizar y flexibilizar los procedimientos conducentes a la aprobación de proyectos MDL, incluyendo la disminución de los costos involucrados. Por otra parte el precio de la tonelada de CO2 secuestrada puede aumentar considerablemente si se reconoce la permanencia del carbono en estructuras de madera, dando lugar a los procedimientos de trazabilidad que por otra parte se llevan a cabo de manera rutinaria en los procedimientos tendientes a la certificación de manejo sustentable de bosques. De no incrementarse el precio del carbono secuestrado por plantaciones y si no se disminuyen los costos de transacción acompañando

una simplificación del proceso de desarrollo y aprobación de proyectos es muy posible que, al menos dentro del protocolo de Kyoto la forestación y reforestación carezcan de relevancia como mecanismo tendiente a la mitigación del cambio climático.

Sin embargo, el reconocimiento de que la forestación constituye el mecanismo mas barato y eficiente para el secuestro de carbono, a la vez que puede producir otros beneficios económicos y ambientales, permite ser optimistas determina en gran medida el interés de países desarrollados en fomentar estudios de línea base y adicionalidad de plantaciones forestales en varios países en desarrollo.

Por otro lado es evidente que el MDL, como mecanismo de mercado, favorece los emprendimientos de gran escala, relegando iniciativas que podrían llevar adelante pequeños y medianos emprendimientos forestales. El Estado tiene un amplio margen para intervenir, tanto en la colaboración con la elaboración de proyectos de pequeña escala como en las negociaciones internacionales llevando inquietudes de este tipo, sumadas a la necesidad de incluir la trazabilidad de los productos forestales, y otros mecanismos que favorezcan esta actividad para la cual el país presenta amplias ventajas, entre las cuales se encuentran amplias superficies aptas para proyectos de forestación y ritmos de crecimiento interesantes

Dentro de la Convención Marco de Cambio Climático se abren otras perspectivas para los bosques, a partir del reconocimiento de la importancia de las emisiones provenientes de la deforestación de los bosques nativos. Varios países han presentado la idea de remunerar de alguna manera el mantenimiento del enorme stock de carbono que presentan los bosques nativos en Argentina, a través de un mecanismo denominado —disminución de las emisiones debidas a la deforestación“. De aprobarse este mecanismo u otro similar podría tener efectos importantes en nuestro país frenando o disminuyendo la alarmante tasa de deforestación que se verifica actualmente, especialmente en la región de bosque Chaqueño y la transición hacia las Yungas.

También en este caso deberá fijar una posición, dada la importancia de los bosques nativos que posee y la superposición de la deforestación con regiones de pobreza y exclusión social.

El uso de madera proveniente de plantaciones como material estructural para

construcciones puede tener un efecto considerable en el ahorro de energía y la consiguiente disminución de gases efecto invernadero. Las plantaciones secuestran carbono y los productos de las mismas quedan fijados por mucho tiempo en edificios, casas, muebles y otras estructuras. Por otro lado se considera que un manejo sustentable de los bosques plantados fija todo el carbono que es liberado a partir de la combustión de etanol, leña, pellets o briquetas, u otro tipo de material bioenergético generado a partir de plantaciones forestales.

Como se desprende estas consideraciones, algunas tecnologías muy novedosas, y el estado embrionario de las discusiones que se producen en la agenda internacional indican que el camino a recorrer es amplio y otorgan a las plantaciones forestales un potencial enorme de contribuir a la mitigación del cambio climático puesto que se presentan tanto oportunidades como evidencias de dificultades que requieren de un esfuerzo continuado y trabajoso para superarlas. La planificación ecológica regional para distribuir los bosques plantados a una escala compatible con el efecto global que se pretende obtener en la mitigación ambiental y el manejo posterior de los bosques constituyen uno de los desafíos para que no se produzcan resultados negativos a escalas espaciales mas reducidas.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Corley, J.; P. Sackmann; V. Rusch; J. Bettinell; y J. Paritsis. 2006. Effects of pine silviculture on the ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) of the patagonian steppe. *Forest Ecology and Management* 222: 162-166.

Fernández, M.E.; Rusch, V.; J.E. Gyenge & T.M. Schlichter.2005 La heterogeneidad de la vegetación en plantaciones forestales en el N.O. de la Patagonia. En: M. Oesterheld; M. Aguiar; C. Ghersa; J. Paruelo (eds.) *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León*. Ed. C. F.A.U.B.A., Buenos Aires, Argentina, págs 413-430

Fernández, M.E.; J.E. Gyenge y T.M. Schlichter. 2006. Growth of the grass *Festuca pallescens* in silvopastoral systems in a semi-arid environment, Part 1: Positive balance between competition and facilitation. *Agroforestry Systems* 66 (3): 259-269

Fernández, M.E.; J.E. Gyenge y T.M. Schlichter. 2007. Balance of competitive and facilitative effects of exotic trees on a native Patagonian grass. P*lant Ecology* 188 (1): 67-76.

INTA, 1990. *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Instituto de Suelos. Coordinación General: Gustavo Moscatelli. 2 Tomos, 677 pp.

Jobbagy, E. M . Nosetto, J. Paruelo y G. Piñeiro, 2006. Las Forestaciones Rioplatenses y el Agua. *Ciencia Hoy*, Vol 16. No 25. pp 12-21.

Lantschner, M.V., V. Rusch y C. Peyrou. 2008. Bird Assemblages in Pine Plantations Replacing Native Ecosystems of N.W. Patagonia, Argentina. Biod*iversity and Conservation*, 17(5):969-989.

M. D. Nosetto, E. G. Jobbágy y J. M. Paruelo, 2005. Land use change and water losses: the case of grassland afforestation along a textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology*, 11, 1101-1117.

M. D.Nosetto, E. G. Jobbágy, T. Tóth y R.B. Jackson, 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biochemical Cycles*, Vol 22, 12 pp

Petersen, A. K. y B. Solberg: 2005. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of microlevel analyses from Norway and Sweden. Forest Policy and Economics, Vol 7, March 2005, 249 -259

Rusch, V; J. Corley; J. Gyenge, M. Sarasola. 2004. Sustentabilidad ambiental de las plantaciones de coníferas en la patagonia Norte: Suelo, Agua, Dinámica del Fuego y Plagas. Informe final PIAs 02/00. SAGPyA.

Rusch, V.; A. Vila; V. Lantschner. 2007. La conservación de la biodiversidad en ambientes bajo uso forestal. *Revista AFOA.* Año LXI (1-2):4-19.

SAGPyA 1995. *Guía Forestal Argentina*

SAGPyA 1999. *Argentina: Oportunidades de Inversion en Bosques Cultivados*

Scion, 2008. Bioenergy Options for New Zealand. www scionresearch.com

Sutton, W.R.J., 2003. Wood- The World‘s Most Important Raw Material. En*: Planted Forests. Experts Meeting*, New Zealand March 2003

The Economist, 2007. *Energy: Woodstock Revisited*. Marzo 2007

Tabla 1. Etapas de desarrollo de una forestación, actividades de manejo y emisiones asociadas.

ETAPA	ACTIVIDADES	FUENTES DE EMISIONES
PREPARACION DEL SITIO	-Desmalezado -Roturación -Combate de hormigas -Destronque, arrastre y quema de residuos vegetales -Quema de rastrojos -Alambrados -Nivelación mecánica -Apertura y consolidación de canales, caminos, cortafuegos -Construcción de obras de arte	-Muerte y descomposición de micro y macroorganismos descomponedores -Volatilización de pesticidas orgánicos -Descomposición vegetal acelerada -Extracción de postes y varillas del monte nativo -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal -Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para calefacción, suministro de energía o funcionamiento de maquinarias -Uso de cemento
PLANTACION – REPOSICIONES	-Transporte y viverización de plantines -Surcado u hoyado, tapado y plantación -Colocación de cebos tóxicos -Instalación de campamentos, suministro de energía, traslados del personal e insumos -En régimen de tallar: selección y eliminación de rebrotes -Fertilización	-Quema de combustibles fósiles para transporte -Oxidación de componentes orgánicos del suelo (viveros temporarios) -Erosión del suelo (viveros temporarios) -Descomposición vegetal acelerada -Volatilización de fertilizantes con producción de óxido nitroso, amoníaco, etc.
PODAS	-Corta de ramas -Amontonado y quema de residuos -Incorporación de residuos -Instalación de campamentos, provisión de energía, traslados del personal e insumos	-Descomposición vegetal acelerada -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal -Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias
RALEOS y COSECHA	-Corta de árboles -Extracción de rollizos o de árboles completos -Amontonado y quema de residuos -Incorporación de residuos -Instalación de campamentos, provisión de energía, traslados del personal e insumos	- Exportación de material leñoso -Descomposición vegetal acelerada -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal -Calcinación de suelos -Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias
PROTECCION	-Vigilancia prevención de incendios -Supresión mecánica de malezas -Aplicación de pesticidas y herbicidas -Reparación y mantenimiento de alambrados -Mantenimiento de caminos y cortafuegos	-Volatilización de pesticidas orgánicos -Descomposición vegetal acelerada -Extracción de postes y varillas del monte nativo -Oxidación de componentes orgánicos del suelo -Erosión del suelo -Combustión de materia orgánica vegetal -Quema de combustibles fósiles para provisión de calefacción, energía eléctrica o funcionamiento de maquinarias

Tabla 2. Superficie promocionada bajo el régimen actual de incentivos a a la forestación (Ley 25080) de la Secretaría de Agricultura, Ganaderia, Pesca y Alimentación de la Nación. Fuente: SAGPyA 2001 y Mapa de Eco-Regiones de la Argentina (SIAN). SD= sin información sobre la superficie promocionada en esas provincias.

REGION	ECOREGION (Mapa N° 1)	PROVINCIAS	AREA PROMOCIONADA
NOA	Monte de Sierras y Bolsones Bosque de las Yungas	Jujuy, Salta, Tucumán	2172000
	Monte de Sierras y Bolsones Chaco Seco	Catamarca, La Rioja	SD
NEA	Selva Paranaense	Misiones	1250000
	Campos y Malezales	Sur de Misiones y Nordeste de Corrientes	581000
	Delta e Islas del Paraná Esteros del Iberá	Noroeste de Corrientes	860000
	Espinal	Sudeste de Corrientes y Este de Entre Ríos	897000
	Delta e Islas del Paraná	Buenos Aires y Entre Ríos; Delta del Paraná y Uruguay	577000
CHACO	Chaco Seco	Córdoba	605000
	Chaco Seco y Chaco Húmedo	Formosa, Chaco, Santiago del Estero	SD
PAMPEANA	Chaco Húmedo y Pampa	Santa Fe; Sur y Costa del Paraná	767000
	Pampa	Buenos Aires; Norte	2000000
	Pampa	Buenos Aires, Sudeste y Sudoeste	2135000
CUYO	Monte de Llanuras y Mesetas	Mendoza	1489000
	Monte de Llanuras y Mesetas	San Juan, San Luis	SD
	Espinal		
PATAGONIA	Monte de Llanuras y Mesetas	Río Negro y Neuquén; Valle del R. Negro y Neuquén	511000
	Estepa Patagónica	Oeste de Neuquén, Río Negro y Chubut	3360000
	Estepa Patagónica	Santa Cruz y Tierra del Fuego	SD
		TOTAL	17204000

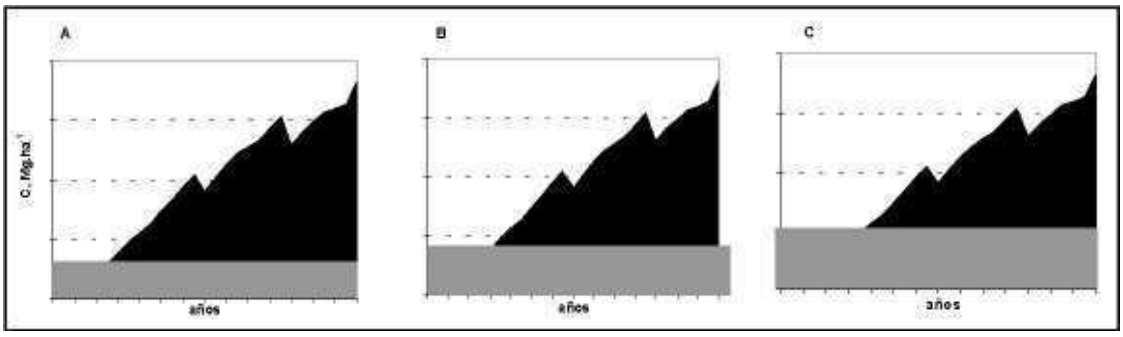


Fig. 1. Evolución del secuestro de carbono en plantaciones forestales de la línea base y de la adicionalidad bajo tres casos teóricos. En el caso (A), la línea base permanece constante, en (B) decrece, y en (C) aumenta a lo largo del tiempo. La línea superior refleja el carbono acumulado en la plantación, el área gris inferior corresponde a la línea base y la diferencia entre ambas, el área punteada, es la adicionalidad.

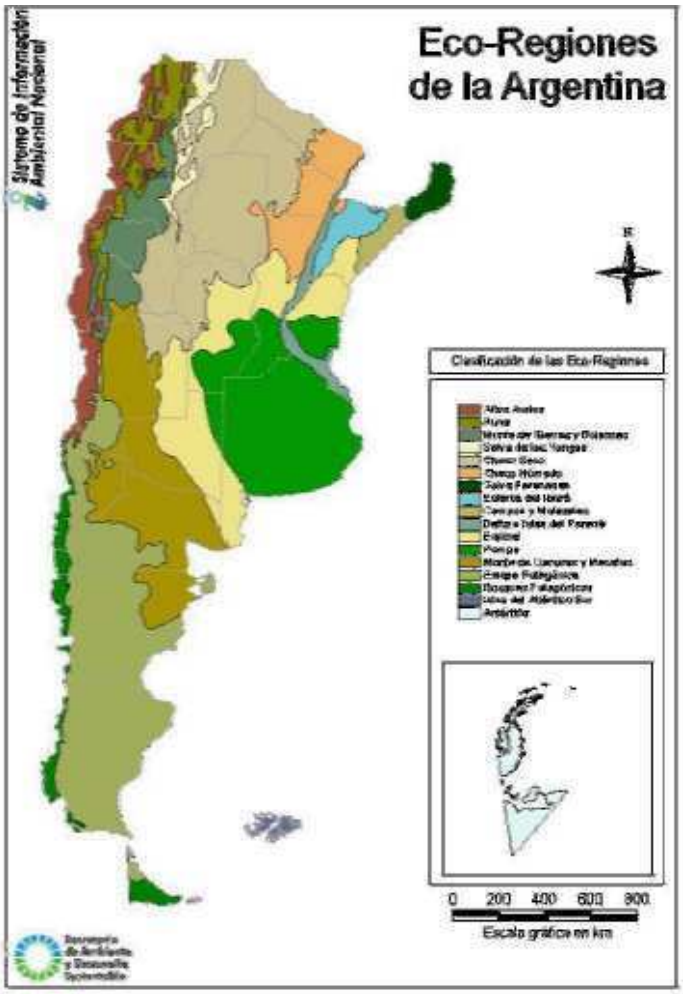


Figura 2. Mapa de Ecoregiones de la Argentina. Las regiones mas importantes para la plantación forestal en la actualidad se encuentran en la Selva Paranense, Campos y Malezales de Corrientes, el Espinal Entrerriano y, en menor medida el, ecotono entre Estepa Patagónica y los Bosques de esa región. En la región Pampeana, el Noroeste, en las yungas y en el Espinal de Córdoba también hay importantes masas forestales plantadas

Capítulo 6

Economía y Ambiente: Análisis de una alternativa de manejo agrícola para reducir costos ambientales y mejorar la posición de la cadena agroindustrial argentina.

Jorge Ingaramo

1. La economía y el ambiente

El ambiente cumple, por lo menos, cuatro funciones que son valoradas positivamente por la sociedad:

-forma parte de la función de producción de una gran cantidad de bienes,

-actúa como receptor de residuos y desechos de todas clases,

-proporciona bienes naturales (paisajes, parques, etc.) que forman parte de la función de utilidad de la sociedad y

-es un sistema integrado que proporciona los medios para sostener toda clase de vida (Pearce, 1976).

La economía es una disciplina muy desarrollada, cuenta con un extenso cuerpo teórico, un paradigma asociado con la forma en que funciona el mundo de la producción y las finanzas y ramas o áreas de estudios vinculadas con los sectores que la componen. Sus fundamentos se encuentran en la microeconomía: las teorías del consumidor, de la empresa y de su interacción en los mercados, que constituyen la base de casi todo el cuerpo teórico.

Uno de los campos de aplicación que se apoya en la micro, es la economía ambiental (EA). Sus contribuciones principales han sido el diseño de instrumentos de política ambiental (Recuadro Nº 1), la valoración no monetaria (y la estimación de demandas y ofertas) de bienes y servicios que no tienen mercado. Otras contribuciones son la adaptación de instrumentos desarrollados, para otras áreas, a cuestiones relativas al ambiente.

Para la mayoría de los bienes y servicios de una economía moderna, existen mercados que equiparan los costos del productor con las preferencias del consumidor, a fin de obtener precio y cantidad “de equilibrio”. Para el caso del ambiente, se dice que los mercados “fallan” en la asignación de la cantidad de contaminación socialmente deseable. La EA trata a la contaminación como una externalidad, o sea un costo que sufre la sociedad (o un grupo social) y que no está internalizado en la función de costos de quien la produjo.

Ahora bien, la contaminación no es el único problema ambiental. La sociedad asigna valores a la conservación de áreas naturales, paisajes, especies de flora y fauna silvestre y, en general, desea preservar el capital natural sin impedir el desarrollo económico (ver Capítulo 1). Si uno provisoriamente acepta como área de acción de la economía ambiental la reducción de la contaminación o el logro de la cantidad socialmente deseada de la misma, la discusión más relevante es en torno a los instrumentos, en cuyo diseño intervienen los fundamentos de la teoría microeconómica (ver Recuadro Nº 1)

En los últimos veinte años, se ha desarrollado otra disciplina, surgida de la ecología sistémica, denominada economía ecológica (EE), que también enfoca la toma de decisiones sociales sobre cuestiones ambientales. La primera (EA) involucraba predominantemente a economistas. La segunda a ecologistas.

Costanza (1991), la define como “un campo de estudio que se refiere a las relaciones entre los ecosistemas y los sistemas económicos en el sentido más amplio”. El énfasis recae en la salud del ecosistema a largo plazo. Los seres humanos somos “una” parte del mismo. Una diferencia entre los dos campos, se asocia a la medida del valor del ambiente. Los ecologistas adoptan un punto de vista bio-físico del valor, distinto del énfasis en la valoración individual de la economía convencional, fundada en precios de mercado. El énfasis está puesto en el contenido de energía que entra al ecosistema, en las necesidades de minimizar u optimizar su uso y de reducir la cantidad de residuos, o en el empleo de menos recursos o materias primas para conseguir los mismos o mejores bienes o servicios.

Por otra parte, en muchos textos se vincula el tratamiento de la economía ambiental con el de los recursos naturales. La economía de los recursos (ER) tiene que ver con la producción y el uso eficiente de recursos, tanto renovables como no renovables. Por lo general, la EA se relaciona con cuestiones estáticas de la asignación de recursos; “el tiempo no es un asunto relevante cuando se pretende decidir sobre la cantidad correcta de contaminación atmosférica en Londres” (Kolstad, 2001). Por su parte, la ER se relaciona con procesos dinámicos, siendo el tiempo la variable relevante y la que discrimina entre renovables y no renovables, o fundamenta su tipificación.

Dasgupta y Heal (1979) proveen un detalle de la teoría que explica el uso óptimo de los recursos agotables. Visintini (1996) computó para La Argentina la renta de los recursos

naturales no renovables (petróleo y gas) y su diferencia con la renta agraria (ricardiana) a los fines de la política pública.

Las tres ramas tratan temas y afines. La EA y la ER se enseñan juntas, ya que los modelos subyacentes son los de la microeconomía convencional, Como se verá, las tres aportan valiosos instrumentos de decisión. En los últimos diez años, tienden a mejores diálogos y convergencias más propicias.

Según Kolstad (2001), es preciso distinguir entre los Principios generales acerca de la importancia del ambiente en la vida humana y aquellos que se emplean para tomar decisiones acerca de proyectos o regulaciones específicas. Los primeros son a menudo más difíciles de adecuar a decisiones prácticas. Propone considerar tres filosofías básicas: el bio-centrismo (los humanos como otra especie más, que no tiene derechos especiales sobre los recursos), el antropocentrismo (el ambiente existe solamente para servir las necesidades materiales de los humanos) y la sustentabilidad (desalienta las “acciones que, si se continúan de manera indefinida, conducirán a la destrucción de los seres humanos y del ambiente”).

En base a estos principios, se deben tomar decisiones ambientales desde un conjunto de diferentes preferencias. Hay diversos mecanismos de elección social, sobre qué contaminación es tolerable y a qué costo (tópico de la EA).

El teorema de imposibilidad de Arrow afirma que no hay una manera perfecta de hacer elecciones sociales, dado un conjunto de supuestos razonables. Se requiere cierta flexibilidad, y que existan formas de hacer elecciones, tales como la votación por mayoría. Las limitantes (o críticas) son: las preferencias pueden ser maleables y las decisiones no incluyen horizontes de largo plazo ya que, aún en las votaciones por mayoría, las futuras generaciones no están representadas.

2. La convergencia entre la economía ambiental y la economía ecológica

A raíz de la preocupación internacional por Nuestro Futuro Común, surge el Desarrollo Sustentable (DS) como aspiración y propuesta, hacia finales de los ochentas del siglo pasado (ver Cap.1). Se ha enfocado la discusión en encontrar un balance entre las

aspiraciones de bienestar de la sociedad y la capacidad del ecosistema global para permanecer en el tiempo, pese a la dinámica de la actividad humana. En pos de dicho objetivo, los gobiernos regulan por de la política ambiental; el sector productivo se compromete con una actuación responsable, y los consumidores pretenden un consumo sustentable y mayor calidad ambiental.

Hay tres tendencias: en un extremo, el DS significa que el sistema económico se reproduzca y crezca a partir del mantenimiento y/o aumento del stock de capital agregado, generación tras generación. En el otro extremo, la visión eco-céntrica, que exige del sistema económico “hacer menos con menos”, no crecer en lo posible, y por el contrario, alcanzar un estado estacionario (steady-state economy), en tanto se reduce a cero la tasa de crecimiento de la población (Pearce y Turner, 1993). La posición intermedia es la del DS y la manera de alcanzarlo. Particularmente, la economía ambiental y la economía ecológica han mantenido un debate respecto del tema que permite advertir que existen puntos de encuentro entre estas dos disciplinas.

Lionel Robbins, en el debate sobre lo que se entendía en esa época por ciencia económica, observó que la economía no se debería enfocar en el bienestar material pues hay algo que está más allá del bienestar y determina el comportamiento del hombre: la escasez como problema. Una situación “económica” cumple cuatro condiciones: 1) que el ser humano tenga múltiples deseos o necesidades; 2) que estos se puedan ordenar según su prioridad; 3) que los medios para lograr satisfacerlos sean escasos y 4) que tengan usos alternativos o puedan reasignarse a los fines más diversos.

El autor de la síntesis neoclásica, Paul Samuelson, sostuvo: “la Economía es el estudio de la manera en que las sociedades utilizan los recursos escasos para producir mercancías valiosas y distribuirlas entre los diferentes individuos”.

A nivel agregado, las sociedades que se organizan en torno al mercado, permiten que este, en conjunto con el gobierno, regulen el sistema de producción y consumo. Se necesita de factores de producción para generar la oferta. Estos, que originariamente se denominaron tierra, trabajo y capital, con el desarrollo de las teorías del crecimiento, se redujeron a distintas formas de capital: Capital natural, capital humano y capital hecho por el hombre, respectivamente.

Así concebidos, los factores tienen la capacidad de sustituirse los unos a los otros. La sustitución de capital humano por capital hecho por el hombre fue (simplificando) la revolución industrial. Si se define al capital como un producto anterior de la economía, que no ha sido consumido sino que se reserva para ser usado en el futuro, como factor de producción para generar un nuevo valor; y al capital natural, como aquellos bienes de la naturaleza, que pueden ser usados también en el futuro, como factores de producción para generar un nuevo valor, entonces (a nivel agregado) hay sustitución cuando, en un nuevo producto, el capital natural se convierte en un nuevo capital fabricado. En otras palabras, si un recurso natural en lugar de que su valor (medido en dinero) se dedique al consumo, se usa para la inversión (creación de capital hecho por el hombre) disminuye la cantidad de capital natural y aumenta la de capital hecho por el hombre. El principio de escasez subyace a la elección, en este caso social, para su asignación (actual e inter-temporal).

Se ha definido la economía ambiental como la aplicación de los principios económicos al estudio de la gestión de los recursos ambientales. De manera alternativa, se puede definir en virtud de su propósito, esto es, como la rama de la economía que se dedica al estudio de cómo y por qué las decisiones de individuos repercuten en el entorno natural y cómo se puede actuar sobre ellos para respetar a los humanos y al ecosistema (Field, 1996).

A su vez, la economía ecológica no está subordinada ni a la economía ni a la ecología; es una síntesis integradora de ambas (Constanza, 1994), es decir, es transdisciplinaria y holística pues “trata de abarcar las relaciones entre los sistemas ecológicos y económicos en el más amplio sentido sin pretender acotar rígidamente el campo de investigación”. Su origen se debe a la aspiración por un Desarrollo Sostenible Global (Jiménez 1996) impulsado por los lineamientos del Informe Brundland (1987), tal lo expuesto en el Capítulo I.

De la comparación entre los orígenes de ambas disciplinas, surge:

1) Su razón de ser es distinta. Para la EA, el fin último es normalizar las relaciones entre el sistema de producción-consumo y el ecosistema, de manera que el primero pueda seguir usando los bienes y servicios que proporciona el segundo, generación tras generación. La razón de ser de la EE, es establecer cuáles son las claves

que impiden el logro de la sustentabilidad planetaria, incluida la especie humana.

2) Para ambas, la economía convencional (neoclásica) es útil. El instrumental neoclásico es suficiente como herramienta analítica, para la EA, mientras para la EE, debe ser complementado por el saber de la ecología.

¿Por qué ambas, con diferentes acentos, requieren de los instrumentos de la economía?. La respuesta es: ambas comparten un mismo problema de estudio y, de manera menos precisa, los puntos de referencia para elaborar, cada una, sus propuestas individuales.

En lo que hace al enfoque de la sostenibilidad, esta puede ser de dos tipos según su intensidad:

1) Para la Sostenibilidad Débil, el ambiente es otra forma de capital, por lo que la sostenibilidad es dejar a las siguientes generaciones un stock no menor al actual (regla de capital constante) o sea que es sostenible una situación, en el futuro, con menos capital natural, siempre que esta pérdida fuera reinvertida en otras formas de capital (Pierce y Turner 1993).

Dos supuestos soportan esta tesis: existe perfecta o por lo menos alta sustituibilidad entre factores, que dejan de ser tales, para pasar a ser formas distintas de capital y, en segundo lugar, la tecnología es determinante. En efecto, el análisis que se hace de la regla de capital constante y en general de la Sostenibilidad Débil, es esencialmente estático por lo que Solow y Hartwick (ver Pearce y Atkinson, 1992) argumentan que hay que considerar que es posible una variación en el stock de capital, en función de las tasas de cambio técnico y de crecimiento de la población.

2) Por su parte, la Sostenibilidad Fuerte se alcanza si la tasa de depreciación del capital natural es menor o igual a cero, es decir que la pérdida de valor del capital natural en el tiempo sea negativa o que el stock de capital natural no se deprecie, sino que se acreciente o por lo menos se mantenga constante.

Para esta regla conservacionista, entre los activos del capital natural, algunos, como el aire, el agua, la capa de ozono, etc., en tanto constituyen el soporte para la vida, son de protección imperativa, ya que no tienen sustitutos (Pearce y Turner 1993).

Para Constanza, la sostenibilidad es una relación entre los dinámicos sistemas económicos humanos y los sistemas ecológicos más grandes, también dinámicos pero normalmente más lentos para cambiar (Constanza 1994). Es posible entonces, que la vida humana continúe indefinidamente, que los individuos prosperen y que las culturas humanas se desarrollen, siempre que los efectos de las actividades humanas permanezcan dentro de ciertos límites para no destruir la diversidad, la complejidad y la función del sistema ecológico que da soporte a la vida.

Constanza diferencia entre lo que no es sostenibilidad, lo que puede ser sostenibilidad y lo que realmente es. El crecimiento económico se define como aumento de cantidades (el Recuadro Nº 2 presenta la vinculación entre ambiente y crecimiento económico, vista desde diversos enfoques). Dado que existe complementariedad entre el capital natural y el capital hecho por el hombre, el crecimiento no puede ser infinito en un planeta finito, por tanto el crecimiento sostenible sería una imposibilidad. Pero el desarrollo económico significa una mejora en la "calidad de vida" que no necesariamente provoca un aumento en la cantidad de recursos que se consumen. En consecuencia, puede ser sostenible. Sin embargo, la verdadera sostenibilidad es "la cantidad de consumo que se puede mantener indefinidamente sin degradar las existencias de capital, incluyendo las existencias de capital natural" (Constanza 1994).

Para lograr la sostenibilidad, se deben cumplir con "criterios de afinidad" con el ecosistema global, antes de pretender la mejora en los indicadores cuantitativos. Riechman y Daly (Riechman, 1995) intentaron coordinar la máquina económica con la reacción del ecosistema global. Sus principios se basan en respetar la capacidad de renovación de recursos y la capacidad de asimilación de residuos o emisiones, además de reducir al mínimo la generación de daños, mediante precaución o adecuada selección de tecnologías.

Adicionalmente, Constanza (1994) propone: dadas la incertidumbre y la alta probabilidad de una mala predicción, lo más prudente es asumir que el planeta cuenta con un nivel de existencias de capital natural inferior a los niveles sostenibles e invertir en su mejora.

Como se ve, existe una versión común (a la EA y a la EE) de la regla que conduce

al Desarrollo Sostenible y esta es la versión fuerte de sostenibilidad. La diferencia surge en la causa de la actual situación de insostenibilidad planetaria: para la EA, es un problema de asignación eficiente de recursos; para la EE, se debe a la escala del sistema económico en relación al ecosistema global que permite al primero funcionar.

Para la economía ambiental, la mala asignación ocurre por las fallas de información; es decir, si los derechos de propiedad estuvieran claros, no habría externalidades, o los perjudicados serían resarcidos por los causantes del daño. Si se les pudiera definir un precio, esto es, se pudiera cuantificar el valor de todos los recursos, los individuos y los diseñadores de política podrían tomar decisiones de uso, con criterios de racionalidad económica (maximizadora de satisfacciones o beneficios) la cual, según la economía convencional, implica eficiencia.

Para la EE, el mundo ha pasado de estar relativamente vacío a estar relativamente lleno en un período de tiempo corto (70 años). Según mediciones de 1986, se estaba usando cerca del 40% de la producción neta primaria de la fotosíntesis de las plantas (Daly, 1994) y se ha superado la capacidad de carga del planeta. Si el sistema económico sigue con su crecimiento exponencial, al final de los próximos 70 años, se estaría alcanzando un "lleno" para el cual la sostenibilidad de todas las especies estaría seriamente amenazada. En consecuencia, si no se frena la escala del sistema económico, el simple mejoramiento en la eficiencia de la asignación sólo permitiría repartir mejor cantidades cada vez más pequeñas de recursos.

Constanza (1994) postula que el uso de incentivos incorpore la incertidumbre sobre los impactos ambientales y se complemente con los criterios sociológicos, culturales y políticos de aceptación o rechazo de las instituciones. Se deben apoyar instrumentos como los sistemas flexibles de seguros ambientales o sea formas de pago por contaminación, que tienen dos componentes: básico, por cargos directos por daños ambientales y variable, o sea un bono de seguridad sobre la estimación actual de los mayores daños potenciales, que puedan darse en el futuro. El dinero recaudado, por medio del bono de seguridad, se depositaría en cuentas, con una tasa de interés. Después del proyecto o ejercicio productivo, se reembolsaría si el empresario demuestra que no generó impacto o no lo va a crear. Con ello, se pasa del principio antiguo "el que contamina paga" a "el que contamina, también

paga por la incertidumbre".

La disponibilidad de información, la capacidad de predicción y las actitudes más o menos preventivas todavía marcan diferencias (cada vez menores) entre los enfoques teóricos. En la práctica, hay avances como el "acuerdo" para el combate al Cambio Climático (Recuadro Nº 3) donde Economía y Ecología aprenden haciendo, juntas.

3. Servicios ecológicos ambientales.

"Cuentan que Maurice Chevalier, cuando un joven periodista le preguntó sobre lo que suponía llegar a viejo, respondió: "hombre, es una lata. Las piernas flaquean, duelen las articulaciones, te quedas dormido en las reuniones, la memoria ya no acompaña. Pero bueno, a la postre, tampoco está tan mal … si tiene usted en cuenta la alternativa". Probablemente algo parecido pueda decirse a favor de las técnicas que el análisis económico ha propuesto para la valoración de intangibles en general y de la calidad ambiental en particular" (Azqueta Oyarzum, 1994).

Los servicios ambientales consisten en flujos materiales, energía, información y calidad ambiental, desde el stock de capital natural que, combinado con el capital industrial y el capital humano producen bienestar. El stock de capital global toma diferentes formas, la mayoría identificables en formas físicas, incluyendo capital natural (árboles, atmósfera, minerales, etc.), capital industrial (máquinas y edificios) y capital humano (Costanza et al, 1997).

Es poco probable lograr el bienestar humano sin poner en consideración el capital natural, dado que los otros capitales requieren de él para su construcción. Los servicios ambientales contribuyen al bienestar humano pero no están completamente comprendidos dentro de los mercados, ni adecuadamente cuantificados en términos comparables con los servicios económicos y con el capital industrial. Por el momento, tienen escaso peso en decisiones políticas (Costanza et al, 1998). A menudo la importancia de los servicios del ecosistema es apreciada sólo después de que ellos se pierden.

Los bienes y servicios ecológicos sólo podrán sustentar la calidad de vida humana si el planeta mantiene activa una variedad de sistemas biológicos, en buena condición de

funcionamiento. Pero es una utopía intentar conservar todas las áreas naturales del mundo, por lo cual una buena estrategia es determinar y conservar aquellas que presentan un elevado valor, en la provisión de servicios ecológicos esenciales para el bienestar humano.

El desafío de valorar económicamente los servicios de los ecosistemas es complejo y multidimensional. Para esto, hay que valorar sus funciones, aunque hay ecosistemas difícilmente evaluables. Los procesos de deterioro ambiental, en un sentido económico estricto, sólo son computados en la medida que entran en la esfera del valor, es decir cuando están incluidos en los procesos de producción.

Según el Millennium Ecosystem Assessment (2003), los servicios del ecosistema son: a) de provisión (ej. alimentos), tangibles y con valor de mercado; b) de regulación (ej. purificación del agua), intangible y sin valor de mercado; c) culturales (ej. patrimonio histórico), relativamente tangibles y valuables y d) de soporte (ej. conservación de la biodiversidad), intangibles y esenciales para el sustento del resto de los servicios ecológicos.

Carreño y Viglizo (INTA, 2007), empleando los datos de Costanza et al (1997) ofrecen para La Argentina, una “primera aproximación para detectar las eco-regiones con mayor oferta relativa de servicios ecológicos. Las eco-regiones correspondientes a los Esteros de Iberá y Delta e islas de la Mesopotamia, son las que acreditan la mayor oferta relativa de servicios ecológicos dentro del territorio argentino”. Ello se explica por la elevada proporción del espacio territorial cubierto por humedales proveedores de servicios esenciales, como el control de inundaciones, la purificación de aguas, la protección de tormentas, el ciclado de nutrientes, etc. Si a los dos sistemas mencionados se agregan Las Yungas, la Selva Paranaense y el Bosque Andino-patagónico, se obtiene el 87% de aporte de los servicios ecológicos producidos por el país.

Morello y Pengue (2001) escribieron: “Si Oscar Wilde alguna vez dijo que *los economistas saben el precio de todas las cosas, mientras no saben el valor de la mayoría de ellas*, podemos argumentar que los ecólogos han conocido funciones eco-sistémicas de gran importancia, pero raramente habían pensado en cómo darle precio a esas funciones o servicios ambientales”.

En este sentido, Azqueta Oyarzun (1994) provee una presentación detallada de los

métodos para la valoración económica de la calidad ambiental, desde el enfoque microeconómico de la llamada Economía del Bienestar. Los diferencia entre métodos directos e indirectos. Éstos analizan la conducta de la persona e infieren la valoración implícita que le otorgan al ambiente. Dichos métodos son: a) de los costos evitados o inducidos; b) del costo del viaje y c) de los precios hedónicos. Aplicando los directos o hipotéticos, es posible que la persona revele de manera directa esta valoración a través de encuestas, votaciones, etc. El llamado método de la valoración contingente, ofrece diversas modalidades, que también son ampliamente discutidas en Gilpin (2003).

Sería largo exponer virtudes y defectos de dichas valoraciones, que se usan habitualmente en los casos prácticos de diseño de políticas. Los economistas, de alguna manera, han tratado de responder a la ironía de Oscar Wilde.

4. El análisis Costo Efectividad de la Siembra Directa y la Labranza Mínima.

El objetivo de la presente sección es realizar un Análisis de Costo-Efectividad (ACE) de determinadas buenas prácticas agrícolas que, al facilitar la captura de carbono y reducir la combustión de los fósiles, a) combaten el Cambio Climático (CC) y b) permiten derivar recomendaciones que estimulen la generalización de las mediciones de impacto y las propuestas de corrección.

Para ello, se parte de que existen medidas win-win (todos ganan), es decir que permiten obtener beneficios económicos privados y, a la vez, mejorar la calidad ambiental (el ejemplo que se usará para esta exposición, se basa en la literatura disponible sobre reducción en las emisiones de CO2). Cálculos efectuados por diversos actores, e incluso por el propio IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), reconocen que es posible reducir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) sin incurrir en costos económicos netos (Bruce et al, 1996).

La mayor parte de los problemas ambientales (incluido el CC) tiene características que invalidan su tratamiento “clásico”, por parte de la ciencia. Incertidumbre, problemas de medición, valores sociales en disputa, conviven con autoridades no siempre informadas y, a veces, con la necesidad de actuar de manera urgente o preventiva, sin contar con los estudios que habitualmente impondría un riguroso tratamiento científico. Es habitual un

enfoque tendiente al logro de “soluciones de compromiso” (trade-off) ante la ausencia de soluciones óptimas y, más aún, consensuadas.

Por ejemplo, para el CC, está probado el aumento de temperatura en el pasado. También el aumento en las emisiones de GEI, por el hombre. Pero los márgenes en las estimaciones son muy amplios, así como la evolución de la temperatura del planeta en el futuro. También hay incertidumbre acerca de los costos económicos. Sin embargo, la demora en tomar medidas podría tener graves consecuencias (ejemplo: pérdida irreversible de diversidad biológica).

Otra característica de los problemas ambientales es el largo plazo involucrado y la necesidad de una tasa de descuento para demostrar beneficios y costos económicos, presentes y futuros. Por ejemplo, la “inercia” del sistema climático supone que las reducciones en las emisiones sólo tendrán efecto a largo plazo. O sea, es preciso contrastar costos presentes con beneficios diferidos.

Finalmente, hay problemas de carácter global (el CC es el principal de ellos). No importa dónde se emita, siempre se afectará al planeta, aunque los impactos puedan diferenciarse por regiones: en el caso del CC las naciones próximas al Ecuador o aquellas con costas de baja altitud están más expuestas, en tanto los países más ricos (responsables de la mayoría de las emisiones) es posible que vean aumentar sus cosechas, de allí los menores incentivos para luchar contra el CC. Esto incentiva la conducta del free-rider, es decir no tomar medidas esperando que las tomen el resto de los países.

Las metodologías ABC y ACE

La técnica del Análisis Beneficio Costo (ABC) ha sido empleada tanto por el sector privado como por los gobiernos para:

-aceptar o rechazar un solo proyecto, programa o política.
-seleccionar uno entre diferentes proyectos alternativos discretos.
-elegir un número menor entre una cantidad mayor de proyectos alternativos discretos.
-aceptar o rechazar diferentes proyectos.
-elegir entre diversos proyectos mutuamente excluyentes.

-ayudar a decidir si un programa o política propuesto se debe llevar a cabo, o si hay que continuar o discontinuar algún programa existente.

-ayudar a elegir la escala y oportunidad adecuadas de un proyecto, programa o política.

Por lo general, y de preferencia, este método se aplica antes de llevar a cabo el proyecto (ex ante), pero también se puede utilizar una vez concluido (ex post). Como el futuro es, de alguna forma impredecible, muchas veces es posible que difieran las expectativas y los resultados (Gilpin, 2003).

La Relación Costo Beneficio se calcula descontando beneficios y costos brutos, a lo largo de la vida del proyecto, mediante una tasa de interés seleccionada. La diferencia (entre beneficios y costos) representa el Valor Presente de los Beneficios Netos. La relación Costo Beneficio permite seleccionar proyectos y priorizarlos.

En algunos casos, es posible que el Análisis Costo-Beneficio sea inviable o inadecuado; al menos en la práctica. Es factible que ciertos objetivos tengan aprobación privada o política mientras que los beneficios, aunque evidentes y reales, no se puedan medir con facilidad en términos monetarios o de valor.

Sin embargo, aunque existe la posibilidad de que el Análisis Costo-Beneficio presente ciertas lagunas (complejidad), su pariente, el Análisis Costo-Efectividad (ACE) sigue teniendo relevancia. En el Capítulo XIII del Assessment Report 2007 del IPCC se lo reconoce como uno de los cuatro principales “Criterios de evaluación de los instrumentos de política ambiental” reportados en la literatura, que son:

-Efectividad ambiental: el grado en el cual una política logra su cometido o consigue resultados positivos;

-Aspectos distributivos: las incidencias o aspectos distributivos de una política, que pueden incluir la equidad, definida ampliamente;

-Factibilidad institucional: el grado en el cual un instrumento de política puede ser visto como legítimo, conseguir aceptación, ser adoptado e implementado y

-Costo-Efectividad: el grado en el cual una política puede alcanzar sus objetivos al mínimo costo para la sociedad.

Si se consideran los beneficios reales, o supuestos, de un proyecto, el ACE tiene

que ver con el enfoque del menor costo, en relación con el objetivo; implica el análisis de los costos de métodos alternativos para llevar a cabo el (los) objetivo(s), con miras a conseguir el máximo valor por dólar (o peso) invertido. Evidentemente, el ACE no se puede utilizar para comparar proyectos con diferentes objetivos.

Está claro que hay muchas dificultades para consensos metodológicos a nivel global, por eso, mientras tanto, la mayoría de los modelos utilizados para estimar costos y beneficios de reducciones en la emisión de GEI no respetan el carácter integrado o global del fenómeno. Así, pueden distinguirse entre ellos dos tipos: los top-down (macroeconómicos) y los botton-up (microeconómicos).

Los modelos top-down son de dos tipos: a) de equilibrio parcial, como por ejemplo los que evalúan la interacción entre energía y economía y el costo de alternativas energéticas y b) de equilibrio general, como es el caso del modelo GREEN de la OCDE (1992).

Por lo general, se basan en la economía tradicional y respetan sus supuestos, sobre todo los que devienen en el concepto de que las mejoras en la eficiencia no inducida por los precios suelen ser despreciables. Un ejemplo de estos modelos es el aplicado por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático), que estimó que para mantener las emisiones de cada país en los niveles de 1990 habría un costo de 0,2-0,7% del Producto Mundial en 2010 y que el mismo crecería al 3-7%, a fines del siglo XXI.

Los críticos de estos modelos aducen que redundan en apoyos a la opción de “esperar y ver”, hipótesis que estaría subyacente en el Protocolo de Kyoto. Combatir el CC sería muy caro para la sociedad. Se presume que las mejoras tecnológicas darían soluciones técnicas, alternativas a aquellas medidas de reducción de emisiones, que los políticos no se atreven a tomar.

Los modelos de equilibrio parcial describen respuestas a cambios en los precios energéticos y no fueron creados específicamente (aunque son útiles) para evaluar costos de reducción de emisiones. De modo que, dada la incertidumbre, las dificultades para repartir el costo de la reducción de emisiones entre los países y los altos riesgos asociados al CC, es más eficiente adoptar prácticas que consigan el objetivo a un menor costo social. De allí la

creciente importancia de los modelos botton-up.

En estos modelos, hay un gran potencial para reducir costos ambientales, introduciendo tecnologías eficientes o aumentando su utilización ya que el costo económico es bajo y en algunos casos negativo. El conjunto de tecnologías disponible pueden dar lugar a curvas de costos que podrían ordenarse para efectuar una comparación directa de Costo Efectividad (CE).

El funcionamiento de estos modelos asume que la demanda de un servicio o la oferta de un bien se pueden generar de diversas maneras, con un costo distinto en función de la disponibilidad de recursos. Luego, es posible construir un sistema que priorice medidas o técnicas en función de su CE. Por ejemplo, es posible construir curvas de oferta, con el costo por tonelada de CO2 ahorrada o capturada, por período de tiempo. Así, análisis efectuados en diversos países indican que se pueden lograr reducciones de 13 a 35% en las emisiones de GEI a ningún costo o a uno muy bajo, para la sociedad (Wilson & Swisher, 1993). Veamos, sólo a título de ejemplo, un cambio tecnológico que, instrumentado a nivel micro o de empresa, ayuda al combate del CC, entre otros beneficios ambientales.

La agricultura conservacionista: siembra directa y mínima labranza.

La agricultura convencional influye negativamente en la emisión de GEI. Es responsable de un tercio de las mismas, principalmente CO_2, aunque también metano y óxido nitroso. El CO_2 es requerido por las plantas para realizar la fotosíntesis, transformándolo en carbono (secuestro) y reduciendo el efecto invernadero.

Puede decirse que aparte de las emisiones por uso de combustibles fósiles, el arado y la labranza convencional liberan CO_2 del suelo. Diversos ensayos demuestran que el arado de vertedera provoca una pérdida de CO_2, 14 veces mayor que en un suelo no labrado, en tanto que las herramientas de agricultura de conservación dan lugar a una pérdida sólo 4 veces mayor. (González Sánchez, Martínez Videla, Federación Europea de Agricultura de Conservación, 2002).

La fertilidad de los suelos agrícolas ha descendido 13% entre 1945 y 1990, según FAO (2002). Las actividades agropecuarias emiten CO_2 a través de la combustión de fósiles, la descomposición de materia orgánica y la quema de rastrojos. Por eso, la

agricultura conservacionista se presenta como alternativa, no sólo para reducir las emisiones sino para incrementar el contenido de carbono en los suelos. De aumentar un grado centígrado, en los próximos 30 años, la temperatura media del planeta (podría subir hasta 6 grados centígrados en 2100) se incrementará la evaporación de agua de las plantas y el suelo y habrá un efecto directo sobre plagas y enfermedades de la fauna y flora terrestre. Por ello, es crucial el papel del carbono orgánico en el suelo como indicador de calidad ambiental.

Según González Sánchez (2002), para la UE (Unión Europea) de los 15, en el caso de que el 70% de la superficie agrícola (M has 81,7) estuviese bajo siembra directa y mínimo laboreo, la reducciones de emisiones de CO_2 serían algo más de M tn 135 por año.

Por su parte, la materia orgánica es fundamental para la actividad biológica del suelo, es su fuente de energía. La cantidad, diversidad y actividad de la fauna del suelo y los microorganismos está directamente relacionada con la materia orgánica. Los suelos actúan como un sumidero de carbono y cumplen un papel fundamental en su ciclo global. Diversos autores acuerdan que la agricultura convencional causa efectos negativos por lo cual, amén de la calidad de las aguas y la erosión de los suelos, en los últimos veinte años, se han perdido entre el 30 y el 50% del carbono presente en aquellos. El empleo de técnicas conservacionistas permite mayor contenido en materia orgánica y suelos más fértiles. El estudio “Captura de carbono por el suelo para un mejor manejo de la tierra”, de FAO (2002), revela que estas prácticas podrían contribuir a fijar, en los próximos veinticinco años, el 10% del carbono producido por el hombre y al mismo tiempo mejorar el suelo y la calidad de los cultivos.

Agricultura de Conservación en La Argentina: ejemplo de Costo Efectividad.

Como ejemplo de aplicación, para el caso argentino, usaremos los mismos parámetros (indicadores) del estudio de 2002 para la UE (fundados en la bibliografía provista por González Sánchez y Martín Videla, 2002). Seguramente son diferentes en nuestro caso, pero no se dispone a la fecha de evaluaciones similares.

Se estudiarán cuatro cultivos, con tres tipos de labranza, aunque para distintas zonas

o regiones de La Argentina.

-Girasol sudeste de Bs.As. (18 qq por hectárea), labranza convencional. También centro-sud de Córdoba (18 qq en SD) y oeste de Bs.As. (22 qq en mínima labranza -ML-).

-Maíz zona núcleo (85 qq en convencional y en directa) y oeste de Bs. As. (75 qq en ML)

-Soja de primera zona núcleo (32 qq convencional y directa) y oeste de Bs. As. (30 qq en ML)

-Trigo zona núcleo (35 qq convencional y directa) y oeste de Bs. As. (30 qq en ML).

-La reducción de la descomposición de carbono gracias a la siembra directa (SD) es de 2.850 kg/ha, mientras que la reducción de emisiones de CO_2 por consumo de combustible fósil es de 133,9 kg/ha.
-La reducción de la descomposición de carbono gracias a la mínima labranza es de 1850 kg/ha de CO_2 y el ahorro de combustible es de 60,6 kg/ha de CO2.

- Empleando el precio promedio esperado para 2008 en el mercado mundial de Derechos de Emisión, donde se preve transar M U$S 92, por un volumen de M tn 4200 de CO_2, se valuará a U$S 22 por tn equivalente de CO_2 por hectárea, siguiendo los indicadores del trabajo para la UE citado más arriba.

-Para efectuar el ACE, en este caso de cultivos anuales, se puede evitar la consideración de la tasa de descuento y sólo emplear el costo directo (implantación y protección) por hectárea, en dólares, a marzo de 2008, como indicador del costo de cada tecnología, según diversas revistas de lectura habitual por los productores agrícolas argentinos. Se calcularán beneficios netos de la tecnología ambientalmente sustentable, por tonelada, ya que se emplearon zonas y rendimientos por hectárea distintos.

Resultados de Costo Efectividad.

Se llega a tres resultados evidentes:

a) para soja y girasol, ambas tecnologías (SD y ML) son modelos win-win, ya que el costo directo por tonelada desciende al aplicar tecnología conservacionista. También descienden al aplicar ML para trigo y maíz, por lo que se obtiene el mismo

resultado;

b) sólo tiene sentido aplicar ACE al comparar maíz y trigo en SD versus convencional. En el primer caso, el beneficio por tonelada es 5,5 veces el aumento del costo directo y en el segundo es 5,3 veces.

c) una variante del ACE consiste en sumar, para los modelos win-win en sus seis alternativas (las cuatro de ML, la de SD para girasol y soja de primera) el ahorro de costo directo por tonelada y el "ingreso" proveniente de la captura de carbono, valuado a U$S 22, como ya se dijo. Los resultados son: -para girasol: en SD U$S 62,4 / tn y en ML U$S 47 / tn; -para soja de primera: en SD U$S 23 /tn y en ML U$S 20/tn; -para maíz: en ML U$S 9 / tn y -para trigo U$S 21 / tn.

Aunque pueda estar sobreestimado el efecto de captura de carbono, puede decirse que el valor del beneficio social de aplicar siembra directa a, digamos, M has 16, rondaría los M U$S 1050 por año. La Autoridad de Aplicación del Protocolo de Kyoto no admite estas prácticas como MDL (ver Recuadro Nº 3), por lo cual los productores argentinos hacen una contribución win-win, sólo obteniendo eficiencia privada y sin la posibilidad de emitir Bonos de Carbono.

Discusión del ejemplo. Críticas.

El método ACE (en un modelo botton-up) no está exento de críticas: a) se suele suponer un "escenario base" que puede estar expuesto a "subjetividades", para demostrar un mayor impacto; b) se suponen costos constantes y que no hay avance tecnológico o economías de escala (por ejemplo en medidas de eficiencia energética) y por último, c) al derivar una curva "agregada" de costos, se asume una posible sustitución tecnológica durante un período de tiempo determinado, sin perturbar ni el precio, ni la oferta y la demanda de las tecnologías elegidas.

Pese a estas críticas, el carácter local y de corto plazo y la posibilidad de sumar infinitas decisiones individuales (dado el bajo costo de ciertos cambios en tecnología) han facilitado intervenciones muy importantes. Por ejemplo, para el caso del CC, pese a que nadie sabe si el mercado asegurará la tasa de sustitución necesaria de las tecnologías

contaminantes (haría falta cuidadosa intervención pública) el mismo Panel reconoció la existencia de reducción de emisiones, mediante medidas sin costo (Bruce et al, 1996). Para que una intervención pública optimice el empleo de tecnologías limpias (mediante etiquetado, eco-tasas, estímulos a la investigación y desarrollo tecnológico, etc.) deben aplicar modelos de planificación, derivados del ACE de distintas medidas puntuales, que faciliten priorizar los presupuestos, tanto para la política de investigación y desarrollo como para la promoción del empleo de tecnologías limpias.

Para describir mejor cada situación determinada, se pueden emplear diversos modelos, aunque no debería extraerse como conclusión que unos son mejores que otros. Los modelos botton-up subestiman los impactos entre sectores y consideran casi exclusivamente la eficiencia de quienes toman decisiones, basados en medidas de ACE. Por su parte, los top-down están demasiado condicionados por las instituciones (empresas y gobiernos determinantes de los precios y costos históricos) y por ende tienden a subestimar los beneficios potenciales de una reforma global. Los primeros sirven de justificación a quienes defienden “empezar por casa”, asumiendo que la responsabilidad, por ejemplo del CC, la tienen los países desarrollados. Los segundos son empleados por quienes desean “compartir la carga” de, por ejemplo, la reducción de CC entre las diversas naciones.

Para el caso del sector agropecuario y agroindustrial argentino, que puede generar proyectos para certificar reducción de emisiones en el marco del Protocolo de Kyoto, siempre está disponible (no para la SD y la ML) la opción del comercio de emisiones en el marco del MDL (el modelo top-down del Panel Intergubernamental de Cambio Climático está subyacente) y la participación en los mercados de Bonos de Carbono. No obstante, la disponibilidad de tecnologías costo efectivas, de singular importancia en un contexto de preservación (por ejemplo del recurso suelo), permite la difusión y promoción del cambio tecnológico, alentando tanto una posición preventiva como una actividad de remediación, que pueden estar fundadas en modelos botton-up de masiva aplicación (SD y ML), gracias al estímulo de su bajo costo.

También suelen relativizarse los resultados obtenidos mediante el ACE (en el caso de menor consumo de energía fósil), empleando lo que se conoce como la Paradoja de

Jevons, que fuera enunciada en 1865: las mejoras tecnológicas en la eficiencia de un proceso sólo se traducen en ahorros efectivos, si el "sistema" no evoluciona en el tiempo. Sin embargo, las sociedades humanas, como sistemas complejos que son, se adaptan rápidamente a los cambios por lo que, en respuesta a las mejoras en eficiencia, siguen aumentos en los niveles de actividad. Así, las sociedades que, por ejemplo, experimentan una intensidad energética decreciente en el tiempo, ven aumentado su nivel de actividad y de consumo energético.

Una medida de eficiencia, que puede tender hacia la sustentabilidad, al implicar una menor entropía (derroche de energía), puede inducir cambios en el sistema que reduzcan su adaptabilidad (por ejemplo, aumentando el nivel de actividad) y provocar un aumento de la entropía del mismo: así, parte del crecimiento económico ha conducido a la construcción de viviendas más grandes, electrodomésticos más versátiles, iluminación más intensa y otros cambios en la tecnología del consumo, que desaprovechan la energía. Esto ilustra la paradoja de mirar sólo a la eficiencia tecnológica, sin cambios de actitud: uno puede llegar a ser más eficiente energéticamente, consumiendo más energía (Norgard, 1993).

Por ende, restringirse sólo a la eficiencia, es un enfoque insuficiente. Si sólo se estimula la introducción de dichas medidas sin algún tipo de desincentivo al aumento de la actividad económica que se podría derivar (si los individuos gastan menos en combustibles y electricidad, pueden gastar más en otros bienes que, también, pueden influir en las emisiones), el logro de ganancias en eficiencia se puede invertir sólo en el crecimiento del sistema, sin mejorar su adaptabilidad a los recursos naturales disponibles.

La conservación ambiental también es un problema del cambio de actividades, en otras palabras, de re-asignación. Podemos, entonces, expandir las actividades que no tienen impactos ambientales o tienen pequeños impactos pero, el cambio hacia la sustentabilidad ambiental será consecuencia de adaptar no tanto el número de individuos de nuestra especie, como el tipo de actividades que realizamos, a la capacidad de carga del planeta. Se trataría de analizar las medidas, en diferentes escalas temporales, para ver en cada momento actividades ganadoras y perdedoras, ampliando de esta forma la información disponible para el tomador de decisiones que, mediante un análisis multi-criterio (si bien más amplio y dinámico que el ABC, debería estar bien fundado), podría seleccionar las mejores opciones

y los impactos más favorables.

5. El papel del Foro de la Cadena Agroindustrial.

El Foro puede promover o contribuir a la formación y aplicación de criterios de desarrollo sustentable, la difusión entre los actores sociales de sus principios, la formación de redes institucionales para el intercambio de conocimientos, el estímulo al cambio en las actitudes, tanto a nivel local como regional o global, para ser ejemplo de responsabilidad ambiental, en su carácter de institución abierta, crítica y generadora de propuestas y para el fomento del trabajo interdisciplinario en las temáticas de la sostenibilidad.

Además, el Foro podría estimular de la relación entre educación y sostenibilidad, a todos los niveles, desde las escuelas primarias y técnicas hasta los niveles terciarios.

Este libro permite identificar aproximaciones sobre el tema de la producción agropecuaria y agroindustrial y la aplicación del concepto de desarrollo sostenible. Dichas aproximaciones son útiles para luego definir, dado un conjunto de criterios provisto por una investigación sistemática y continuada en el tiempo, la/s tendencia/s en sostenibilidad más compatibles con lo que la institución considere deba difundirse en la sociedad toda, incluyendo por supuesto, a quienes toman decisiones en materia económica y productiva.

==========

Recuadro Nº 1 Instrumentos económicos de Política Ambiental

Desde el punto de vista económico, la contaminación es considerada como una externalidad negativa, pues la actividad de una persona (o empresa) repercute en el bienestar de otra, sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido (Azqueta Oyarzun, 1994). Se trata de efectos de la producción o consumo de bienes, sobre consumidores o productores que no participan en su compra o venta; por ello el beneficio o perjuicio no se refleja en precios de mercado. No se logra eficiencia, ya que los precios dejan de dar las señales orientadoras.

Utilizando impuestos iguales a los costos marginales de la contaminación, para el nivel óptimo (o socialmente deseable) de la producción, se internaliza dicho costo y el tributo pasa a ser un costo privado. La externalidad implica un costo, toda vez que el agente

económico que la sufre no es compensado por el que la genera. Cuando se produce una compensación, beneficio privado y social se igualan.

Para Field (1996), existen tres tipos de enfoques o estrategias políticas (descentralizadas, de regulación directa e incentivos) para atenuar la discrepancia entre el nivel actual de calidad ambiental y el deseado.

-Enfoques descentralizados: permiten que los individuos involucrados en un caso de contaminación ambiental lo solucionen por sí mismos, ya sea mediante negociaciones informales o a través de una interacción más formal (como la Justicia). Se supone que las empresas directamente involucradas son aquellas que pueden saber más (información) acerca de los daños y sus costos de reducción y, en consecuencia, obtienen el balance correcto entre éstos. Entre dichas políticas se encuentran las leyes de responsabilidad, los derechos de propiedad y la persuasión moral.

-Estrategias de regulación directa y control o de políticas públicas: las autoridades, con el fin de generar un comportamiento considerado socialmente deseable, legislan y utilizan mecanismos, para lograr que las personas o empresas reduzcan el daño o lo internalicen en sus costos. En el caso de políticas ambientales, las estrategias consisten en promover diversos tipos de estándares para generar un mejoramiento en la calidad ambiental, y/o hacer ilegal determinada actividad contaminante (Field, 1996; Pearce y Turner, 1995). El problema de los estándares radica en que su resultado será económicamente eficiente, sólo en forma “accidental”, pues es poco probable (una vez más, información) que se asegure el nivel “óptimo” de externalidad. Demanda contar con algún tipo de control, que supervise la actividad del contaminador y también de capacidad por parte de la autoridad, para imponer sanciones (Pearce y Turner, 1995).

-Estrategias basadas en incentivos: están diseñados para que las actividades ambientales nocivas sean menos atractivas por resultar más costosas; se trata de convertir las externalidades en costos internos. El enfoque de incentivos se basa en dos tipos de políticas para evaluar y valorar la contaminación ambiental (Field, 1996): A) impuestos y subsidios y B) reembolso de depósitos y permisos de emisión negociables.

A1) Impuestos: Si las empresas o los consumidores no pagan el costo completo

de la contaminación causada por los productos que hacen o compran, al elevar el de las actividades nocivas por medio de impuestos, se les obliga a pagar el costo total. El impuesto requerido se calcula dándole un valor a la externalidad, al conocer la relación entre la demanda del bien y su precio. Se fijaría, entonces, a la tasa que reduzca suficientemente la demanda y así alcance la meta ambiental establecida.

A2) Subsidios: la autoridad pública paga a determinado contaminador cierta cantidad por cada unidad (tonelada, metro cúbico, etc.) de emisiones que reduzca, a partir de un nivel de referencia. Suele haber dificultades al establecer los niveles de base, a partir de los cuales se van a medir las reducciones. El subsidio actúa como una compensación por reducir emisiones y revela el costo de oportunidad de la remediación o la prevención del daño ambiental.

B1) Reembolso de depósitos: es la combinación de un impuesto y un subsidio. Los fondos para pagar el subsidio por abstenerse de producir bienes, en forma ambientalmente perjudicial, se obtienen de aplicar impuestos en el momento de su compra. Este sistema es útil cuando se compran y/o utilizan productos de amplia distribución, principalmente cuando la disposición o uso final es difícil o imposible de monitorear, como es el caso de los combustibles fósiles (Field, 1996).

B2) Permisos de emisión negociables: se trata de una política de enfoque descentralizado. Son contratos pactados en el mercado de capitales, que otorgan al poseedor el derecho a emitir determinada cantidad de contaminantes a la atmósfera. Conceptualmente, por ejemplo, un programa de derechos negociables para CO2, asignaría inicialmente (distribuiría según niveles de daño) alguna cantidad de permisos y posteriormente el mercado (formado por los contaminadores) permitiría que los emisores de CO2 los usen o realicen transacciones de compra-venta o intercambio de los mismos. Este instrumento regula la cantidad deseada de emisiones de la sustancia contaminante y deja a la interacción entre la oferta y la demanda, la definición del precio temporal de un permiso. La disposición a pagar será tanto mayor cuanto más cueste el cambio hacia la tecnología limpia. Así, la oferta de permisos es fija, aunque puede reducirse (si se retiran del mercado o son comprados y acumulados por los que enfrentan costos más altos) o aumentar, si se colocan más permisos en el mercado. De esta forma, la autoridad reguladora

sólo permite un determinado nivel de emisiones contaminantes y concede permisos o certificados de emisión por esa cantidad (Pearce y Turner, 1995).

Si la cantidad de permisos en circulación es constante, las emisiones también lo serán, sin cumplir con el principal objetivo del sistema, que es disminuir la cantidad de emisiones. El éxito dependerá a) de limitar la circulación de la cantidad de permisos, a través de reglas claras y sencillas y b) facilitar que el intercambio proceda. Un programa de este tipo presenta dificultades cuando hay pocos compradores y vendedores, haciendo que las presiones competitivas sean débiles: un pequeño grupo puede estar en capacidad de concentrar poder de mercado, fijando precios diferentes a distintos demandantes o utilizando el control de permisos de emisión para dominar su industria (caso de oligopolio).

En Acquatella (2001, págs. 16 y 17) se encuentra una taxonomía completa de los instrumentos de política aplicables a la gestión ambiental, que incluyen las regulaciones y sanciones gubernamentales, la legislación donde se prevé la responsabilidad por daños al ambiente y tres categorías de instrumentos económicos: a) cargos, impuestos y tarifas más incentivos y financiamiento; b) creación de mercados –permisos transables- y c) intervención a nivel de demanda final, o sea “regulación informal”, que consiste, entre otras, en la promoción de los programas de etiquetado y certificaciones, legislación para la publicación, por la empresa, de datos acerca de su generación de desechos, la publicación de listas de empresas contaminantes y la educación sobre programas de re-uso y reciclaje.

==========

Recuadro Nº 2 Crecimiento económico y ambiente.

Durante algunos años, se consideró que la limitación en los recursos naturales del planeta, impediría el crecimiento económico permanente. Ahora bien, dichos límites al crecimiento pueden no sólo venir de la disponibilidad finita de materias primas, sino de la también limitada capacidad de la naturaleza para actuar como sumidero de los residuos producidos por la actividad económica. De hecho, los costos por tratamiento o eliminación de residuos reducen también la rentabilidad de los Proyectos.

La vinculación entre crecimiento y ambiente fue tratada en abundante literatura: en

los años `60s y `70s, se analizaba la capacidad de extracción de recursos naturales, el agotamiento de los mismos y su impacto sobre el crecimiento. En los 90s se argumentó que la relación entre crecimiento y deterioro de ambiente tenía forma de U invertida: en las primeras etapas del desarrollo, había pérdidas en calidad ambiental y a partir de un umbral de ingreso por habitante, dichas pérdidas adoptaban una tendencia decreciente. Por su similitud con la Curva de Kuztnets, que relaciona desarrollo económico y distribución del ingreso, se la ha llamado Curva de Kuztnets Ambiental. La original supone que, al comienzo, el crecimiento redistribuye a favor de los ricos, hasta un momento en se vuelve más y más equitativo.

Tres son los canales en que se da la implicancia:

a) Efecto escala: predomina en los primeros estadios de desarrollo, ya que se usan más energía y materias primas y se producen más emisiones contaminantes.

b) Efecto composición: con el desarrollo y la mayor participación de los servicios en el Producto, se da cierta sustitución de insumos hacia otros menos contaminantes. También hay un efecto composición en los cambios en la demanda que, naturalmente, van en el mismo sentido.

c) Efecto tecnología: con el crecimiento, se invierte más en investigación y desarrollo y es posible reducir emisiones. Aquí se considera, además, la transferencia de las industrias sucias a países de menor grado de desarrollo relativo.

Como la demanda de calidad ambiental tiene una elasticidad-ingreso mayor que 1, a partir de cierto nivel de ingresos, se da una creciente demanda por productos y tecnologías verdes, que favorece la profundización del tramo decreciente de la Curva.

Si se aceptan los supuestos subyacentes, no habría necesidad de aplicar una política de cuidado ambiental. Bastaría con promover el crecimiento. Ahora bien, la evidencia empírica no ha sido concluyente. Así, por ejemplo, la U invertida no se da para todas las contaminaciones posibles. Además, las relaciones no son estables, según se trate de distintas formas de polución. Por otra parte, las diferencias y especificidades de cada modelo de desarrollo, sobre todo en sus etapas iniciales (muchas veces, puesta en valor de recursos naturales), no permiten conocer a priori cuál es el nivel de ingreso (y menos en

situaciones de distribución inequitativa) a partir del cual se deteriora menos el ambiente. Finalmente, en la mayor parte de los estudios se trataban los niveles de emisión (periódicos) y no la concentración de efectos contaminantes, lo que dificultó las comparaciones en el tiempo.

Otro modelo, que asigna un rol decisivo al progreso tecnológico exógeno, es el llamado Modelo de Solow. Dicho progreso se diferencia entre el orientado a la producción de bienes y servicios y el destinado a la reducción de emisiones. Por el primero, y con el efecto-escala inicial del crecimiento, se aumentan las emisiones. Para alcanzar el desarrollo sostenible, la intensidad del segundo (cambio reductor de emisiones) es fundamental. Sólo entonces sería posible convalidar la pendiente decreciente de la Curva.

La reducción de emisiones es una actividad económica en sí, que emplea recursos escasos. Por ella, se genera un efecto tecnológico, que reduce las emisiones por unidad de producto, pero a la vez puede bajar la tasa de crecimiento de éste y por ende la contaminación total.

Los modelos mencionados no consideran el “proceso de optimización”. Este comportamiento decisorio es crucial para reducir los costos de las políticas y para el establecimiento, tanto del principio subyacente (mínimo costo), como del horizonte temporal de las regulaciones. El progreso tecnológico puede reducir o mantener bajos los costos de las políticas y facilitar el cumplimiento de las normas. Exceptuando al Modelo de Solow, hay costos en el crecimiento, derivados de la regulación, que se atenúan al optimizarse los resultados de aquella. Por otra parte, luego de un primer deterioro del ambiente, puede haber recuperación o remediación. Enfoques dinámicos, enriquecen el análisis.

Puede decirse que, en la literatura económica, no existe consenso respecto del vínculo entre crecimiento y ambiente. Las dispares mediciones de los tres efectos (canales) mencionados así como la influencia del cambio tecnológico a lo largo del tiempo y en términos de capacidad de remediación, impiden que haya reglas y acentúan la importancia de la información y los diagnósticos, previos al diseño de políticas ambientales.

==========

Recuadro Nº 3 El combate al cambio climático: aplicación de teoría económica.

Desde el punto de vista económico, la intensificación del efecto invernadero, que deriva de la actividad del hombre o, más precisamente, de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), es una externalidad negativa de la producción, consumo o transporte.

Field (1996) menciona que la cantidad de emisiones de CO2 (dióxido de carbono) depende de la interacción de cuatro factores.

a) La población: si las demás condiciones permanecen constantes, mayores poblaciones utilizarán más energía y emitirán mayores cantidades de este contaminante;

b) El Producto por habitante, que corresponde a una medición de la producción doméstica de bienes y servicios. Ninguno de estos dos factores se puede considerar como candidato para reducir, a corto plazo, las emisiones de CO2. Es baja la probabilidad de que medidas deliberadas de control de la población sean efectivas. Difícilmente, un país esté dispuesto a reducir su desarrollo económico;

c) La eficiencia energética: es decir la cantidad de energía utilizada por unidad monetaria (cualquiera que sea) de producción. El aspecto clave, en este caso, consiste en desplazarse hacia tecnologías de producción, distribución y consumo que exijan cantidades de energía relativamente menores, y

d) la cantidad de CO2 producido por unidad de energía utilizada: distintas formas de energía implican, distinta producción (por unidad de uso) de estos contaminantes, por lo cual las reducciones se pueden lograr al desplazarse hacia combustibles menos intensivos en su contenido.

Field reduce las emisiones de GEI a combustibles y energía. Pero hay otras actividades que impactan en el CC; como se verá más adelante (desde la forestal al manejo de desechos).

¿Cómo corregir esta situación y alcanzar el nivel de producción deseado?

Antes de determinar qué medidas emplear, habría que analizar cuál es esa

situación deseada, es decir la asignación eficiente. Para ello, debemos considerar que la actividad generadora de la externalidad (negativa) conlleva un costo o daño, que podríamos denominar social (perjuicio o des-utilidad para terceros derivados de los efectos externos negativos, que no tienen un reflejo en los precios).

De la confrontación posterior con la demanda en el mercado, obtendríamos un precio que reflejaría todos los costos y beneficios marginales de la actividad y la cantidad eficiente a producir, que será lógicamente inferior (en caso de evitar el daño social). En definitiva, se trataría de internalizar los daños sociales o externalidades.

Pigou justifica, ante la presencia de externalidades, la intervención del Estado. Sería necesario que el Gobierno intervenga cobrando impuestos (ante externalidades negativas) o subsidios (positivas). Con ello, se desincentivaría/incentivaría la actividad generadora de la externalidad. En caso de conocer los costos privados, la demanda y la valoración de los efectos externos, se podría fijar el impuesto/subsidio necesario para alcanzar la asignación eficiente. También plantea la posibilidad de la regulación (normas) como medida para eliminar o desincentivar los efectos externos negativos.

Según Coase, la intervención no siempre es necesaria. Sería posible la consecución de una “externalidad óptima” y de un máximo nivel de bienestar a través de la “negociación” contaminador-afectados. Para ello, es necesario: a) abundante información; b) bajos o nulos costos de transacción y c) derechos de propiedad (de las distintas partes) bien asignados, para que puedan defenderse, en la Justicia.

Si se conocen los valores de lo que se consigue y de lo que se deja de conseguir en cada caso, se podrá elegir la distribución de “derechos de propiedad” que maximice el valor de la producción. Se trata de, por ejemplo, asegurar el derecho de los perdedores de río abajo, ante el productor de efluentes perjudiciales, río arriba.

Para la resolución del problema, Coase rechaza la solución de Pigou, porque considera que el para corregir las externalidades es el mercado. A partir de esta idea, expone lo que se ha dado en llamar el Teorema de Coase: dada una dotación inicial de derechos y en ausencia de costos de transacción, las dos partes implicadas resolverán el problema planteado por la externalidad, a través de la mera negociación, no siendo

necesaria por tanto la intervención del Estado (instrumentos pigouvianos)

La solución que se derivaría de esta negociación sería un óptimo de Pareto, (el bienestar de uno de los agentes no podría mejorar sin que empeorara el de otro). La consideración de costos de transacción, implicaría la necesidad de internalizarlos. Si aquellos fueran prohibitivos, no se consideraría la posibilidad de negociar.

Mediante la definición correcta de derechos de propiedad (ante la "posibilidad de generar externalidades") y la creación de un mercado de estos derechos, para su negociación, se llegan a internalizar los efectos "externos". Se obtiene, así, una valoración que se refleja en el precio final del bien, sin la necesidad de la intervención del Gobierno.

Se obtendría una valoración de la externalidad, que pasaría a reflejarse en el precio final del bien, sin la necesidad de la intervención del Gobierno.

El Teorema de Coase constituye una base teórica sobre la que se asienta, hoy en día, el "comercio de emisiones" en la UE, en el marco del Protocolo de Kyoto. Con la limitación comprometida de las emisiones de GEI, el establecimiento de unos derechos de emisión y la creación de un mercado para su negociación, se fomentan la valoración de la externalidad negativa que suponen y su internalización, al tener que añadir las empresas emisoras, a los costos de producción, el precio por emitir (sea éste menor producción y/o mayor uso de insumos y tecnologías menos contaminantes). Asimismo, se facilita que las reducciones en las emisiones de GEI se realicen donde resulten más eficientes (se reducirán donde menor costo económico conlleven).

Los tres mecanismos innovadores que introdujo el Protocolo, son los siguientes:

-El Comercio de Derechos de Emisión: se trata de un instrumento que posibilita que un país que emite menos de lo que le está permitido, venda la parte de su cuota de emisión no usada a un segundo país, de forma que éste pueda emitir la suma de su cuota original más la comprada al primero (se aplica a aquellos "con compromiso" de reducir emisiones o sea los países del Anexo I).

-La Aplicación Conjunta: permite a las Partes del Anexo I del protocolo de Kyoto recibir créditos denominados Unidades de Reducción de Emisiones, por reducciones de emisiones obtenidas a través de proyectos "en otros" países del Anexo I.

-El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL): permite a las Partes del Anexo I recibir créditos o Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) por disminución de emisiones logradas a través de proyectos radicados en países en desarrollo (sin "compromiso").

La Argentina no tiene compromisos de reducción (no es Anexo I) y por ende sólo puede participar en el MDL.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Acquatella, Jean. 2001. Aplicación de instrumentos económicos en la gestión ambiental en América Latina y el Caribe: desafíos y factores condicionantes. CEPAL-ECLAC. Naciones Unidas.

Azqueta Oyarzun, D. 1994. Valoración Económica de la Realidad Ambiental. McGraw Hill.

Bruce et al**.** 1996. Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change. IPCC, CUP, Cambridge.

Carnevale, N., Albanesi R., Campagna D., Larripa M y Pece M. 2006. Valor Económico de los Servicios Ambientales: ¿eje de una Política Agro-Abiental para el País?. Universidad Nacional de Rosario.

Carreño, L. y Viglizzo, E. 2007. Provisión de servicios ecológicos y gestión de los ambientes rurales en Argentina. INTA.

Costanza, R. 1994. La economía ecológica de la Sostenibilidad. Desarrollo Económico Sostenible Goodland, Ediciones Uniandes.

Costanza, R. (ed.). 1991. Ecological Economics: The Science and Management and Sustainability. Columbia University Press, Nueva York.

Costanza R., d´Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., O´Neil R., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P.and van den Belt, M. 1997. The value of the worldécosystem services and natural capital. Nature 387: 253-260.

Daly, H. 1994. De la economía del mundo vacío a un mundo lleno. Desarrollo Económico Sostenible, Ediciones Uniandes.

Dasgupta y Heal. 1979**.** Economic Theory and Exhaustrible Resources, Cambridge University Press.

FAO. 2002. Captura de carbono por el suelo para un mejor manejo de la tierra.

Field Barry, C. 1996. Economía y medio ambiente. Santafé de Bogotá. McGraw Hill.

Gilpin, A. 2003. Economía Ambiental.Un análisis crítico. Alfaomega.

González Sánchez E. J. y Martínez Videla, A. 2002. Agricultura de conservación, la agricultura del carbono .Vida Rural 1.

Jevons, F. 1990. Greenhouse – A paradox. Search 21.5.

Jiménez Herrero, L. M. 1996. Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica. Editorial Síntesis, Madrid.

Jiménez Herrero, L. M. 1996. Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica, Editorial Síntesis, Madrid.

Kolstad, Ch. D. 2001. Economía Ambiental. Oxford University Press.

Millennium Ecosystem Assessment. 2003. Ecosystems and Human Well-Being. A Framework for Assessment. Island Press, Washington (DC).

Millennium Ecosystem Assessment .2005. Living beyond Our Means: Natural Assets and Human Well-Being. Island Press, Washington (DC).

Morello J. y Pengue W. 2001. Oportunidades de la articulación entre la economía y ecología. Primera Reunión Binacional de Ecología. XX Reunión Argentina de Ecología. X Reunión de la Sociedad de Ecología de Chile, San Carlos de Bariloche, Río Negro, República Argentina.

Norgard, J.S. 1993. Energía para el Confort personal. Opciones eficaces y límites en AEDENAT: Energía para el mañana, Madrid.

OECD. 1992. The Economic costs of reducing CO2 emissions. Economic Studies, Special Issue Nº 19, winter, Paris.

Pearce D. 1976. Environmental Economics, Longman, Londres.

Pearce, D. y Atkinson, G. 1992. Are national economies sustainable?. Version on line http://www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/gec/gec_1992_11.pdf

Pearce, D.W. y Turner, R.K. 1995. Economía de los recursos naturales y del medio ambiente, Editorial Celeste, Madrid, Colegio de Economistas de Madrid.

Pearce D. y Turner R. K. 1993. Environmental economics: an elementary introduction. Baltimore The Johns Hopkins.

Pindyck, R.S., Rubinfeld, D.L. y Beker, V.A. 2000. Microeconomía, Prentice Hall.

Ramos Martín, J. 1999. Análisis de Costo-Efectividad de la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el Área Metropolitana de Barcelona.Universidad Autónoma de Barcelona.

Riechman, J. 1995. Desarrollo sostenible. La lucha por la interpretación. En De la economía a la ecología. Autores varios, Ed. Trotta.

Rojo-Martínez G.E., Jasso-Mata J. y Velásquez-Martínez A. 2006. Instrumentos Políticos y Económicos Relacionados con el Cambio Climático y la Contaminación Ambiental. Ra Ximhai, V2, N.1: 173-185.

Visintini, A. 1990. La renta de los recursos naturales en Argentina. Estudios, IEERAL, Año XIII, Nº 55.

Wilson D. y Swisher, J. 1993 Exploring the gap. Top-down versus Bottom-up analyses of the Cost of mitigating global warming. Energy Policy.

Capítulo 7

Impacto de la agricultura sobre la extensión, distribución y biodiversidad de ecosistemas naturales

Marcelo Cabido

1. Descripción del problema. El Panorama Global

Una de las manifestaciones más evidentes de las actividades humanas sobre la biosfera es la conversión de paisajes naturales en ecosistemas intensamente manejados para agricultura, pasturas y plantaciones forestales. (Ramankutty et al. 2002, Foley et al. 2005, Millennium Ecosystem Assessment 2005). La expansión e intensificación de la agricultura durante los últimos 50 años no registra precedentes en la historia de la humanidad.

Entre 1960 y 2000 la población mundial se duplicó hasta alcanzar los 6.000 millones de habitantes y la economía global creció 6 veces (FAO 2001); paralelamente, la demanda de alimentos y de servicios ecosistémicos aumentó en forma significativa. En ese contexto, la agricultura realizó un aporte fundamental satisfaciendo las demandas de alimento de una población en rápido crecimiento (Tilman et al. 2001; Cassman y Wood 2005).

Aun cuando la agricultura moderna ha sido exitosa en incrementar la producción de alimentos y fibras, los cambios en el uso de la tierra han desencadenado problemas ambientales a diferentes escalas (DeFries et al. 2004). La agricultura es responsable de gran parte de los impactos sobre los ecosistemas no agrícolas y acuáticos del mundo relacionados al uso de la tierra (Tilman 1999, Tilman et al 2001, Green et al. 2005, Millennium Ecosystem Assessment 2005). Algunas de sus consecuencias son la pérdida de hábitats, la alteración de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la disminución de su capacidad para continuar proveyendo servicios (regulación del clima, calidad del aire y del agua, fertilidad de los suelos, etc.) y recursos valiosos (alimento, fibras, agua dulce, productos forestales, etc.; Foley et al. 2005, Millenium Ecosystem Assessment 2005). Cerca del 40 % de la superficie libre de hielos del planeta está actualmente bajo agricultura, producto de la conversión de bosques, sabanas y pastizales naturales (Foley et al. 2005). Casi la mitad de las áreas cultivadas actualmente en el mundo pueden estar experimentando algún grado de erosión, pérdida de fertilidad o sobrepastoreo (Wood et al 2000). Los cambios en el uso de la tierra pueden también alterar los climas regionales a través de

diversos efectos como cambios en la radiación y en el balance de agua (IPCC 2000, Heck et al. 2001, Negri et al 2004). Por ejemplo, la deforestación de bosques tropicales a gran escala puede originar un clima más cálido y seco, mientras el clareo de bosques templados y boreales puede producir un enfriamiento por aumento del albedo (Foley et al. 2005). Investigaciones realizadas en las últimas décadas han aportado evidencias del efecto de los cambios en la cobertura del territorio sobre el incremento del carbono atmosférico y, consecuentemente, sobre el sistema climático global (Wang et al. 2006). Tan solo el reemplazo de bosques tropicales por cultivos es responsable del 12 al 26% del total de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera (DeFries y Achard 2002, Houghton 2003) (Fig. 1). Además, aproximadamente entre el 20 y el 30% del total de las aguas superficiales disponibles en el planeta es utilizada para irrigar cultivos (Cassman y Wood 2005), y la fijación de nitrógeno a través de la producción de fertilizantes actualmente iguala, o hasta excede, la fijación biológica natural (Galloway et al. 1995, Smil 1999).

2. Dimensión/extensión del problema

En las últimas décadas ha surgido un renovado interés por conocer la distribución y extensión de la superficie de tierras cultivadas y las tasas de conversión de ecosistemas naturales en agricultura (Ramankutty et al. 2008). Este interés se relaciona con la preocupación de la comunidad científica internacional por la evaluación y estimación de las regiones del mundo que están sufriendo los cambios más significativos en el uso del suelo y en los tipos de cobertura (Lepers et al. 2005, Hurtt et al. 2006), como así también en el ciclo global del carbono (Leckie et al 2002, McGuire et al. 2005).

Hasta el advenimiento de información satelital, los datos sobre la extensión y distribución de la agricultura provenían principalmente de inventarios y censos realizados en el terreno. Sin embargo, algunos estudios han advertido que las estadísticas oficiales de algunos lugares del mundo (por ej., China), pueden reportar tan sólo el 50% de las áreas destinadas efectivamente a la agricultura (Seto et al. 2000). Nuevas aproximaciones basadas en la combinación de datos de cobertura derivados de satélites y de inventarios (censos) en el terreno, han producido información más confiable sobre la superficie ocupada por cultivos y pasturas y su distribución a escala continental a global (Wang et al. 2006, Ramankutty et al. 2008).

La extensión actual de la superficie bajo agricultura es un fenómeno nuevo en la superficie de la Tierra. Richards (1990) sostiene que ha habido una mayor expansión de la agricultura desde la Segunda Guerra Mundial hasta la actualidad, que durante todo el siglo XVIII y la primera mitad del XIX. Norse et al. (1992) reportan que entre 1882 y 1991 la superficie cultivada en el Mundo aumentó el 74 % (de 0,86 a 1,5 billones de ha), mientras los bosques se redujeron en un 21 % (de 5,2 a 4,1 billones de ha). Algo más tarde, Turner et al. (1993) señalaron que hacia 1990, 1.400 a 1.500 millones de hectáreas (área cercana al tamaño de Sudamérica) estaban bajo alguna forma de agricultura, mientras cerca de 7.000 millones de hectáreas (cerca de la mitad de la superficie terrestre) estaban cubiertas por pasturas y pastizales. Ramankutty y Foley (1999) reconstruyeron una base de datos histórica (de 1700 a 1992) de la superficie bajo agricultura para todo el mundo, indicando que los cultivos se expandieron desde cerca de 1.200 millones de hectáreas en 1900 a 1.800 millones de hectáreas (12% de la superficie terrestre libre de hielos) en 1990. Este aumento neto en áreas cultivadas incluye el abandono de 222 millones de ha desde 1900.

Las estimaciones más recientes, y quizás las más precisas, corresponden a Ramankutty et al. (2008). En base a una combinación de información de diferentes satélites y de datos de inventarios censales, estos autores concluyen que en el año 2000 había 15 millones de km^2 de tierras bajo agricultura (12 % de la superficie de la corteza libre de hielos) y 28 millones de km^2 de pasturas implantadas para ganadería (22 % de la superficie libre de hielo). En conjunto, las estimaciones de la FAO, Richards, Norse, Turner, Ramankutty, Foley y otros investigadores, reflejan que el uso del suelo para agricultura y extracción de productos forestales, pero especialmente para la primera, ha ocasionado la pérdida neta de 7 a 11 millones de km^2 de bosques en los últimos 300 años (FAO 2004, Ramankutty 2004, Ramankutty et al. 2008). Bosques intensamente manejados, como las plantaciones para madera en Norte América, o de palmeras para aceite en el sudeste de Asia, también han reemplazado a bosques naturales y cubren actualmente cerca de 2 millones de km^2 (Williams 1990).

De los datos expuestos se desprende que cultivos y pasturas se han convertido en uno de los biomas más ampliamente distribuidos del planeta (cerca del 40% de la superficie), casi igualando en extensión a los bosques (Clay 2004, Ramankutty et al. 2008)

(la Tabla 1 muestra la expansión de la agricultura en Sudamérica). Este incremento, junto a cambios en las prácticas de uso del suelo han permitido duplicar la producción de granos en las últimas cuatro décadas (actualmente próxima a 2.000 millones de tn $año^{-1}$) (Mann 1999).

3. Distribución geográfica de las tierras cultivadas

Las principales áreas de cultivo del mundo son: el cinturón maicero de Estados Unidos, las praderas de Canadá, el cinturón cerealero de Europa, las llanuras de inundación del Ganges y las zonas de trigo y arroz del este de China, las Pampas de Argentina y el cinturón triguero de Australia. Áreas de menor extensión ocurren en distintos lugares del mundo mientras grandes sectores de África se caracterizan por una agricultura de subsistencia (Ramankutty et al. 2008).

Si bien la presión de colonización de nuevas tierras para agricultura está en aumento a escala mundial, los cambios globales en la agricultura enmascaran una variación espacial importante, especialmente desde la perspectiva del desarrollo y la conservación: mientras la extensión de la superficie destinada a agricultura y pasturas ha disminuido en los países desarrollados (alrededor de 1,3% 1961-1999, FAO 2001), esto se opone a una continua expansión en los países en desarrollo (18,8% de aumento entre 1961-1999) (Ramankutty et al. 2008). Actualmente, el área dedicada a cultivos y pasturas alcanza a 27 millones de km^2 en los países en desarrollo y a 15 millones de km^2 en los desarrollados (valores calculados a partir de datos en Ramankutty et al. 2008) Las evidencias del cambio en la cobertura de bosques a escala global muestran que la expansión reciente de bosques boreales y templados es superada por la continua pérdida de ecosistemas forestales en regiones tropicales, principalmente debida a la conversión para agricultura (FAO 2001) (Fig. 2).

La superficie bajo agricultura se está expandiendo en cerca del 70% de los países, disminuyendo en el 25% y permanece estable en un 5% (FAO 2004). La cobertura de bosques se estima que se ha reducido cerca de un 40% en tiempos históricos, principalmente como consecuencia de la expansión de la agricultura (FAO 2001, Ramankutty 2004). Esta declinación continúa, con 14.6 millones de hectáreas deforestadas anualmente durante los años 90´. Otros tipos de hábitats también han

experimentado cambios en tiempo histórico, como por ej., los pastizales tropicales, subtropicales y templados, las sabanas, los matorrales como así también los pastizales inundables (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Como consecuencia del aumento de la población y de la demanda de alimento, es posible que el área cubierta por agricultura en los países en desarrollo (especialmente en Sudamérica y el África sub-Sahariana), aumente en un 30% en los próximos 50 años (Tilman et al. 2001), ocupando una nueva superficie equivalente a todas las selvas tropicales del Planeta (Mayaux et al. 1998). Siguiendo con la tendencia expresada más arriba, Rounsevell et al. (2005) predicen una disminución del área cultivada en el mundo desarrollado. Si bien el grueso de los cereales era producido por los países desarrollados en 1990, su representación proporcional en relación a otras economías del mundo disminuyó de un 54% en ese año al 46% en 1990. Al mismo tiempo, la contribución de los países en desarrollo aumentó, principalmente en Asia, que pasó del 33% en 1966 al 41% en 1990, seguramente por el incremento en la producción de arroz. La mayoría de los restantes países con economías en desarrollo ha mostrado durante las últimas dos décadas tendencias comparables, con la posible excepción del África Sub-Sahariana que ha mantenido su contribución proporcional.

4. Agricultura y biodiversidad. Impacto de la fragmentación y pérdida de hábitats

La destrucción de hábitats naturales para producir alimentos u otros productos de la agricultura para consumo humano o animal (por ej., commodities), representa una de las más severas y extendidas amenazas de la agricultura para la biodiversidad global (Tilman 1999, Foley et al. 2005, Millennium Ecosystem Assessmenmt 2005). Si bien las interacciones con otros factores como las invasiones biológicas, la incidencia de pestes y enfermedades y el cambio climático, son complejas y pueden tener efectos sinérgicos, hay sobradas evidencias de que los cambios en el uso del suelo, principalmente los vinculados al avance de la agricultura, constituyen un factor relevante (Sala et al. 2000). De acuerdo con Schalermann et al. (2005), la distribución de las tierras agrícolas es actualmente un indicador más preciso del estado de amenaza de la vida silvestre que la distribución de la población humana. Cuando las áreas de mayor actividad humana y destrucción de hábitats coinciden con áreas de alta diversidad o endemismo, entonces las implicancias negativas

para la biodiversidad se incrementan notablemente (Millenium Ecosystem Assessment 2005)

La agricultura impacta sobre los ecosistemas naturales y la biodiversidad a través de dos procesos principales. En primer término, la expansión de la agricultura implica la pérdida de hábitats prístinos y una presión de fragmentación sobre los hábitats relictuales o remanentes. La pérdida de hábitats puede tener un efecto desproporcionado a su área cuando la expansión de la agricultura ocurre en regiones del planeta con una diversidad de especies particularmente alta (Schalermann et al. 2004). Las plantaciones de palmeras para aceite, soja y goma, se están expandiendo notablemente en áreas de alta diversidad y con numerosas especies amenazadas (Aratrakorn et al. 2006). Hay evidencias de que la expansión de cultivos y pasturas permanentes ha reducido ya la extensión de hábitats naturales sobre suelos aptos para la agricultura en más del 50 % (Richards 1990, FAO 2001, Ramankutty et al. 2008), y una buena parte de los hábitats restantes está alterada por pastoreo sobre pasturas implantadas (Groombridge y Jenkins 2002, Green et al. 2005). Además, la agricultura ha sido indicada como el factor responsable del 90% de la deforestación de bosques tropicales (Benhim 2006). La desaparición de hábitats y áreas naturales por conversión a tierras agrícolas puede, por ejemplo, haber reducido la capacidad de carga de aves del planeta entre 20 y 25% desde los tiempos en que comenzó a desarrollarse la agricultura (Gaston et al. 2003).

El segundo proceso es la intensificación de los sistemas agrícolas ya existentes, orientada a incrementar el rendimiento por unidad de área (mayores detalles sobre diferentes aspectos de la intensificación pueden encontrarse en los Capítulos 9 y 12 de esta obra). La intensificación de la agricultura (a través de la irrigación y la aplicación de fertilizantes y pesticidas) puede reducir aun más el valor de la vida silvestre en las tierras agrícolas (Green et al 2005). Muchos cultivos se desarrollan a lo largo de un gradiente de intensificación, desde áreas con bajos aportes externos y consecuentes bajos rendimientos, hasta sistemas en los cuales la cosecha es maximizada a través de la eliminación de competidores, el uso de pesticidas y fertilizantes, una alta mecanización y el desarrollo de cultivares apropiados (Clay 2004). En algunos sistemas, la transición de producción de baja a alta intensidad puede incluso tener un impacto sobre la biodiversidad más severo que la

conversión de áreas prístinas a sistemas de agricultura de baja intensidad (Donald 2004).

Una consecuencia directa de la expansión de la agricultura es la fragmentación de hábitats. Se trata de la conversión de un hábitat natural extenso y continuo en parches pequeños, aislados o escasamente conectados, rodeados por una matriz de otro u otros tipos de hábitats (Wiens 1989, Forman 1995, Estades y Temple 1999). Esta transformación implica el paso de una situación uniforme/homogénea a otra heterogénea o "parcheada", e incluye cambios tanto en el tamaño como en la configuración de los parches (Baldi et al. 2006) (en la Fig. 3 se presenta un ejemplo de fragmentación del bosque chaqueño en el norte de la Provincia de Córdoba). Por definición, el proceso de fragmentación implica la progresiva subdivisión de hábitats en fragmentos o parches y debería diferenciarse de la pérdida de hábitat, aunque debido a que ambos procesos se confunden en el mundo real (Fahrig 1997, McGarigal y Cushman 2002) sus efectos suelen considerarse en forma conjunta. La fragmentación puede ocurrir por perturbaciones naturales (vientos, fuegos, etc.) o por acción antrópica, como es el caso de la destrucción de la vegetación natural para agricultura. La fragmentación generalmente implica cambios en la composición, estructura y funcionamiento de las comunidades y el paisaje a diferentes escalas (McGarigal y McComb 1995). Parches grandes y parches próximos a otros serán menos afectados; contrariamente, fragmentos pequeños de hábitat sólo podrán sostener poblaciones pequeñas, más vulnerables a extinciones locales. Más aun, fragmentos pequeños pueden tener condiciones ambientales alteradas, como por ej. un marcado gradiente climático desde su borde al interior.

La expansión y la intensificación de la agricultura han sido ampliamente reconocidas como causas fundamentales de la pérdida de biodiversidad (Soulé 1983, Driscoll 2004). Tanto la fragmentación como la pérdida de hábitats pueden afectar la diversidad de las comunidades al menos de tres maneras diferentes: i) a través de la reducción del área de los parches o fragmentos, disminuyendo su aptitud para especies sensibles y con necesidad de áreas grandes (Herkert 1994); ii) por medio del aislamiento de parches entre sí, lo que afecta los movimientos de especies sensibles a ese aislamiento que quedan confinadas a cada fragmento (Villard et al. 1993), y iii) por el aumento en la proporción de "hábitats-borde" (o del efecto borde), incrementando las interacciones

negativas con especies de hábitats adyacentes (Temple y Cary 1988). Estos procesos pueden ocasionar una declinación en la riqueza o número de especies, por un lado, y el reemplazo de especies de alto valor por otras de bajo estatus e interés para conservación, por otro. La fragmentación de hábitats, especialmente por agricultura, también puede afectar a las especies cambiando el microclima (Saunders et al. 1991) o disminuyendo la abundancia de presas (Burke y Nol 1998). Las consecuencias de la fragmentación, tanto para poblaciones de plantas como de animales, varían dependiendo de factores como el tiempo desde la fragmentación, el tamaño de los parches o fragmentos, la distancia entre ellos, la forma de los fragmentos y también aspectos de la historia de vida de las especies. Sin embargo, la mayor parte de los estudios de los efectos de la fragmentación sobre la diversidad de especies han sido llevados a cabo en fragmentos rodeados por tierras cultivadas, y en muchos casos se ha invocado la teoría de biogeografía de islas (MacArthur y Wilson 1967) para explicar los patrones de riqueza de especies. La teoría de metapoblaciones (Hanski 1998) provee algunos mecanismos a través de los cuales las especies podrían sobrevivir a la fragmentación, como la recolonización de parches compensando los efectos de extinciones locales. Esto ha sido rara vez observado en hábitats modificados antropogénicamente, especialmente en el caso de la fragmentación promovida por la expansión de la agricultura (Harrison y Bruna 1999). Las evidencias disponibles apuntan a que en ecosistemas fragmentados por actividades del hombre, las extinciones superan generalmente a las colonizaciones y la diversidad de especies declina gradualmente (Millar y Cale 2000).

Numerosos estudios adjudican a la expansión de la agricultura severas reducciones y declinaciones en poblaciones de aves en Europa (Gregory et al. 2005), América del Norte (Brennan y Kuvlesky 2005), Africa (Söderström et al. 2003), y Asia (Semwal et al. 2004). Efectos similares han sido reportados para otros grupos de organismos como plantas (Cagnolo et al. 2006), reptiles (Driscoll 2004), primates (Harcourt y Doherty 2005), y anfibios (Cushman 2006), entre otros (Fig. 4). En concordancia con estos resultados, distintos modelos puestos a prueba por Fahrig (2002) predicen que en paisajes más fragmentados se requiere más hábitat para la persistencia de una población de cualquier organismo.

Además de la reducción de la riqueza y diversidad de especies reportadas en la bibliografía, la expansión y la intensificación de la agricultura pueden producir cambios importantes en la composición de especies. Mientras muchas especies desaparecen o disminuyen en hábitats fragmentados, otras pueden incrementar notablemente su densidad poblacional. Por ej., especies adaptadas a hábitats disturbados y a bordes, que toleran la matriz circundante a los parches, o aquellas cuyos depredadores o competidores han declinado, frecuentemente aumentan su densidad después de la fragmentación. Por otra parte, en la matriz suelen prosperar poblaciones de especies exóticas o generalistas que hasta pueden invadir los fragmentos (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Otro aspecto relevante es la relación entre expansión de la agricultura y la ocurrencia de especies en riesgo de extinción. Evaluaciones realizadas en diferentes lugares del mundo muestran que la conversión de ecosistemas naturales a agricultura y pasturas es responsable del 37% de las amenazas a especies en peligro a escala global. En coincidencia con los patrones globales de expansión de la agricultura, estas cifras son sustancialmente más altas en países en desarrollo (40% de amenazas de 1039 especies en peligro) que en los países desarrollados (24% de 225 especies amenazadas) (BirdLife Internacional 2000, Green et al. 2005). Más aun, la importancia de la agricultura como fuente de amenazas parece ir en aumento. Esta tendencia es confirmada por la proporción de especies con cierto riesgo o “casi-amenazadas” en países en desarrollo (57% de un total de 687 especies) y desarrollados (33% de 95 taxones casi amenazados). Como es probable que estas especies con riesgo incipiente de extinción pasen a la categoría de amenazadas en los próximos años, esto implica que la agricultura es una amenaza creciente para las especies de aves. Datos sobre los cambios en poblaciones de otros vertebrados de ecosistemas templados y tropicales muestran tendencias similares a los de las aves (Loh et al 2002 , Jenkins et al. 2003). Un ejemplo que merece ser citado es la amenaza a la que está sometido el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus* Cabrera 1943) como consecuencia de la pérdida y fragmentación de su hábitat por conversión de pastizales naturales a cultivos en Argentina (Bianchini y Pérez 1972, Demaría et al. 2004).

Considerando ecosistemas a escala continental, la fragmentación afecta a todos los

biomas, especialmente a los bosques. Más de la mitad de los bosques templados y casi un cuarto de las selvas tropicales han sido fragmentadas, en contraposición a sólo un 4% de los bosques boreales. Del mismo modo, Europa exhibe la mayor fragmentación y Sudamérica la menor (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Tomando todos estos datos en conjunto, se pone en evidencia que la expansión de la agricultura es la principal amenaza actual, y posiblemente futura, para la biodiversidad en sentido amplio (Green et al 2005).

5. El panorama en Sudamérica y en Argentina

Al igual que las tendencias puestas de manifiesto a escala global, los principales factores antrópicos de los cambios en el uso y en la cobertura del suelo en Sudamérica son la expansión de la agricultura y la deforestación (Eva et al. 2004). Los bosques tropicales húmedos de Sudamérica han cedido, entre 1990 y 1997, más de 16 millones de hectáreas a la agricultura y diversas plantaciones forestales (Achard et al. 2002). Como se expone en otras secciones de este capítulo, esta conversión de cobertura boscosa a agricultura y pasturas puede tener consecuencias dramáticas en el ciclo del agua, e incluso, en el clima regional (Nobre et al. 1991). Las Naciones Unidas (United Nations 2001) predicen para Latinoamérica un aumento de la población de 519 millones (año 2000) a 1.025 millones hacia mediados del siglo. Este crecimiento puede demandar una extensificación e intensificación del proceso de deforestación, principalmente para ampliar la superficie cultivada. La explotación comercial de productos forestales podría seguir idéntica tendencia.

Existen en la bibliografía distintas aproximaciones a la cartografía de la vegetación/tipos de cobertura de Sudamérica (por ej., Hueck y Seibert 1972, UNESCO 1981, Stone et al. 1994, Loveland et al. 1999, Friedl et al. 2002). Posiblemente la más reciente, y la que expresa con mayor precisión la superficie cubierta por agricultura a escala de todo el continente, es la de Eva et al. (2004). La base de datos presentada por Eva y colaboradores da cuenta de 4.277.000 km^2 (24,06%) convertidos a agricultura o mosaicos de bosques degradados con agricultura, pasando a ser el tipo de cobertura más extendido después de los bosques tropicales húmedos (Tabla 1). Con respecto a mapas anteriores, el trabajo de Eva et al. (2004) muestra el avance de la frontera agrícola hacia los bosques

tropicales húmedos y subhúmedos, tanto desde el oeste, a lo largo de Los Andes, como desde el sudeste. Del mismo modo, el extremo sudeste de la Amazonia brasilera muestra una fragmentación creciente. Brasil contiene el 67% de la selva amazónica y cerca de un tercio de las selvas tropicales húmedas del Planeta. La deforestación de la Selva Amazónica fue muy reducida hasta 1975, afectando aproximadamente el 0,6% de su superficie original. Pero entre 1975 y 1985 se perdió el 11% de esa selva, principalmente por conversión en pasturas para cría de ganado. Hacia fines de los 80´ se habían deforestado en la Amazonia brasilera entre 17,6 y 19,2 millones de hectáreas de selvas, la mitad de ellas para agricultura, aunque en algunos estados como Rondonia se estima que la colonización para agricultura es responsable de más del 90% de la pérdida de bosques tropicales (Southgate et al. 1991). Si bien la alta tasa de pérdida de selvas tropicales en la Amazonia brasilera durante 1978 – 1989 (1,98 millones de hectáreas anuales) disminuyó en el período 1990 – 1994 (1,38 millones de ha año^{-1}), volvió a subir durante 1995 – 2000 (1,90 millones de ha año^{-1}). Estos datos están en evidente contradicción con la opinión de algunos ministros de gobiernos brasileros que predecían una caída en la tasa de pérdida de selvas tropicales en Brasil (Laurance et al. 2001). El proceso de deforestación muestra tendencias similares en Ecuador donde, a pesar de que los bosques tropicales cubren más de la mitad del nordeste del país, el 36% del territorio fue reclamado para colonización agrícola en 1991 (Southgate et al. 1991).

Otro aspecto evidente del mapa de Eva et al. (2004) es el aislamiento y fragmentación creciente de los ecosistemas naturales remanentes en el *cerrado* y *caatingas* de Brasil y en las *pampas* argentinas. En territorios del sur de Brasil (Parana, Río Grande do Sul y Santa Catarina) el área cultivada con soja pasó de 1,2 millones de hectáreas en 1970 a 6,9 millones de hectáreas en 1980 (Stedman 1998) y el incremento ha continuado hasta nuestros días. Al igual que la expansión de la agricultura en el sur del país, una gran superficie de sabanas y bosques bajos del *cerrado* ha sido convertida a agricultura, principalmente para el cultivo de soja. Originalmente el *cerrado* ocupó un territorio escasamente poblado, utilizado para ganadería extensiva (Smith et al. 1998); pero entre 1970 y 1985 el área cultivada creció en el centro-oeste del país de 2,3 a 7,4 millones de hectáreas, mientras la superficie con soja pasó de 14.000 hectáreas (1970) a 3,8 millones (1990) (Kaimowitz y Smith 2001). En las tierras bajas de Bolivia se observan tendencias

similares en el proceso de deforestación, con una aceleración en la tasa de pérdida de bosques (Pacheco 2006).

El mapa de Eva et al. (2004) insinúa también el proceso de expansión de la agricultura en el *chaco* del sur de Bolivia y norte y centro de Argentina (ver comentarios sobre la expansión de la agricultura en las ecorregiones de Argentina). Procesos similares se han descrito para Paraguay y Uruguay. Hacia el norte de los bosques tropicales húmedos, la agricultura también se ha expandido en los *llanos* de Venezuela.

Si bien el proceso de deforestación ha sido mucho más estudiado en los trópicos y subtrópicos sudamericanos, donde parece tener una magnitud superior, también los bosques templados de Sudamérica han sufrido un proceso de pérdida y fragmentación. Echeverría et al. (2006) dan cuenta de una tasa de pérdida de bosques templados en el sur de Chile del 4,5% anual, con una desaparición del 67% de los bosques de un sector en el centro-sur de ese país entre 1975 y 2000.

En la República Argentina el incremento en la producción de granos ha seguido una tendencia similar a la de los países sudamericanos. En los últimos 50 años aumentó de 20 a 70 millones de toneladas (Fig. 5) y se estima que pronto podría llegar a 100 millones.

El proceso de conversión de ecosistemas naturales y semi-naturales en tierras agrícolas está concentrado en seis de sus ecorregiones: las Selvas de las Yungas y Paranaense, el Chaco Seco, el Chaco Húmedo, el Espinal y la Pampa (Brown y Pacheco 2006) (Fig. 6). En las ecorregiones restantes la agricultura está muy localizada en bolsones de riego (por ej. los “oasis” de riego del Monte, algunos valles patagónicos, o bien se trata de agricultura y plantaciones de subsistencia, fuertemente limitadas por las condiciones climáticas y edáficas predominantes (por ej., Reboratti 2006, da cuenta de la existencia de viejos andenes de riego en algunos lugares con clima menos rigurosos de la Puna). La ecorregión de la Patagonia es un semi-desierto que ocupa gran parte del sur del país y más del 20 % del territorio nacional (Cabrera 1976). Su relieve está formado por mesetas, planicies y montañas bajas. El clima seco y los suelos pobres representan severas limitaciones para la agricultura y, por lo tanto, la mayor parte de este territorio conserva ecosistemas naturales y semi-naturales con menor grado de

fragmentación y pérdida de hábitats que la Pampa, el Chaco y el Espinal, aunque con algunos sectores muy degradados por sobrepastoreo, especialmente de ovinos. La agricultura se ha desarrollado principalmente en valles paralelos a los principales ríos patagónicos y a territorios más húmedos cercanos a la cordillera de Los Andes. Comparativamente, otras actividades como la explotación petrolera, han producido localmente un mayor impacto que la agricultura, especialmente por la alta densidad de caminos de exploración y por la generación de focos de contaminación (Bertonatti y Corchera 2001).

En términos generales, la tasa de deforestación, en gran parte debida a la conversión de bosques en tierras agrícolas, registrada por la FAO (2001) para Argentina (0,8 % anual) es una de las más altas de Sudamérica; más aun, seguramente esta tasa debe ser superior en algunos sectores puntuales del territorio.

En la ecorregión de las Yungas la expansión de la agricultura ha afectado el 90% de los bosques y selvas pedemontanas, reduciendo los contactos Yungas-Chaco al 16% de su extensión original (Brown y Malizia 2004, Pacheco y Brown 2006). Inicialmente, la conversión de los bosques pedemontanos se debió a la irrupción de la caña de azúcar, pero a partir de los 80´ el proceso de transformación se aceleró de la mano de la soja, a una tasa de 10.000 hectáreas de Selva Pedemontana transformadas por año. De acuerdo con Gasparri y Menéndez (2004), el pedemonte de las Yungas originalmente comprendía 1.093.894 ha (sin incluir en esa cifra las zonas de transición con el Chaco); hacia 1997 más del 55% de esa superficie estaba ocupada por tierras agrícolas, conservándose 480.093 ha de bosques en distintos estados de conservación.

La Selva Paranaense (o Bosque Atlántico del Alto Paraná) forma parte del Bosque Atlántico Sudamericano, identificado por Conservation Internacional (Myers et al. 2000) como una de las veinticinco “zonas calientes” de biodiversidad del Planeta. Al mismo tiempo, se trata de uno de los bosques lluviosos más amenazado de la Tierra, del cual se conserva tan sólo el 7% de su superficie original (Placi y Di Bitetti 2006). En la Argentina aun persisten 1.123.000 hectáreas de bosques en esta ecorregión. La expansión de la agricultura se ha identificado como la principal amenaza para la fragmentación y pérdida de hábitats en la Selva Paranaense; los principales cultivos anuales incluyen caña de azúcar,

maíz, trigo, soja, algodón, tabaco, y perennes como café, yerba mate, té y forestales introducidas como pinos y eucaliptos. El proceso activo de deforestación comenzó con la colonización en la década del 30´, con el propósito de abrir tierras para la agricultura, y se acentuó a partir de los 50´ acompañando a los procesos inmigratorios de la posguerra (Mac Dongh y Rivero 2006). A partir de los 60 y 70, una buena parte de la deforestación tiene por objeto las plantaciones de especies forestales introducidas. Mac Donagh y Rivero (2006) dan cuenta de una alarmante declinación de la superficie boscosa original en Misiones, desde 2.000.000 de hectáreas a principios del siglo XX a 40.000 hectáreas de bosques pristinos y 800.000 ha de bosques secundarios en la actualidad. Contrariamente a lo observado en los estados del sur de Brasil, la soja no es todavía muy importante en la provincia de Misiones (Placi y Di Bitetti, 2006)

En la ecorregión del Chaco Seco (o Semiárido) un conjunto de factores concurrentes (demandas y precios del mercado internacional, paquetes tecnológicos, incremento en las precipitaciones en algunos sectores, etc.) han contribuido a un avance notable de la frontera agrícola durante la segunda mitad del siglo pasado. La expansión de la agricultura se ha producido a través de la conversión de grandes extensiones de bosques xerófilos estacionales que ha provocado tanto la desaparición de hábitats como su fragmentación. Durante los últimos 20 años este fenómeno ha ocasionado la pérdida de bosques maduros y secundarios en las provincias de Córdoba (Zak et al. 2004, Zak et al. 2008) (Fig. 3), Santiago del Estero (Boleta et al. 2006), Tucumán y Salta (Paruelo et al. 2005), Chaco y Formosa (Torrella y Adamoli 2006). A modo de ejemplos, pueden mencionarse los procesos de expansión en los departamentos del norte de Córdoba, que entre 1970 y 2000 perdieron más de un millón de hectáreas de bosques xerófilos estacionales (chaqueños) por conversión a cultivos anuales, principalmente soja (Zak et al. 2004) (Fig. 7 a). Un fenómeno similar ocurrió en el nordeste de Salta donde el 51% de los cultivos de soja de la campaña 2002-2003 fue sembrado sobre tierras que en 1988-1989 estaban cubiertas por vegetación natural, principalmente bosques del Chaco Seco y, en menor medida, de las Selvas Pedemontanas y Chaco Serrano (Paruelo et al, 2005) (Fig. 7 b). Además del efecto de los factores directos y subyacentes mencionados en el proceso de deforestación, también el precio diferencial de la tierra en relación a los valores de la ecorregión pampeana y un

proceso de concentración de tierra en grandes capitales, han promovido la deforestación a altas tasas. En algunos territorios, como por ej. el norte de Córdoba, estas tasas han alcanzado valores entre los más altos del mundo (Zak, 2008).

Morello et el. (2006) distinguen dos períodos en el uso de los recursos naturales de la ecorregión chaqueña: uno de cosecha ecosistémica y otro de agricultura generalizada. Durante el primero, el impacto del uso sobre los ecosistemas naturales fue reducido y es recién después de la "conquista" de la tierra por parte del hombre blanco cuando empieza una verdadera transformación del paisaje del Chaco, que alcanzará sus picos de máxima intervención durante las etapas taninera, primera y segunda (extracto industrial del tanino de los quebrachos colorados), de la colonia algodonera, de la agriculturización (agricultura con crecientes insumos externos) y, finalmente, la pampeanización del Chaco (aplicación de paquetes tecnológicos similares a los de la Pampa y expansión dramática del cultivo de soja) (Pengue 2005, Morello et al. 2006). El proceso de "sojización del país", con una fuerte reestructuración e innovación tecnológica, alcanzó también al territorio chaqueño, que en los últimos 20 años ha sufrido una sorprendente expansión de la frontera agropecuaria (Soto 2006) (Fig. 7 b). Adamoli y colaboradores brindan en esta misma obra profusa información sobre el proceso de expansión de la frontera agropecuaria en la región chaqueña.

El desarrollo agrícolo-ganadero del Chaco Húmedo registra patrones similares a los de toda la región chaqueña. La ganadería fue una actividad de escaso impacto hasta finales del siglo XIX, y recién a partir de principios del 1900, con las corrientes colonizadoras del sur y la expansión de la red ferroviaria, la ganadería alcanzó un desarrollo que produjo modificaciones importantes en los ecosistemas naturales (Ginzburg y Adámoli 2006). La agricultura se inició en el Chaco Húmedo hacia finales de 1800 y, al igual que en algunos sectores del Chaco Semiárido, se expandió durante las primeras décadas del siglo XX, hasta ocupar en los últimos años casi toda la superficie de tierras no inundables de la ecorregión (Ginzburg y Adámoli 2006).

El Espinal Periestépico (Lewis y Collantes 1973), Monte Periestépico (Frenguelli 1941) o Espinal (Cabrera 1976) se compone (o componía) de una faja de bosques xerófilos bajos en la periferia de la ecorregión pampeana. Gran parte del territorio del Espinal posee

suelos muy aptos para el desarrollo de actividades agrícolas, por lo cual sus bosques están en franca declinación desde hace décadas (Arturi 2006). La expansión de la agricultura desde la Pampa es responsable de la reducción del área de bosques, especialmente en las provincias de Córdoba y Santa Fé. Lewis et al. (2006) describen detalladamente los escasos relictos existentes en la actualidad en Córdoba, donde la agricultura ha desplazado casi la totalidad de los bosques y, los que aun se conservan, están siendo fragmentados de manera creciente en una matriz de cultivos anuales. También la agricultura puede vincularse a procesos de invasiones por especies leñosas exóticas; los escasos fragmentos existentes en algunos distritos como el Sanctafidense y el Entrerrianense se observan invadidos por leñosas introducidas como el paraíso (*Melia azederach*), eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), acacia negra (*Gleditsia triacanthus*), y morera (*Morus* alba). Los caldenales del sur del Espinal y los talares del noreste de la provincia de Buenos Aires enfrentan desafíos similares a los restantes territorios de esta ecorregión (Arturi 2006).

La ecorregión de la Pampa es quizás la más profundamente transformada por la agricultura. El comienzo de la transformación de los pastizales del Río de La Plata estuvo asociado al arribo de los colonizadores europeos en la primera mitad del siglo XVI (Baldi et al. 2006). A partir de la colonización, los herbívoros nativos (venados, ñandúes y en algunas áreas guanacos), fueron reemplazados por herbívoros exóticos (mular, caballar, vacuno y ovino) (Camadro y Cahuepé, 2003). El fuego, utilizado por los aborígenes con diversos objetivos (caza, comunicación, etc.) fue adoptado para el manejo ganadero, y los extensos y altos pajonales existentes antes de la colonización fueron convertidos a pastizales de pastos bajos. Así, a lo largo del siglo XIX y principios del XX la mayor parte de los pajonales originales fueron reemplazados por tierras agrícolas, y los sitios con limitaciones edáficas (por salinidad, alcalinidad, o anegamiento), como la Pampa Inundable, se transformaron en pastizales bajos, dedicados a la producción de carne. Estos procesos estuvieron acompañados por pérdida de biodiversidad y una restricción de plantas perennes y fauna nativa a relictos y refugios (Horlent et al. 2003, Voglino et al. 2006). Esta etapa estuvo caracterizada también por la entrada de especies exóticas, principalmente del Mediterráneo, adaptadas a condiciones de suelos con laboreo. Mientras la ganadería fue el factor predominante hasta fines del siglo XIX, a partir de entonces la ganadería y la

agricultura han coevolucionado en la región (Viglizzo et al. 2006; ver también el capítulo a cargo de Viglizzo en esta misma obra). Durante las últimas décadas la expansión de la agricultura se incrementó considerablemente, junto a cambios globales en los mercados y a la incorporación de nueva tecnología (Paruelo et al. 2005). De esta forma se llegó al sistema de la siembra directa, variedades trasgénicas de la mano de la aplicación del herbicida glifosato y de la implantación del sistema trigo-soja. En la región pampeana, como así también en el Espinal y en el Chaco, la difusión de la siembra directa ocurrió en forma simultánea a la de la soja. Hacia finales del siglo XX aparecen en la escena los organismos genéticamente modificados, en el caso que nos interesa, la soja transgénica resistente al glifosato, entre otros cultivos (Martínez –Ghersa y Ghersa 2005). Martínez-Ghersa y Ghersa (2005) han advertido sobre dos problemas inherentes al sistema siembra directa – soja en la región pampeana: por un lado, se observa una reducción en el número de especies de plantas del agroecosistema, con un 50% menos de las especies con respecto a potreros bajo siembra convencional; por otra parte, la siembra directa parece haber incrementado el riesgo de invasión de leñosas exóticas, como la acacia negra (*Gleditsia triacanthos*).

A diferencia de lo ocurrido en el Chaco o en los Bosques Pedemontanos de las Yungas, donde la conversión a cultivos anuales involucró la pérdida de bosques, en la Pampa la última expansión de la agricultura no se hizo sobre vegetación natural, sino principalmente sobre pasturas sembradas (alfalfa y otras forrajeras) (Paruelo et al. 2005). Actualmente, la proporción de cobertura original en la Pampa varía regionalmente, seguramente en relación a las condiciones edáficas y topográficas que limitan la agricultura: en un análisis de cuatro de los distritos pampeanos, Baldi et al. (2006) concluyen que el 65,5% de su área de estudio está ocupada aun por pastizales utilizados para ganadería; sin embargo, aunque estos pastizales representan la situación más cercana a la vegetación original (estructural y florísticamente), están utilizados en forma intensiva, con más de 22.5 millones de cabezas de herbívoros domésticos en el año 2001 en la provincia de Buenos Aires (INDEC 2001, en Baldi et al. 2006).

6. El futuro

De acuerdo con la FAO (FAO 2000, *Agriculture: Towards 2015/30*), la producción de alimentos en el mundo casi se duplicó entre 1961 y 1996. Esto fue posible por un aumento del 12% en la superficie global de tierras cultivadas con granos y por el incremento del 10% en el área de pasturas permanentes. Además, el rendimiento por unidad de área creció un 106% en ese período como respuesta al aumento del 97% del área total irrigada, y del 638%, 203% y 854% en la producción de fertilizantes (nitrógeno y fósforo) y de pesticidas, respectivamente (Tilman 1999, Tilman et al 2001, FAO 2001). En casi el mismo período, la población mundial pasó de 3.000 a 6.000 millones de personas. Favorecida por una serie de avances tecnológicos (conocidos en conjunto como "revolución verde"), la producción de alimentos creció entre 1960 y 2000 a una tasa superior a la de la población humana y la desnutrición bajó del 17 % al 14 % de la población global (Fernández Alés y Solbrig 2001).

Aunque las estimaciones varían, la población mundial probablemente se incrementará en un 75% antes de estabilizarse entre 8 y 10 mil millones de habitantes hacia el año 2050 (Tilman 1999). Junto a este aumento en la población, se está produciendo un rápido incremento en el consumo *per capita* (Myers y Kent 2003.), y es posible que la demanda de alimentos aumente entre 2 y 3 veces hacia mediados del siglo (Tilman et al. 2001). Con el aumento en el consumo de carne en los países en desarrollo y el uso de granos como alimento para el ganado, este incremento en la población debería causar una demanda en la producción de granos de más del doble que la actual. A pesar de los progresos tecnológicos en la genética de granos, en el control de pestes y malezas, y en las prácticas de laboreo (por ej., siembra directa), la superficie total de tierras cultivadas para satisfacer las necesidades expuestas, debería incrementarse de $1{,}47.10^{9}$ hectáreas a $1{,}73.10^{9}$ hectáreas (Tilman et al 2001); esto significa un aumento del 18 % de la superficie cultivada con respecto a la actual.

Frente a estas tendencias, cabe preguntarse: ¿cuáles serán las consecuencias de una nueva duplicación en la producción de alimento en las próximas 4 o 5 décadas? ¿qué impactos produciría este incremento sobre el funcionamiento de los ecosistemas naturales (no agrícolas), y en los servicios que ellos ofrecen?

La agricultura a escala global se está acercando a una respuesta umbral. Ha pasado de ser una causa menor de degradación ambiental 35 años atrás, al principal factor de deposición de nitrógeno y fósforo en ambientes terrestres, acuáticos y marinos (ver Capítulo 9 de esta obra), como así también de la desaparición y fragmentación de hábitats y la pérdida de bosques y biodiversidad. Dadas las limitaciones mencionadas por Tilman (1999) acerca de las reales posibilidades de incrementar la producción de alimentos a través del avance y las innovaciones tecnológicas, es probable que para doblar esa producción deba recurrirse, como se expuso más arriba, a un marcado incremento en la superficie cultivada. Considerando que los mejores suelos se encuentran ya bajo algún tipo de cultivo, el aumento de la superficie para agricultura deberá ser desproporcionado para satisfacer las necesidades de mayor producción, Así, el aumento del 18 % en la superficie cultivada demandaría la pérdida de unos 268 millones de hectáreas de ecosistemas naturales y semi-naturales (por ej. los bosques subtropicales xerófilos estacionales remanentes del Chaco, el Cerrado, etc.) a través del mundo entero. La destrucción de ecosistemas naturales resultante, incrementaría la proporción de especies amenazadas y/o en peligro de extinción. También provocaría una liberación masiva de CO_2 por clareo y tala (Schlesinger 1991). Si se considera que los ecosistemas de alta diversidad ocurren generalmente sobre suelos poco fértiles (Houston 1979), la conversión de ecosistemas pobres en nutrientes en tierras de agricultura, produciría un impacto desproporcionado sobre la biodiversidad global. Si este efecto aumenta, como se proyecta para el doble de producción de alimento en las condiciones actuales, la agricultura transformará, a no dudarlo, el resto de los ecosistemas no agrícolas y naturales del planeta. El impacto ambiental global de la agricultura y de los cambios en el uso del suelo sobre los ecosistemas naturales y los servicios que ellos proveen puede ser tan serio como el cambio climático global.

El Informe de la FAO mencionado más arriba presenta expectativas más moderadas, basadas principalmente en que 4/5 del crecimiento obedecerá a la intensificación de la producción de granos y consecuentes mayores rendimientos y, por lo tanto, una disminución en la tasa de incremento de la superficie cultivada. Sin embargo, el mismo Informe predice los mayores incrementos en la superficie cultivada para Sudamérica, el África Sub-Sahariana y, en general, para los países con economías en desarrollo.

La tecnología (por ej., programas de desarrollo genético), contribuirá sin dudas a la intensificación mencionada. Pero, además, es necesario que la comunidad científica redoble sus esfuerzos para entender de qué manera están cambiando las tierras agrícolas globales y en evaluar sus implicancias en un futuro sustentable (Foley et al 2005). Por lo tanto, y a pesar de numerosas incertidumbres, es necesario progresar hacia el desarrollo de nuevos métodos para caracterizar los patrones espaciales de las tierras agrícolas a escala global, regional y local y la estimación del rol de la agricultura como modificadora de los ecosistemas y hábitas naturales, la reducción de la biodiversidad y el aumento de la tasa de extinción de especies (Green et al. 2005). Por ej., una línea que debería explorarse es la relación entre agricultura orgánica, agricultura extensiva y biodiversidad; hay evidencias en la bibliografía internacional sobre la forma en que la integración entre agricultura y conservación puede contribuir significativamente a conservar la biodiversidad, incluso de especies útiles para la agricultura (Banks 2004, Bengtsson et al. 2005, Robertson y Swinton, 2005, Cousins y Lindborg 2008).

El funcionamiento de los ecosistemas depende de los caracteres de las especies que los componen (composición de especies), del número de especies que contiene (riqueza y diversidad de especies), y de las condiciones físicas predominantes, especialmente el régimen de disturbios (Díaz & Cabido 2001, Díaz et al. 2007). Una consideración de los principios que gobiernan el efecto de la composición, la diversidad y los disturbios sobre los ecosistemas, puede sugerir las formas de disminuir los impactos de la agricultura o de convertirla en una actividad más productiva, estable y sustentable en el futuro.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J. et al. 2002. Determination of deforestation rates of the world´s humid tropical forests. *Science*, 297: 999-1003.

Agcaioli, M. y M. W. Rosegrant. 1992. *Regional trends and projections for food supply, demand and trade in Asia*. Washington D.C.: International Food Policy Research Institute.

Aratrakorn, S., Thunhikorn, S. y P.F. Donald. 2006. Changes in bird communities following convesrsion of lowland forest to oil palm and rubber plantations in southern Thailand. Bird Conservation International. (Cita tomada de Donald, P. and Evans, A.D. (2006).

Arturi, M. 2006. Situación Ambiental en la Ecorregión Espinal. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 241246.

Baldi, G., Guerschman, J.P. y J.M. Paruelo. 2006. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116: 197-208.

Banks, J.E. 2004. Divided culture: integrating agriculture and conservation biology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 537-545.

Bengtsson, J., Ahnström, J. y A. Weibull. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42: 261-269.

Benhim, J.K.A. 2006. Agriculture and deforestation in the Tropics: a critical theoretical and empirical review. *Ambio*, 35: 9-16.

Bertonatti, C. y J. Corcuera. 2001. *Situación Ambiental Argentina 2000*. Fundación Vida Silvestre Argentina.

Bianchini, J.J. y J.C.L. Pérez. 1972. Informe sobre la situación del ciervo de las pampas – *Ozotoceros bezoarticus celer* Cabrera 1943 – en la provincia de Buenos Aires. *Acta Zoologica Lilloana*, 39: 149-157.

BirdLife International. 2004. *State of the World´s Birds 2004: Indicators for our Changing World*. BirdLife International, Cambridge, UK.

Boletta, P.E. Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M. y M. Grilli. 2006. Assessing deforestation in the Argentine Chaco. *Forest Ecology and Management*, 228: 108-114.

Brennan, L.A. y W.P. Kuvlesky. 2005. North American grassland birds: an unfolding conservation crisis? *Journal of Wildlife Management*, 69: 1-13.

Brown, A. y L.R. Malizia. 2004. Las selvas pedemontanas de las Yungas. En el umbral de la extinción. *Ciencia Hoy*, 14 (83): 52-63.

Brown, A. y S. Pacheco. 2006. Propuesta de actualización del mapa ecorregional de la Argentina. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 28-31.

Burke, D.M. and E. Nol. 1998. Influence of food abundance, nest-site habitat, and forest fragmentation on breeding Ovenbirds. *Auk*, 115: 96-104.

Cabrera, A.L. 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas*. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Buenos Aires, Ed. ACME S.A.I.C.

Cagnolo, L., Cabido, M. y G. Valladares. 2006. Plant species richness in the Chaco Serrano woodland from central Argentina: ecological traits and habitat fragmentation effects. *Biological Conservation*, 132: 510-519.

Camadro, E.L. y M.A. Cauhépé. 2003. ¿Conservación o explotación? Las pampas intangibles. *Ciencia Hoy*, 13 (76): 48- 55.

Cassman, K.G. y S. Wood. 2005. Cultivated systems. In: *Ecosystemas and Human Well.being: Current State and Trends*. Vol. 1, Hassan et al. (Ed.), pp. 745-794. Island Press, Washington D.C.

Clay, J. 2004. *World Agriculture and the Environment: A Commodity-by-Commodity Guide to impacts and Practices*. Island Press, Washington DC.

Cousins, S.A.O. y R. Lindborg. 2008. Remnant grassland habitats as source communities for plant diversification in agricultural landscapes. *Biological*

Conservation, 141: 233-240.

Cushman, S.A. 2006. Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 128: 231-240.

DeFries, R.S. y F. Achard. 2002. New estimates of tropical deforestation and terrestrial carbon fluxes: Results of two complementary studies. *LUCC Newsletter*, 8: 7-9.

DeFries, R.S., Foley, J.A. y G.P. Asier. 2004. Land use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2: 249-257.

Demaría, M., McShea, W.J., Koy, K. y N. Maceira. 2004. Pampas dear conservation with respect to habitat loss and protected area considerations in San Luis, Argentina. *Biological Conservation*, 115: 121-130.

Díaz, S. y M. Cabido. 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution (TREE)*, 16: 646-655.

Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quetier, F., Grigulis, K. y T.M. Robson. 2007. Land Change Science Special Feature: Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Science*, 104: 20684-20689.

Donald, P.F. 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology*, 18: 17-38.

Donald, P.F. y A.D. Evans. 2006. Habitat connectivity and matrix restoration: the wider implications of agri-environment schemes. Journal of Applied Ecology, 43: 209218.

Driscoll, D.A. 2004. Extinction and outbreaks accompany fragmentation of a reptile community. *Ecological Applications*, 14: 220-240.

Echeverría, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J.M., Lara, A. y A. Newton. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 130: 481-494.

Estades, C.F. y S.A. Temple. 1999. Deciduous-forest bird communities in a fragmented landscape dominated by exotic pine plantations. *Ecological Applications*, 9: 573585.

Eva, H.D., Belward, A.S., De Miranda, E.E., Di Bella, C.M., Gonds, V., Huber, O., Jones, S., Sgrenzaroli, M. y S. Fritz. 2004. A land cover map of South America. *Global Change Biology*, 10: 731-744.

FAO. 2001. *FAOSTAT. FAO Statistical Databases*. Food and Agricultural Organisation of the United Nationas, Rome.

FAO. 2004. *FAOSTAT. Forestry database*. Food and Agriculture Organization, ROME. http://faostat.fao.org.

Fahrig, L. 2002. Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: A synthesis. *Ecological Applications*, 12: 346-353.

Fernández Alés, R. y O.T. Solbrig. 2001. Are Famine and Malnutrition Questions of Supply or Demand? Implications for Global Rural Sustainability. En: Solbrig, O.T., Paarlberg, R. y F. di Castri (eds.), *Globalization and the Rural Environment*. Cambridge, Massachussets, Harvard University Press. Vol. 1, 49 71.

Foley, J.A. y 18 colaboradores. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570-574.

Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics. The ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Frenguelli, J. 1941. Rasgos principales de Fitogeografía Argentina. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Botánica*, 3: 65-181.

Friedl, M., McIver, D., Hodges, J. et al. 2002. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83: 287302.

Galloway, J.N., Schlesinger, W.H., Levy II, H., Michaels, A. J.L. Schnoor. 1995. Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochemical Cycles*, 9: 235-252.

Gasparri, I. y J. Menéndez. 2004. Recuadro. Transformación histórica y reciente de la Selva Pedemontana. *Ciencia Hoy*, 14 (83): 53.

Gaston, K., Blackburn, T.M. y K.K. Goldewijk. 2003. Habitat conversion and global

avian biodiversity loss. *Proceedings of the Royal Society of London (B)*, 270: 1293-1300.

Ginzburg, R. y J. Adámoli. 2006. Situación Ambiental en el Chaco Húmedo. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corchera, J. (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 103-113.

Grau, H. R., Gasparri, N.I. y M. Aide. 2005. Recuadro. Cambios ambientales y responsabilidad de los científicos: el caso del noroeste argentino. *Ciencia Hoy*, 15 (87): 16-17.

Green, R.E. Cornell, S.J., Schalermann y A. Balmford. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307: 550-555.

Gregory, R.D., van Strien, A.J., Vorisek, P., Gmelig Meyling, A.W., Noble, D.G., Foppen, R.P.B. y D.W. Gibbons. 2005. Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (B)*, 360: 269288.

Groombridge, B. and M.D. Jenkins. 2002. World Atlas of Biodiversity. Earth Living Resources in the 21st. Century. UNEP – WCMC.

Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, 396: 41-49.

Harcourt, A.H. y D.A. Doherty. 2005. Species-area relationships of primates in tropical forest fragments: a global analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42: 630-637.

Harrison, S. y E. Bruna. 1999. Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure? *Ecography*, 22: 225-232.

Heck, P., Lüthi, D., Wernli, H. y C. Schär. 2001. Climate impacts of European-scale anthropogenic vegetation changes: A sensitivity study using a regional climate model. *Journal of Geophysical Research*, 106: 7817-7835.

Herkert, J.R. 1994. The effects of habitat fragmentation on Midwestern grassland bird communities. *Ecological Applications*, 4: 461-471.

Horlent, N., Juárez, M.C. y M. Arturi. 2003. Incidencia de la estructura del paisaje sobre la composición de especies de aves de los talares del noroeste de la provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral*, 13: 173-182.

Houghton, R.A. 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus, Ser. B*, 55: 378-390.

Hurtt, G.C., Frolking, S., Fearon, M.G., Moore, B., Shevliakova, E., Malyshev, S., Pacala, S.W. y R.A. Hughton. 2006. The underpinnings of land use history: Three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. *Global Change Biology*, 12: 1-22.

Intergovernmental Panel on Climate Chanmge (IPCC). 2000. *Land Use, Land-use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Jenkins, M. 2003. Prospects for Biodiversity. *Science*, 302: 1175-1177.

Kaimowitz, D. y J. Smith. 2001. Soybean Technology and the Loss of Natural Vegetation in Brazil and Bolivia. In: Angelsen, A. D. Kaimowitz (Eds.), *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*, pp. 195-211. CAB International.

Laurance, W.F., Albernaz, A.K.M. y C. Da Costa. 2001. Is deforestation accelerating in the Brazilian Amazon? *Environmental Conservation*, 28: 305-311.

Leckie, D.G., Gillis, M.D. y M.A. Wulder. 2002. Deforestation estimation for Canada under the Kyoto Protocol: A design study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28: 672-678.

Lepers, E., Lambin, E.F., Janetos, A.C., DeFries, R. Achard, F. Ramankutty, N. y R.J. Scholes. 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. *Bioscience*, 55: 115-124.

Lewis, J.P. y M. Collantes 1973. El Espinal Periestépico. *Ciencia e Investigación*, 29: 360-377.

Lewis, J.P., Prado, D. y I. Barberis. 2006. Los remanentes de bosques del Espinal en la provincial de Córdoba. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 254-257.

Loh, J. et al. 2002. *Living Planet Report 2002.* WWF, Gland, Switzerland. Disponible en: www.panda.org/downloads/general/LPR_2002.pdf.

Loveland, T.R., Zhu, Z., Ohlen, D.O. et al. 1999. An analysis of the IGBP global land cover characterization process. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 1021-1032.

MacArthur, R.H. y E.O. Wilson. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

Mac Donagh, P. y L. Rivero. 2006. ¿Es posible el uso sustentable de los Bosques de la Selva Misionera?. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 210-217.

Mann, C.C. 1999. Crop scientists seed a new revolution. *Science*, 283: 310-314.

Martínez-Ghersa, M.A. y C.M. Ghersa. 2005. Consecuencias de los recientes cambios agrícolas. *Ciencia Hoy*, 15 (87): 37-45.

Mayaux, P., Achard, F. y J.P. Malingreau. 1998. Global tropical forest area measurements derived from coarse resolution satellite imagery: a comparison with other approaches. *Environmental Conservation*, 25: 37-52.

McGarigal, K. y S.A. Cushman. 2002. Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation. *Ecological Applications*, 12: 335-345.

McGarigal, K. y W.C. McComb. 1995. Reationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon coast range. *Ecological Monographs*, 65: 235-260.

McGuire, A.D. et al. 2001. Carbon balance of terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of CO_2, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Global Biogeochemical Cycles*, 15: 183-206.

Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Wellbeing: A framework Assessment*. Island Press, Washington DC.

Miller, J.R. y P. Cale. 2000. Behavioral mechanisms and habitat use by birds in a

fragmented agricultural landscape. *Ecological Applications*, 10: 1732-1748.

Morello, J., Pengue, W. y A. Rodríguez. 2006. Etapas del uso de los recursos y desmantelamiento de la biota del Chaco. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 83-90.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:

Negri, A.J., Adler, R.F., Xu, L. y J. Surratt. 2004. The impact of Amazonian deforestation on dry season rainfall. *Journal of Climatology*, 17: 1306-1319.

Nobre, C.A., Sellers, P.J. y J. Shukla. 1991. Amazonia de-forestation and regional climate change. *Journal of Climate*, 4: 957-988.

Norse, D., James, C., Skinner, B.J. y Q. Zhao. 1992. Agriculture, Land Use and Degradation. En: Doodge, J., Brennan, M., Goodman, G.T. and J.W.M. Riviere, An Agenda for Environment and Development into the 21st Century. Cambridge University Press.

Pacheco, P. 2006. Agricultural expansion and deforestation in lowland Bolivia: the import substitution versus the structural adjustment model. *Land Use Policy*, 23: 205-225.

Pacheco, S. y A. Brown. 2006. Recuadro. La biodiversidad de la Ecorregión Yungas¿es sustentable a largo plazo? En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, p. 59.

Paruelo, J.M., Guerschman, J.P. y S. Verón. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy*, 15 (87): 14-23.

Pengue, W. 2005. *Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina. ¿La transgénesis de un continente?* PNUMA, Serie de Textos Básicos para la Formación Ambiental, 9.

Placi, G. y M. Di Bitetti. 2006. Situación ambiental en la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). En: Brown, A., Martínez Ortiz, U.,

Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 197-210..

Ramankutty, N. 2004. Croplands in West Africa: A geographically explicit dataset for the use in models. *Earth Interactions*, 8: 1-22.

Ramankutty, N., Evan, A.T., Monfreda, C. y J.A. Foley. 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22: 1-19.

Ramankutty, N. y J.A. Foley. 1999. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 997-1027.

Ramankutty, N., Foley, J.A. y N.J. Olejniczak. 2002. People on the Land: Changes in Global Population and Croplands during the 20th Century. *Ambio*, 31: 251-257.

Reboratti, C. 2006. Situación Ambiental de las ecorregiones Puna y Altos Andes. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 33-39.

Richards, J.F. 1990. Land transformation. In: *The Earth as Transformed by Human Action*. Turner et al. (Ed.), pp. 163-178. Cambridge Univ. Press, New York.

Robertson, G.P. y S.M. Swinton. 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3: 38-46.

Rounsevell, M.D.A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R. y T.R. Carter. 2005. Future scenarios of European agricultural land use. II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107: 117-135.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). Estimaciones agrícolas, accesible en http://www.sagypa.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/otros/estimaciones/cultivos

Sala, O.E. et al. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.

Saunders, D.A., Hobbs, R.J. y C.R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation. *Conservation Biology*, 5: 18-32.

Schalerman, J.P.W., Balmford, A. y R.E. Green. 2005. The level of threat to restricted-range bird species can be predicted from mapped data on land use and human population. *Biological Conservation*, 123: 317-326.

Schalerman, J.P.W., Green, R.E. y A. Balmford. 2004. Land-use trends in endemic bird areas: global expansion of agriculture in areas of high conservation value. *Global Change Biology*, 10: 2046-2051.

Schlesinger, W.H. 1991. *Biogeochemistry: An Analysis of Global Change*. Academic, San Diego.

Semwal, R.L., Nautiyal, S., Sen, K.K., Rana, U., Maikhuri, R.K., Rao, K,S. y K.G. Saxina. 2004. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: a case study from central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102: 81-92.

Seto, K.C., Kaufmann, R.K. y C.E. Woodcock. 2000. Landsat reveals China´s farmland reserves, but they are vanishing fast. *Nature*, 406: 121.

Smil, V. 1999. Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles*, 13: 647-662.

Smith, J., Winograd, M., Gallopin, G. y D. Pachico. 1998. Dynamics of the agricultural frontier in the Amazon and savannas of Brazil: analyzing the impact of policy and technology. *Environmental Modelling and Assessment*, 3: 31-46.

Södesrström, B., Kiema, S. y R.S. Reid. 2003. Intensified agricultural land-use and bird conservation in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99: 113-124.

Soto, G. 2006. Situación socio-económica del Chaco Argentino. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 91-94.

Soulé, M.E. 1983. What do we really know about extinction? In: Schonewald-Cox, C.M.,

Chambers, S.M.., MacBride, B. and Thomas, W.L. (Eds.). *Genetics and Conservation. A reference for managing wild animal and plant populations*. Benjamin/Cummings, Menlo Park, California, USA.

Southgate, D., Sierra, R. y L. Brown. 1991. The causes of deforestation in Ecuador: a statistical analysis. *World Development*, 19: 1145-1151.

Stedman, P.A. 1998. *Root Causes of Biodiversity Loss: Case Study of the Brazilian Cerrado*. World Wildlife Fund, Washington, DC.

Stone, T.A., Schlesinger, P., Woodwell, G.M. et al. 1994. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60: 441-451.

Temple, S.A. y J.R. Cary. 1988. Modeling the dynamics of forest interior bird populations in a fragmented landscape. *Conservation Biology*, 2: 305-312.

Tilman, D. 1999. Golbal environmental impacts of agriculture expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Science*, 96: 5995-6000.

Tilman, D. y 10 colaboradores. 2001. Forecasting Agriculturally Driven Global Environmental Change. *Science*, 292: 281-284.

Torrella, S. y J. Adamoli. 2006. Situación Ambiental de la Ecorregión del Chaco Seco. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 75-82.

Turner II, B.L., Moss, R.H. y D.L. Skole. 1993. *Relating Land Use and Global Landcover Change: A proposal for an IGBP-HDP Core Project*. International Biosphere-Geosphere Program: A study of global change and the human dimensions of global environmental change programme. 65 pp.

UNESCO. 1981. *Carte de la Végétation d´Ámerique du Sud*. UNESCO, París.

United Nations. 2001. *World Population Prospects. The 2000 Revision Highlights*. UN Population Division, Department of Economic and Social Affairs, New York.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C. y L. Carreño. 2006. La situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y Malezales. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corcuera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 263-269.

Villard, M.A., Martin, P.R. y C.G. Drummond. 1993. Habitat fragmentation and pairing success in the ovenbird (*Seiurus aurocapillus*). *Auk*, 110: 759-768.

Voglino, D., Maugeri, F.G., Herrera, R.A. y J. Liotta. 2006. Fauna de los talares del extremo norte de la Provincia de Buenos Aires. En: Brown, A., Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y J. Corchera (Eds.), *La Situación Ambiental Argentina 2005*. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 250-254.

Wang, A., Price, D.T. y V. Arora. 2006. Estimating changes in global vegetation cover (1850-2100) for use in climate models. *Global Biogeochemical Cycles*, 20: 1-15.

Wiens, J.A. 1989. *The ecology of bird communities*. Volume 2. *Processes and variations*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Williams, N. 1990. In: *The Earth as Transformed by Human Action*. Turner et al. (Eds.), pp. 179-201. Cambridge Univ. Press, New York.

Wood, S., Sebastian, K. y S.J. Scherr. 2000. *Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems*, 110 pp. International Food Policy Research Institute and World Research Institute, Washington D.C.

Zak, M. 2008. Patrones espaciales de la vegetación de la Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Zak, M., Cabido, M. y J. Hodgson. 2004. Do subtropical seasonal forests have a future? *Biological Conservation*, 120: 589-598.

Zak, M., Cabido, M., Cáceres, D. y S. Díaz. 2008. What drives accelerated land cover change in central Argentina? Synergistic consequences of climatic, socio-econocmic and technological factors. Environmental Management, in press.

TIPO DE COBERTURA	superficie (Km^2)	porcentaje
Bosques tropicales húmedos	6.305.300	35,46
Bosques tropicales secos	1.467.200	8,26
Bosques tropicales inundables	270.500	1,52
Bosques templados	196.800	1,11
Agricultura + mosaicos de vegetación degradada	4.277.000	24,06
Sabanas	1.410.200	7,93
Matorrales	1.532.800	8,62
Pastizales	1.513.100	8,52
Vegetación abierta (desiertos, suelo descubierto, salinas,etc)	549.900	3,09
Cuerpos de agua (naturales y artificiales)	220.200	1,24
Hielo y nieve	23.900	0,13
Urbanizaciones	11.400	0,06
TOTAL	17.748.200	99,65

Tabla 1. Superficie cubierta por distintos tipos de cobertura en Sudamérica y porcentaje de la cobertura total. Fuente: modificado de Eva et al. (2004).

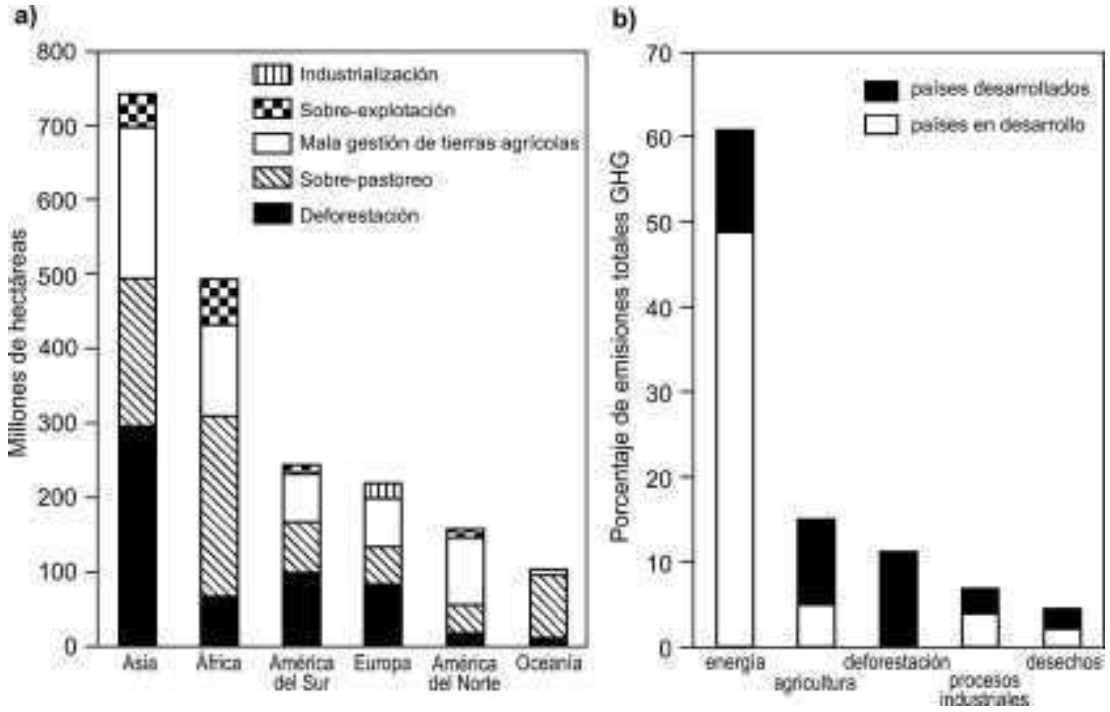


Fig. 1. Importancia relativa de la agricultura en a) la degradación de los suelos en diferentes continentes, y b) la emisión de gases de efecto invernadero en países desarrollados y en desarrollo. Fuentes: a) Le Monde Diplomatique 2008, El Atlas del Medio Ambiente; b) United Nations Framework Convention on Climate Channge (www.unfcc.int).

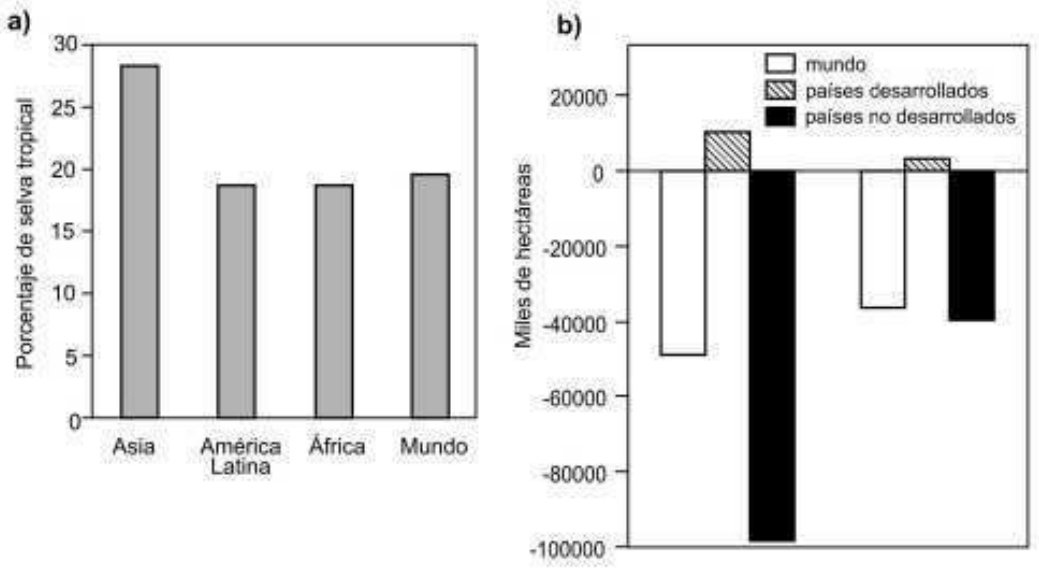


Fig. 2. Evolución de la superficie cubierta por bosques en el Mundo: a) porcentaje de bosques tropicales eliminados entre 1960 y 1990; b) cambio neto en la extensión de bosques en el mundo y en países desarrollados y en desarrollo entre 1990 y 2005. Fuente: World Resource Institute.

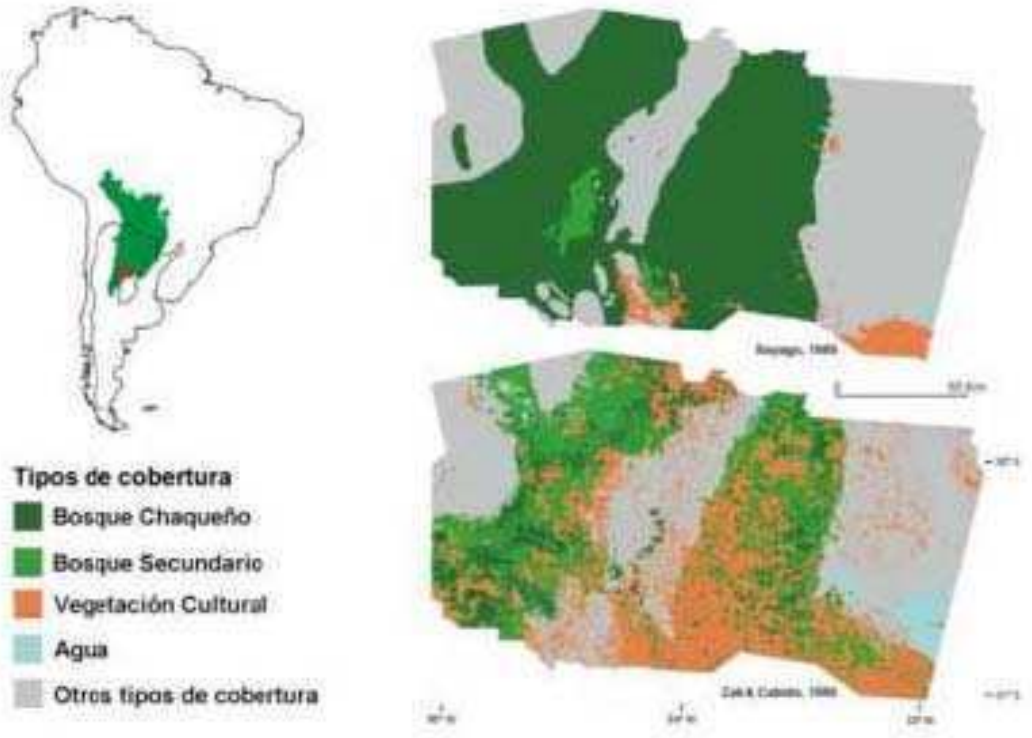


Fig. 3. Fragmentación del bosque chaqueño en el norte de la Provincia de Córdoba. Fuente: Zak et al. (2008).

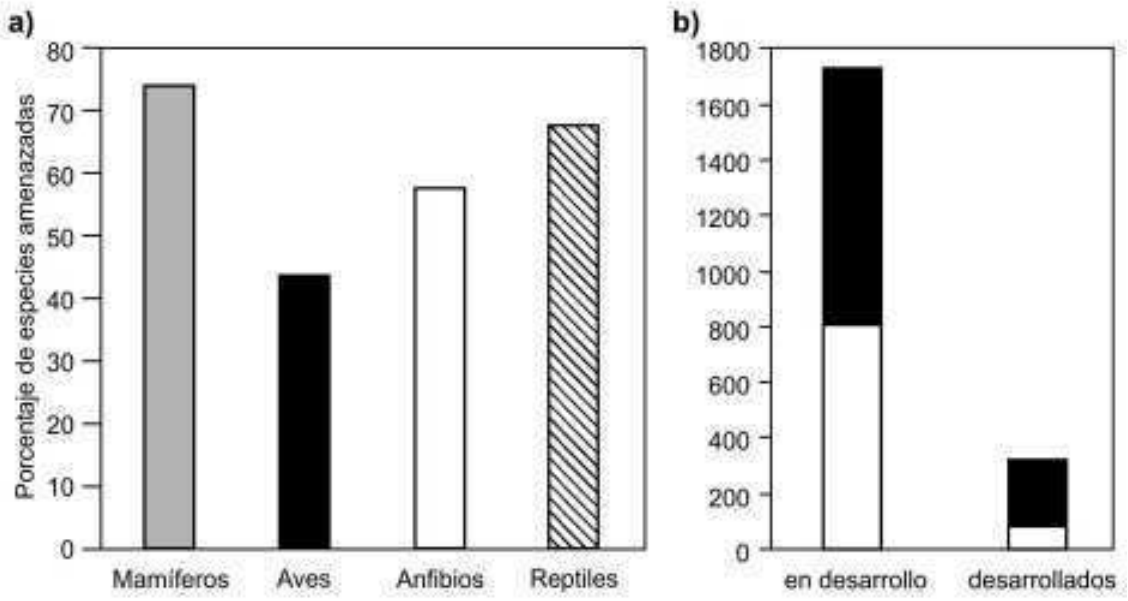


Fig. 4. a) Porcentaje de especies de animales amenazados o en peligros de extinción en el mundo (1996) por pérdida y fragmentación de hábitats; b) número de especies de aves en peligro de extinción en países desarrollados y en vías de desarrollo; en blanco, el número explicado por la expansión de la agricultura. Fuente: Bryant, D., Nielsen, D and L. Tangley. 1997. Last frontiers forests: Ecosystems and Economy on the edge. Global Forest Watch (GFW).

Fig.5. Evolución del área sembrada y producción de total de granos en Argentina en el período 1941/42 a 2001/02. Fuente: elaborado a partir de datos de FAOSTAT.

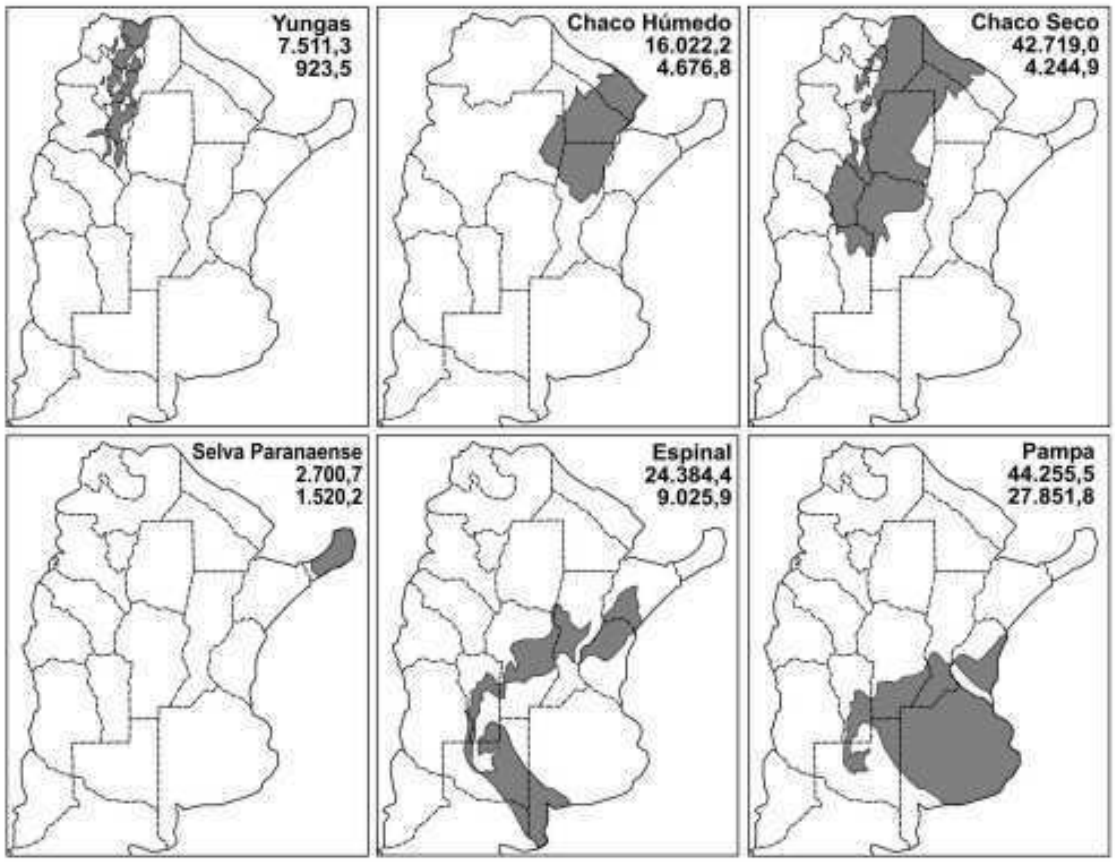


Fig. 6. Ecorregiones de la República Argentina con potencialidad agrícola y superficie afectada por conversión de hábitats. Fuente: elaborado a partir de datos en Brown y Pacheco (2006).

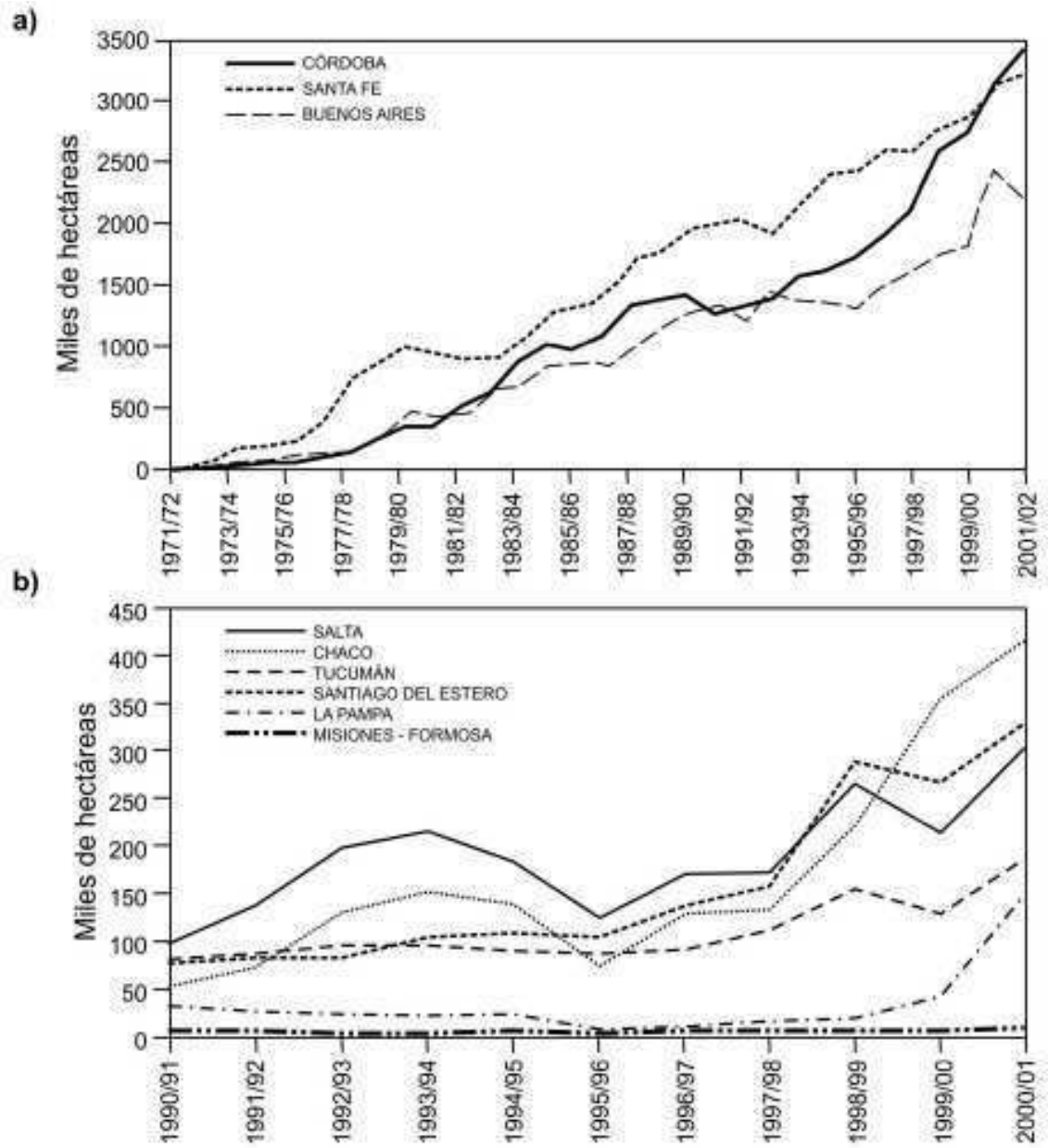


Fig. 7. Evolución de la superficie sembrada con soja en: a) provincias pampeanas y b) extrapampenas (se incluye aquí a la provincia de La Pampa). Fuente: SAGyP.

Capitulo 8
Agricultura, clima y ambiente en Argentina: Tendencias, interacciones e impactos

Ernesto F. Viglizzo

1. La expansión agrícola en Argentina

Beneficio económico y costo ambiental

El uso de la tierra (que refleja el planteo productivo predominante en el sector rural) y la adopción de tecnología (vinculada a una mejora en la eficiencia productiva) son los dos factores centrales que el productor controla para aumentar la productividad y mejorar su beneficio económico (Rabinovich y Torres, 2004). Pero esos dos factores de cambio son también causa de un costo ambiental que resulta a menudo tan involuntario como desconocido. Como norma general, el productor toma sus decisiones en base a una relación económica entre beneficios y costos. Sin embargo, es poco común que en esas decisiones aparezca la relación entre el beneficio económico y el costo ambiental.

Aunque sea de uso poco habitual, esos conflictos a nivel de potrero o predio son relativamente sencillos de estimar. Un ejemplo simple que podemos tomar de un típico planteo de bajos insumos, es la pérdida de fertilidad química o física de los suelos cuando aumenta la proporción de cultivos anuales de cosecha. Si esa pérdida de fertilidad fuera valorada en términos económicos y computada como un costo real del sistema de producción, caeríamos en la cuenta que la rentabilidad real de la empresa es menor que la estimada en un análisis convencional de gestión económica.

Esa valoración resulta, en cambio, menos sencilla cuando saltamos a escalas mayores.

La expansión territorial de los cultivos anuales

En la primera mitad del siglo XX, hubo una co-evolución entre ganadería y agricultura, bajo condiciones extensivas o semi-intensivas, que consolidó el clásico y efectivo modelo de rotación de cultivos con pasturas y forrajeras anuales. Pero recientemente, la intensificación agrícola de la pradera pampeana durante los ´90 y comienzos del nuevo siglo, estuvo acompañada por una notoria intensificación de los

planteos ganaderos. Este nuevo planteo impone, en superficies reducidas, una alta densidad de animales sometidos a un engorde intensivo a corral (lo que denominamos "feed-lot" criollo) con granos y forrajes procesados (heno, silaje, etc.). La agricultura aporta la mayor parte de los insumos que requiere la ganadería, y ambas actividades (agricultura y ganadería), que antes se articulaban en esquemas extensivos de rotación de cultivos, ahora aparecen desacopladas y altamente especializadas, inclusive con administración independiente (Viglizzo, 2007). Tal cambio introdujo una modificación adicional en la funcionalidad de estos ecosistemas que, para sostener una mayor productividad, reciben más insumos y generan más residuos y desechos que afectan al ambiente (nutrientes, aguas residuales, plaguicidas, antibióticos, etc.). En tanto, el modelo tradicional de ganadería en rotación con la agricultura experimentó un desplazamiento hacia el oeste de la región, y está en parte re-localizada en una franja occidental que se angostó en el tiempo.

A una escala territorial amplia, han sido los cultivos anuales quienes causaron las más importantes modificaciones del paisaje en Argentina. El reemplazo de tierras naturales y ganaderas por tierras agrícolas fue el cambio más notorio que experimentó la agricultura a lo largo del siglo 20 (Timm, 2004). Como se aprecia en la Figura 1, la agricultura, concentrada durante la década del ´60 en la pradera pampeana, se expandió sobre las tierras del Gran Chaco en el norte argentino durante los años ´80, alcanzando en tal región algunos focos de alta densidad de cultivo a comienzos del siglo 21 (Adámoli, 2006). Dos características adicionales han marcado la expansión agrícola de los últimos años: a) la "veranización" de los planteos agrícolas (en la mitad Norte de la pradera pampeana y hacia el Norte del país), en el cual los cultivos de verano se expandieron a expensas de un estancamiento de los cultivos de invierno, y b) la llamada "sojización" de la agricultura, en la cual la soja se expandió explosivamente sobre el resto de las especies (Carreño y Viglizzo, 2007).

Si se toma la pradera pampeana como caso testigo, es menester señalar que los patrones de expansión agrícola han sido marcadamente asimétricos y heterogéneos (Figura 2). Durante los últimos 35-40 años, este proceso ha sido acompañado en la pradera pampeana por un aumento persistente de los rendimientos de los principales cultivos

(Figura 3). Aunque declinantes, los cultivos de invierno aún dominan en el sur; en cambio los de verano lo hacen en el norte de la región. Las curvas de cultivos de invierno y de verano tienden a cruzarse en la pampa central, lo cual indica una transición norte-sur en la dominancia de ambos tipos de agricultura. La asimetría observada en la expansión de los cultivos está modulada por las limitaciones bio-físicas particulares (lluvias, calidad edáfica, profundidad de suelos, altura de napas, capacidad de drenaje, etc.) de cada área agro-ecológica homogénea (INTA/UNDP, 1990). Esta peculiaridad tiende a desmitificar la creencia popular de que la agricultura se ha expandido homogéneamente y sin altibajos en toda la región pampeana.

En los últimos tiempos se señala que la agricultura de cosecha anual tiende a generar “frentes estructurantes de avance” en lugar de fronteras. Esto significa que toda expansión de los cultivos sobre áreas naturales genera una base de infraestructura de servicios (autopistas, rutas, puentes, asentamientos urbanos y comerciales, etc.) que tiende a consolidar el proceso, principalmente en regiones deforestadas (Rudel, 2007). Sin duda, esto contribuye a acelerar aún más la transformación del paisaje rural que ha sido intervenido, y afectar la provisión natural de bienes y servicios ecológicos.

2. Implicancias funcionales de la expansión y la intensificación agrícola

La conversión de tierras y la incorporación de tecnología (principalmente de insumos) durante el último siglo han afectado inevitablemente la estructura y la funcionalidad de los ecosistemas (Solbrig y Viglizzo, 1999, Viglizzo et al., 2001, Viglizzo et al., 2003, Casas, 2001). Sus impactos son notorios en funciones ecológicas esenciales como el flujo de energía, la relación flujo-stock de carbono, el ciclado de nutrientes, el proceso hidrológico y el patrón eco-toxicológico de las áreas convertidas.

Impacto de la expansión agrícola en áreas naturales

Como se señalara en el título anterior, la mayor expansión agrícola ha ocurrido en la región pampeana, aunque hoy se proyecta geográficamente hacia el Gran Chaco y el NO argentino. Sin embargo, para la opinión pública resulta particularmente preocupante el avance de la agricultura y la ganadería sobre dos grandes eco-regiones de alta vulnerabilidad ecológica. Tal es el caso de las de las Yungas en el NO, y de la Selva

Paranaense en el NE argentino.

Pese a su baja singularidad continental, las Yungas argentinas merecen atención por la larga historia de intervenciones antrópicas en las áreas pedemontanas más bajas y con mayor aptitud agrícola. Sobre ellas han avanzado los monocultivos de caña de azúcar, soja, tabaco, poroto, cítricos, etc., la explotación forestal, la captura comercial de aves, la caza furtiva y los emprendimientos inmobiliarios cercanos a ciudades importantes. Gran parte de su valor radica en la biodiversidad que, aunque menor que la de la selva paranaense, comparte con ella muchas especies. De las casi 5 millones de hectáreas que cubren las yungas en la Argentina, la superficie efectivamente protegida sólo alcanza a un 5% del área total. Aunque las autorizaciones de desmonte parecen más restringidas en la actualidad, la provincia de Salta autorizó en los últimos 10 años el desmonte de unas 500.000 hectáreas. La cifra real ha sido seguramente mayor (SAyDS, 2004; Brown et al., 2006).

La Selva Paranaense en la provincia de Misiones, que comparte atributos biofísicos con las selvas de Paraguay y Brasil, conforma la mayor área continua del denominado bosque atlántico remanente en el mundo. Pese a su aspecto homogéneo, posee la mayor riqueza de árboles (más de 100 especies) y de biodiversidad del país. Se reconocen cinco estratos distintos de vegetación que ofrecen una gran variedad de nichos para la fauna. Se considera que la afecta un nivel de degradación de moderado a alto, superior a la de las yungas. Es preocupante la extracción selectiva de maderas valiosas y el reemplazo del bosque natural por forestaciones con especies exóticas (coníferas y eucaliptos) o monocultivos (té, tung, yerba mate, tabaco, soja, etc.). Quizás estas alteraciones expliquen las inundaciones que afectan la cuenca del Paraná superior. El panorama se complica por la construcción de las grandes represas hidroeléctricas de Urugua-í y Yacyretá. De una superficie estimada superior a las 2.7 millones de hectáreas, 445.503 hectáreas (16 %) han sido legalmente declaradas como áreas protegidas (federales, provinciales, municipales y privadas), aunque su implementación efectiva plantea dudas (SAyDS, 2004; Plací y Di Bitetti., 2006).

La incorporación de tecnología

Los rendimientos de los granos a escala mundial en el último siglo (Tilman et al., 2002) muestra un llamativo cambio de tendencia a partir de la post-guerra (décadas de 1950

y 1960). Ocurrió en esos años una fuerte intensificación de la agricultura basada en el uso creciente de insumos y otras tecnologías que dieron nombre a la Revolución Verde. En la agricultura argentina hubo un retraso de unos 20-30 años en la inflexión de la tendencia (Salvador, 2001). Los aumentos de producción bruta en la pradera pampeana estuvieron marcados por una expansión sobre nuevas tierras hasta los años ’70 y ´80 (Viglizzo et al., 2002), y a partir de entonces, el salto productivo se puede explicar por un uso más intensivo de insumos tecnológicos.

La agricultura argentina en general –y la pampeana en particular- se ha expandido en los últimos 20 años dentro de una matriz tecnológica enmarcada por cultivos transgénicos, siembra directa, creciente uso de fertilizantes y plaguicidas y, en menor medida, agricultura de precisión (Satorre, 2005, Viglizzo et al., 2002b). El cultivo de soja lideró la incorporación de tecnología a través de la expansión de variedades transgénicas (resistentes a glifosato) y del uso exponencial del glifosato como herbicida básico. El cambio se manifestó en un aumento muy rápido de la superficie cultivada y de los rendimientos del cultivo (Martínez-Ghersa y Ghersa, 2005; Trigo, 2005).

Impacto sobre la funcionalidad de los ecosistemas

A escala global, el reemplazo de pastizales naturales y bosques nativos por praderas artificiales, y la posterior sustitución de estas praderas por cultivos anuales con la consecuente incorporación de tecnología, permitieron elevar significativamente la productividad biológica y económica de las tierras explotadas (Tilman et al. 2002). Pero al mismo tiempo, modificaron los flujos de energía, los ciclos minerales, el proceso hidrológico, la estabilidad y fertilidad de los suelos, el hábitat y la biodiversidad (ver capítulo 6 en esta misma obra), y el patrón eco-toxicológico de las regiones intervenidas (Carreño y Viglizzo, 2007).

Durante la conversión de los sistemas naturales en agro-ecosistemas en la región pampeana, surgieron sistemas de producción, con características contrastantes. Para apreciar esas diferencias, basta comparar tres tipologías bastante distintas: el sistema ganadero de cría-recría, el sistema mixto ganadero-agrícola, y el sistema agrícola puro (Viglizzo et al., 2001).

Desde un punto de vista funcional, el ganadero de cría es un sistema de baja productividad que funciona básicamente con un presupuesto energético de origen solar (utiliza poca energía fósil), tiene bajo ingreso y egreso de energía y nutrientes (o sea, baja productividad), y acredita un robusto ciclo mineral en el cual la mayor parte de los nutrientes que circulan retornan al sistema. En términos biológicos es el sistema más diversificado en relación a las especies que intervienen en el proceso productivo. Por tal razón, los procesos biológicos se suceden y superponen sin discontinuidad temporal. Funcionalmente, es el planteo que más se asimila a un ecosistema natural.

La situación es bastante distinta en un sistema mixto que produce carne y granos. La productividad biológica aumenta considerablemente. Como la movilización de energía y nutrientes es mayor, la energía solar no es suficiente para hacer funcionar todo el proceso productivo. Es necesario reforzarlo mediante una inyección extra y sostenida de energía fósil. Lo propio pasa con los nutrientes. Como el egreso es mayor que el ingreso, es necesario compensar el balance negativo mediante fertilización (o mediante fijación biológica, en el caso del nitrógeno). Consecuentemente, el ciclo mineral se debilita y solo se reinvierte en el sistema una parte de los nutrientes que circulan. El sistema se torna menos diversificado en términos biológicos, ya que intervienen menos especies en el proceso productivo. Los procesos biológicos se tornan más pulsantes en respuesta a los ciclos productivos estacionales de esas especies.

La funcionalidad del sistema se altera considerablemente en el caso de un planteo productivo de agricultura intensiva continua. Debido a sus altos ingresos y egresos de energía y materia, el sistema se torna muy abierto. Mientras los flujos de energía y nutrientes que ingresan al sistema (como combustible fósil, fertilizantes y plaguicidas) y salen del mismo (como productos) se robustecen, los ciclos minerales se debilitan de manera considerable. Es un sistema muy dependiente del subsidio externo de insumos. El exceso de fertilizantes y plaguicidas suele ser causa común de episodios de contaminación de agua y aire. En términos biológicos, el sistema ha sido muy simplificado, ya que todo el proceso productivo gira alrededor de dos o tres especies de alta productividad biológica y, en general, de alta rentabilidad. Los procesos biológicos, por su lado, están modulados por pulsos muy fuertes y discontinuos que se ajustan exactamente al ciclo productivo de las

pocas especies que intervienen en el juego.

3. Productividad, estabilidad y sustentabilidad agro-ecológica de los sistemas de producción

En condiciones de bajos insumos, trabajos de varios autores (Merten, 1987, Conway, 1988, Viglizzo y Roberto, 1998) han demostrado que existe una relación de conflicto (*trade-off*) entre productividad y estabilidad productiva. Esto significa que el precio que suele pagarse por aumentar la productividad del sistema, es una caída potencial de la estabilidad (medida por un aumento del riesgo productivo). Al ocurrir un reemplazo de ecosistemas naturales por agro-ecosistemas en condiciones de bajos insumos, es esperable un aumento de productividad agropecuria pero, al mismo tiempo, una caída de la estabilidad productiva. Para compensar esa pérdida de estabilidad, el productor tiende a diversificar sus actividades para diluir el riesgo (Viglizzo y Roberto, 1998). Por tanto, distintos *trade-offs* entre productividad y estabilidad pueden emerger cuando decidimos cambiar la funcionalidad del sistema de producción aumentando el área cultivada y el uso de insumos.

Bajo condiciones de bajos insumos, también puede existir una relación de conflicto entre productividad y algunos indicadores de sustentabilidad ecológico/ambiental. Por ejemplo, la sustentabilidad productiva de los suelos se suele ver amenazada por la erosión y la pérdida de materia orgánica y de nutrientes. Pero también otros indicadores pueden resultar modificados. Trabajos de Viglizzo et al. (2003, 2006) demuestran que a medida que aumenta el área de cultivos anuales a expensas del área ganadera, ocurren cambios esperables y predecibles: a) el consumo de energía fósil y la productividad energética del sistema aumentan, b) el margen bruto anual por hectárea lo hace en igual proporción, c) el balance de nitrógeno (N) es positivo en tanto no existan cultivos anuales o mientras intervengan leguminosas forrajeras que fijan N o se fertilice, pero ese balance se torna negativo cuando la extracción excede a la incorporación de N por fertilizantes, d) el balance de fósforo (P) es casi siempre negativo por un desequilibrio entre extracción y fertilización fosforada, e) el riesgo relativo de contaminación por plaguicidas aumenta con la superficie cultivada, al igual que la pérdida de sedimentos por erosión. Y f) aunque la pérdida de materia orgánica tiende a incrementarse con la superficie cultivada anualmente,

paradójicamente g) la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) decae en igual sentido. Respecto a este último indicador, es evidente que el manejo del fuego en los sistemas ganaderos de cría es una fuente emisora de GEI potencialmente importante. Asimismo, la ganadería extensiva actúa como una fuerte emisora de metano (CH_4), gas que posee alta potencia invernadero (21 veces superior al anhídrido carbónico, que es el GEI dominante). No debe sorprender, por tanto, que los planteos ganaderos posean un potencial de emisión de GEI que resulta más alto que el de los planteos agrícolas.

Del análisis de estos indicadores no podemos inferir que existe una relación estrictamente inversa entre la productividad del sistema de producción y todos los indicadores de comportamiento ecológico/ambiental. Algunos indicadores tienden a desmejorar significativamente cuando aumenta la productividad, otros lo hacen en menor proporción, y otros tienden a mejorar. El comportamiento depende de los sistemas de producción que se consideren y de los indicadores que se seleccionen para compararlos.

El ambiente rural y los servicios ecológicos en Argentina

Durante la década de 1990 tuvo lugar una vigorosa corriente de investigaciones en economía ambiental orientada a determinar el valor económico de los denominados servicios del ecosistema. Aunque existen diversas metodologías para estimar el valor económico de los servicios del ecosistema (ver capítulo 5 en esta misma obra), en términos bio-físicos éstos son aportados por funciones ecológicas que carecen generalmente de un valor de mercado, pero que son indispensables para sostener la vida en el planeta. La regulación de gases, la regulación del clima, la regulación de disturbios naturales, el suministro de agua, el ciclado de nutrientes, el control de la erosión, la provisión de alimentos y materias prima, la eliminación de desechos, etc., son algunos servicios naturales cuya destrucción tiene, para el hombre, un costo económico considerable cuando deben ser reemplazados artificialmente.

Elaborar un mapa de oferta de servicios ecológicos en la Argentina es una tarea compleja pero necesaria para identificar las áreas de mayor vulnerabilidad ecológica-ambiental, y concentrar nuestra atención sobre ellas. En este caso, el concepto de vulnerabilidad está asociado a la oferta relativa de servicios ecológicos, porque los ecosistemas que los proveen en mayor cantidad, están más expuestos a perderlos frente a

una intervención humana o una catástrofe natural. Los valores obtenidos en un estudio realizado por Carreño y Viglizzo (2007) ofrecen una primera aproximación para detectar las eco-regiones del país con mayor oferta relativa de servicios ecológicos (Figura 4). Las eco-regiones correspondientes a los Esteros del Iberá y Delta del Paraná son las que acreditan la mayor oferta relativa de servicios ecológicos dentro del territorio argentino. Esta elevada concentración de servicios se explica por la alta proporción de espacio territorial cubierto con humedales, los cuáles son sistemas de hidrología muy dinámica que proveen numerosos servicios esenciales para la sociedad, como el control de inundaciones, la purificación de aguas, la protección contra tormentas, el ciclado de nutrientes, el tratamiento de residuos, la provisión de hábitat, etc. Según Costanza *et al*. (1997) estos servicios en conjunto suman más del 80% del valor económico total de un humedal. Los cálculos indican, asimismo, que las eco-regiones de las Yungas, la Selva Paranaense y los Bosques Andinos Patagónicos les siguen en orden decreciente de importancia. Por su predominio en bosques de pendiente (montanos y pede-montanos), el sistema de las Yungas actúa como un potente regulador y estabilizador de caudales hídricos y ofrece, asimismo, un hábitat que sustenta una rica diversidad biológica. Los bosques de la Selva Paranaense y los Bosques Andinos Patagónicos, tienen un valor de uso directo (alimentos, materias primas, productos farmacéuticos, etc.), pero también tienen un alto valor indirecto al proveer una gran variedad de servicios ecológicos como la regulación y purificación de aguas, la protección del suelo contra la erosión, la regulación del clima local y la purificación del aire, la protección contra las tormentas al actuar como barreras rompevientos; el secuestro de carbono, la provisión de hábitat y el aporte de servicios culturales. Las restantes eco-regiones poseen moderados a bajos valores de oferta de servicios ecológicos. Las de menor valor relativo son la región Pampeana (zona del país con mayor cantidad de superficie destinada al cultivo y la ganadería y altamente urbanizada) y las zonas más áridas del país donde las condiciones climáticas extremas limitan la oferta de servicios ecológicos (Puna, Monte de Sierras y Bolsones, Altos Andes y Estepa Patagónica).

Si se sumara el valor total de los servicios ecológicos producidos por el país, aproximadamente el 87% es aportado solamente por 5 eco-regiones (Esteros del Iberá,

Delta e Islas de la Mesopotamia, Yungas, Selva Paranaense y Bosque Andino Patagónico). Una simple aplicación del sentido común indicaría que las eco-regiones con mayor densidad de servicios ecológicos deberían, quizás, tener tratamiento prioritario en una estrategia nacional de conservación ecológico-ambiental del espacio rural en el país.

4. Impacto de la expansión agrícola sobre indicadores sociales y económicos en los ambientes rurales

No siempre es posible encontrar un vínculo directo de causalidad entre la expansión agrícola y el cambio socio-económico. En un trabajo reciente que comprendió 6 provincias y 96 departamentos del Norte Argentino, Paruelo et al. (2004) no encontraron ninguna relación significativa entre la expansión agrícola en general y la proporción de habitantes con necesidades básicas insatisfechas, ni tampoco con sus cambios temporales. Utilizando otros indicadores, la situación parece ser algo diferente en la pradera pampeana (Viglizzo, 2007). En el Cuadro 1 se presentan algunos indicadores socio-económicos de la pradera pampeana (la región mejor dotada de información) que pueden vincularse a la agro-ecología regional. Tales indicadores son las exportaciones agropecuarias, el ingreso económico, el % de población rural y el número de trabajadores rurales. Dos conclusiones preliminares surgen de esos datos:

1) La producción de alimentos parece tener la conexión más directa con el bienestar humano en la pradera pampeana. Contribuye no solo a mantener e incrementar el ingreso económico en las áreas rurales y en los centros urbanos que de ellas dependen, sino que genera excedentes exportables que son esenciales para la economía argentina.

2) El aumento de la migración rural hacia las ciudades y la declinación de empleos rurales sugieren que los ecosistemas pampeanos están perdiendo su capacidad para sostener una población rural estable. No obstante, este fenómeno aparece también asociado a una combinación de causas directas e indirectas, tales como a) la mecanización creciente que reemplaza trabajo humano, b) las mejores oportunidades sociales, económicas y culturales que brindan las ciudades, y c) los servicios (como educación, seguridad, salud, comunicaciones, etc.) que ofrecen las ciudades y no ofrece el campo.

Un análisis de datos de empleo rural aportados por el Censo Nacional Agropecuario

2002 del INDEC muestra resultados algo contrastantes. El más llamativo surge en la Pampa Ondulada, la región de mayor potencial agrícola en Argentina. Los sistemas de producción con mayor índice anual de cultivo son los que presentan los índices más bajos de empleo rural (Figura 5). Esta relación inversa puede encontrar una explicación hipotética en el alto nivel de tecnificación agrícola alcanzado en esa zona, que ha determinado una importante sustitución de mano de obra por tecnología. Es probable que los denominados "pools de siembra", que rentan una alta proporción de tierras, contribuyan a explicar ese fenómeno. Tal relación no parece sostenerse en otras zonas del país con menor potencial para los cultivos anuales. Desde el punto de vista social, como la ganadería duplica en empleados a la agricultura tradicional, la conversión de tierras ganaderas en tierras agrícolas significó una pérdida neta de empleos rurales. Sin embargo, esta pérdida fue compensada con empleos que se multiplicaron en los distintos eslabones de la cadena agroindustrial (Begenisic, 2007), generando un balance con superávit laboral.

5. Las incógnitas del cambio climático en la agricultura argentina

Más allá del intenso debate que se ha desplegado en torno a este tema, no es posible predecir a ciencia cierta qué impacto puede tener el cambio climático global sobre la agricultura argentina. No obstante, a partir de tendencias climáticas que se han definido a lo largo del siglo 20, es posible especular acerca de cambios posibles o esperables.

Clima y expansión agrícola

Pese a que existen opiniones no coincidentes (ver capítulo 3 en este misma obra), el aumento de las precipitaciones de verano que el IPCC (2007) proyecta para gran parte del área productiva (pradera pampeana y región chaqueña) podría ampliar significativamente las posibilidades de expandir la frontera agrícola con cultivos estivales, los cuales muestran mayor rentabilidad (en particular, la soja) que los cultivos de invierno. Asimismo, el mejoramiento del régimen hídrico jugaría a favor de un incremento de los rendimientos a la cosecha. Debido al aumento de la temperatura media, esta mayor potencialidad productiva podría verse en parte contrarrestada por un acortamiento del ciclo vegetativo de los cultivos, lo cual deterioraría su rendimiento potencial.

El desplazamiento de las isoyetas sobre áreas marginales para la agricultura

registrado en los últimos 40 años, ha tenido también dos consecuencias negativas: a) impulsaría un avance de los cultivos sobre suelos frágiles generando un mayor riesgo de erosión y desertificación (como ya ha ocurrido en las franjas occidentales de la región pampeana), y b) dispararía un proceso adicional de desplazamiento de las actividades ganaderas (que estabilizan la ecología regional) hacia áreas marginales. El reemplazo de pastizales y pasturas por cultivos anuales aumentan el riesgo biofísico y económico de los sistemas de producción en esas áreas periféricas.

El reemplazo de tierras boscosas naturales por tierras de cultivo podría ser favorecido por un aumento de las precipitaciones. Numerosos servicios ecológicos que proveen los bosques (regulación de aguas, control de inundaciones, regulación climática, biodiversidad, etc.) resultarían inevitablemente dañados en las regiones más intervenidas por el hombre.

El aumento de temperatura y humedad puede favorecer la proliferación de insectos nocivos, generando una mayor frecuencia e intensidad de ataque a cultivos de importancia económica. Igualmente, ambas condiciones son propicias para la proliferación de enfermedades causadas por hongos y bacterias. Puede ocurrir que enfermedades que tienen amplia expansión en los trópicos se diseminen sobre regiones agrícolas templadas (ejemplo, la roya asiática en soja).

Si se consolida en el tiempo la tendencia a llover más como indican las observaciones registradas en el último siglo y los modelos climáticos, algunas regiones productivas del país estarían expuestas a un riesgo creciente de inundación. Quizás los mayores riesgos se localizarán en el litoral argentino, donde las lluvias y los episodios pluviométricos extremos tienden a aumentar. Parte de los problemas serán locales, pero otra parte se originará en la alta Cuenca del Plata (Brasil y Paraguay) y se proyectará aguas abajo hacia las tierras bajas de la cuenca. Probablemente los ríos Paraná y Uruguay serán los receptores naturales de esos excesos hídricos e inundarán las áreas más expuestas de la región, algunas de ellas de alta importancia productiva. El problema se puede tornar más preocupante si tenemos en cuenta que alrededor del 75 % de la población del país está asentada en la baja Cuenca del Plata. También podría esperarse durante el período estival un riesgo de inundación incrementado en tierras pedemontanas

de la selva Tucumano-Boliviana (Yungas). La propia expansión de la agricultura sobre áreas boscosas en pendiente inducida por las mayores precipitaciones, puede ser causa de un mayor riesgo de inundación en tierras bajas o pedemontanas.

Igualmente, es necesario prever un aumento de los riesgos de inundación en cuencas cerradas (ejemplo, cuenca del Río Quinto) y tierras bajas (ejemplo, la depresión del río Salado) de la pradera pampeana que suelen tener un alto valor productivo e inmobiliario. La emigración de la población rural hacia áreas urbanas y áreas menos vulnerables puede ser una secuela social indeseable de la extensión de estos fenómenos.

Clima y ruptura del ecosistema: Lo que la historia enseña

Dos episodios históricos contrastantes merecen ser rescatados como lecciones del impacto que el clima, en condiciones extremas, puede tener en un ecosistema agropecuario de alta importancia económica. Estos dos episodios, que tuvieron lugar en el área occidental de la pradera pampeana, son: 1) el denominado *"dust-bowl"* pampeano, signado por una gran sequía y voladura de suelos entre las décadas del 30 y el 50, y 2) las inundaciones de la baja cuenca del Río Quinto en las décadas del 80 y 90 (Viglizzo y Frank, 2006).

Un uso abusivo del suelo, acompañado de un período muy seco y tecnologías inapropiadas para los suelos de las pampas semiárida y sub-húmeda, desataron una catástrofe ecológica sin precedentes que llevó a la quiebra y a la emigración forzada de muchos productores de la región. La voladura de suelos, las tormentas de arena, la formación de dunas, la pérdida de cultivos y la muerte de ganado fueron los signos visibles de esa crisis de alcance regional. Pero al mejorar las condiciones climáticas acompañadas por la tecnología, las leyes y las instituciones de la región, se inició un proceso de recuperación del ambiente productivo que tuvo como pivote y motor a una ganadería extensiva que permitió más tarde evolucionar hacia los exitosos sistemas mixtos de la región.

La escena opuesta ocurrió durante las décadas del 80 y el 90, a partir de una fase húmeda del ciclo climático que se inició en la década de 1960. En un período de rápida expansión de la agricultura de cosecha en respuesta a las mayores lluvias ocurrieron, en el

área inundable de la cuenca del Río Quinto (NE de La Pampa y NO de Buenos Aires), episodios recurrentes de inundación que dispararon una llamativa alternancia de ciclos de cultivo y ciclos de anegamiento. Cuatro factores parecen estar relacionados con estos episodios de inundación: 1) el ciclo húmedo que predominó en la región, 2) el consecuente ascenso de las napas freáticas, 3) la condición topográfica de la cuenca, y 4) la expansión de los cultivos anuales. Estudios preliminares (aún no publicados) realizados por Viglizzo et al. sugieren que la interacción de estos cuatro factores puede explicar la recurrencia de este fenómeno.

6. Entre la utopía y la realidad

En los últimos años se ha desarrollado una concepción de agricultura con funciones múltiples que, de consolidarse, sugiere una transición hacia sistemas rurales alternativos complementarios de los tradicionales (Vereijken, 2002). El modelo tradicional (que todavía predomina en gran parte del mundo y en nuestro país) se ha especializado en la producción de alimentos y fibras como la principal fuente de ingresos y de empleo para el productor y el habitante rural. La visión multi-funcional, en cambio, enfatiza una mayor diversidad de actividades agropecuarias (que la alejan de la alta especialización) y la oferta de otros servicios que proveen los ambientes rurales, y que se consideran esenciales para mantener la calidad de vida del entorno. Dentro de esos servicios se valoran especialmente (a) la generación de trabajo y el equilibrio demográfico en el territorio rural, (b) la conservación del aire puro y la purificación natural de las fuentes de agua dulce, (c) el mantenimiento del paisaje y el hábitat para la vida silvestre, (d) el control de causas y efectos del calentamiento global, (e) la regulación de aguas para el control de inundaciones, (f) la preservación del patrimonio histórico-cultural, (g) la recreación y el eco-turismo, y tal vez en una posición mas rezagada, (h) la provisión de alimentos, fibras y materias prima. Es necesario reconocer que la agricultura multi-funcional connota, inevitablemente, una gestión ordenada del territorio, que debe ser asumida como un proyecto colectivo de las comunidades organizadas. Las autoridades de gobierno, los grupos de interés (económico, social, ambiental, cultural), los usuarios de la tierra, y la propia comunidad científica/tecnológica conforman la fuerza de tareas que necesita enfrentar este desafío. El mejor conocimiento científico y técnico disponible es el combustible que debe motorizar

esta interacción para racionalizar estrategias viables y efectivas.

No obstante, es conveniente no caer en concepciones simplistas. Esta visión multi-funcional, que parece realista y viable en algunos países europeos desarrollados, puede resultar todavía utópica en países en desarrollo. En otras palabras, el modelo suena factible en sociedades en las cuales otros sectores de la economía están en condiciones de subsidiar al ambiente rural, pero parece inviable en países donde es el agro quien, como generador de recursos económicos, subsidia a otros sectores de la sociedad.

Los estudios que apuntan a vincular al agro con la ecología y el ambiente con un criterio realista indican que:

1) en términos ecológico-ambientales, el territorio argentino es marcadamente heterogéneo, ya que la densidad de oferta de servicios ecológicos varía ampliamente de una eco-región a otra del país,

2) dado que la mayor oferta nacional de servicios ecológicos parece estar concentrada solamente en cinco eco-regiones (Esteros del Iberá, Delta e Islas de la Mesopotamia, Yungas, Selva Paranaense y Bosque Andino Patagónico), éstas deberían ser reconocidas como la principal “fábrica” de bienes y servicios eco-sistémicos del país. El razonamiento más elemental sugiere que sería una utopía tanto tratar de convertir a las tierras productivas de la pradera pampeana en una fábrica de servicios ecológicos que naturalmente no provee, como intentar que los valiosos humedales del litoral argentino se conviertan en una factoría de alimentos en lugar de potenciar su capacidad para proveer servicios ecológicos irreemplazables.

3) la alta capacidad de oferta de servicios ecológicos confiere a las eco-regiones identificadas más arriba, una ventaja comparativa potencial nada desdeñable en la medida que algunos de sus servicios, todavía intangibles, adquieran un valor tangible en los mercados futuros. En este sentido, eco-regiones que hoy muestran baja competitividad en términos de su producto geográfico agropecuario, pueden alcanzar alta gravitación económica en un mercado futuro que valorice y pague por los bienes y servicios ecológicos que ofrecen. En varios países en desarrollo (Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Honduras, Méjico, Nicaragua, Sudáfrica, Zimbabwe) y desarrollados (Alemania, Australia, Estados

Unidos, Francia, Holanda, Reino Unido) se multiplican casos de contratos entre actores privados y de otros regulados desde el estado que acuerdan voluntariamente el pago a propietarios de tierras por servicios ecológicos que éstos ofrecen (Kosoy et al., 2007; Jongeneel et al, 2008; Engel et al., 2008; Wunder et al., 2008).

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Adámoli, J. (2006). Problemas ambientales de la agricultura en la región chaqueña. En Brown, A., U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.), La Situación Ambiental Argentina 2005, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp 436-442.

Begenisic, F. (2007). Sector Agroalimentario y Agroindustrial: Competitividad de las Exportaciones. INTA, Unidad de Coyuntura y Prospectiva.

Brown, A.D., Pacheco, S., Lomáscolo, T., Malizia, L. (2006). Situación ambiental en los bosques andinos yungueños. En: La Situación Ambiental Argentina 2005 (A. Brown, Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corcuera, J., editores), Editorial Fundación Vida Silvestre Argentina, Bs. As., 53-61 p.

Casas, R. (2001). La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, tomo LV, 247 pp.

Carreño, L. y Viglizzo, E.F. (2007). Provisión de Servicios Ecológicos y Gestión de los Ambientes Rurales en Argentina. Área Estratégica de Gestión Ambiental. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

Conway, G.R. (1988). The properties of agroecosystems. Agricultural Systems, 24: 95117.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Shahid, Naeem, O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253-260.

Engel, S., Pagiola, S., Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of issues. Ecological Economics 65: 663-674.INTA/UNDP (1990). Atlas de Suelos de la República Argentina (tomo 1). Ediciones INTA, Buenos Aires.

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Inter-governmental Panel on Climate Change (WHO-UNEP), Geneva, 18 pp.

Jongeneel, R.A., Polman, N.B.P., Slangen, L.H.G. (2008). Why are Dutch farmers going multifunctional? Land Use Policy 25: 81-94.

Kosoy, N., Martínez-Tuna, N., Muradian, R., Martínez-Alier, J. (2007). Payments for environmental services in watersheds: Insights from a comparative study of three cases in Central America. Ecological Economics 61: 446-455.

Marten, G.G. (1987). Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystems assessment. Agricultural Systems, 26: 291-316.

Obschatko, E.S. de (1988). La Transformación Económica y Tecnológica de la Agricultura Pampeana. Ediciones Culturales Argentinas, Buenos Aires, 192 pp.

Paruelo, J.M., Oesterheld, M., Del Pino, F., Guerschmann, J.P., Verón, S.R., Piñeiro Guerra, G., Volante, J., Baldi, G., Caride, C., Arocena, D., Vasallo, M., Porfirio, L., Durante, M. (2004). Patrones Espaciales y Temporales de la Expansión de Soja en Argentina: Relación con Factores Socio-Económicos y Ambientales. Informe final LART/FAUBA al Banco Mundial, 87 pp.

Plací, G., Di Bitteti, M.D. (2006). Situación ambiental en la eco-región del bosque atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). En: La Situación Ambiental Argentina 2005 (A. Brown, Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corcuera, J., editores), Editorial Fundación Vida Silvestre Argentina, Bs. As., 197-210 p.

Rabinovich, J.E. y Torres, F. (2004). Caracterización de los Síndromes de Sostenibilidad del Desarrollo: El Caso de Argentina. CEPAL/Naciones Unidas, Santiago de Chile.

Reca, L.G., Parellada, G. (2001). El Sector Agropecuario Argentino: Aspectos de su Evolución, Razones de su Crecimiento Reciente y Posibilidades Futuras. Editorial Facultad de Agronomía (UBA), 149 pp.

Rudel, T.K., (2007). Changing agents of deforestation: From state-initiated to enterprise driven processes, 1970-2000. Land Use Policy 24: 35-41.

SAyDS (2004). Atlas de los Bosques Nativos Argentinos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Edición SAyDS, Buenos Aires, 245 pp.

Solbrig. O.T. and Viglizzo, E.F. (1999). Sustainable farming in the Argentine pampas: history, society, economy and ecology. Paper No. 99/00-1, DRCLAS (Working papers on Latin America), Harvard University, Cambridge, MA, 40 pp.

Timan, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677.

Timm, J. (2004). Variabilidad Climática y Cambios en el Uso de la Tierra en la Región Pampeana Argentina. Tesis de Graduación, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina. Santa Rosa (L.P.), 42 pp.

Vereijken, P.H. (2002). Transition to multifunctional land use and agricultura. Netherlands Journal of Agricultural Science, 50: 171-179.

Viglizzo, E.F. (2007). Desafíos y oportunidades de la expansión agrícola en Argentina. En: Producción Agropecuaria y Medio Ambiente. Propuestas Compartidas para su Sustentabilidad (Martínez Ortiz, U., editor), Fundación Vida Silvestre Argentina, INTA, World Wildlife Foundation, Buenos Aires (Argentina), 12-42.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C. (2006). Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine pampas in response to climate and farming during the last century. Quaternary International 158: 122-126.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Bernardos, J., Buschiazzo, D.E., Cabo, S. (2006). A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. Environmental Monitoring and Assessment 117:109-134.

Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreño, L. (2006). Situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y Malezales. En: La Situación Ambiental Argentina 2005 (A. Brown, Martínez Ortiz, U., Acerbi, M. y Corcuera, J., editores), Editorial Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, 263-269 p.

Viglizzo, E.F., Lértora F.A. Pordomingo, A.J., Bernardos, J.N.., Roberto, Z.E. and Del Valle, H. (2001). Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the Pampas of Argentina. Agriculture, Ecosystems & Environment 83: 65-81.

Viglizzo, E.F., Pordomingo, A.J., Castro, M.G. and Lértora F.A. (2003). Environmental assessment of agriculture at a regional scale in the Pampas of Argentina. Environmental Monitoring and Assessment 87: 169-195.

Viglizzo, E.F., Roberto, Z.E., (1998). On trade-offs in low-input agroecosystems. Agricultural Systems 56, 253-264.

WDB (1995). Workers in an Integrating World. World Development Report 1995. World Development Bank, Oxford University Press, Oxford (UK), 251 pp.

WRI (1990). World Resources 1990-1991. World Resources Institute, Oxford

University Press, Oxford (UK), 463 pp.

WRI (1996). World Resources 1996-1997: A Guide to the Global Environment. World Resources Institute, Oxford University Press, Oxford (UK), 365 pp.

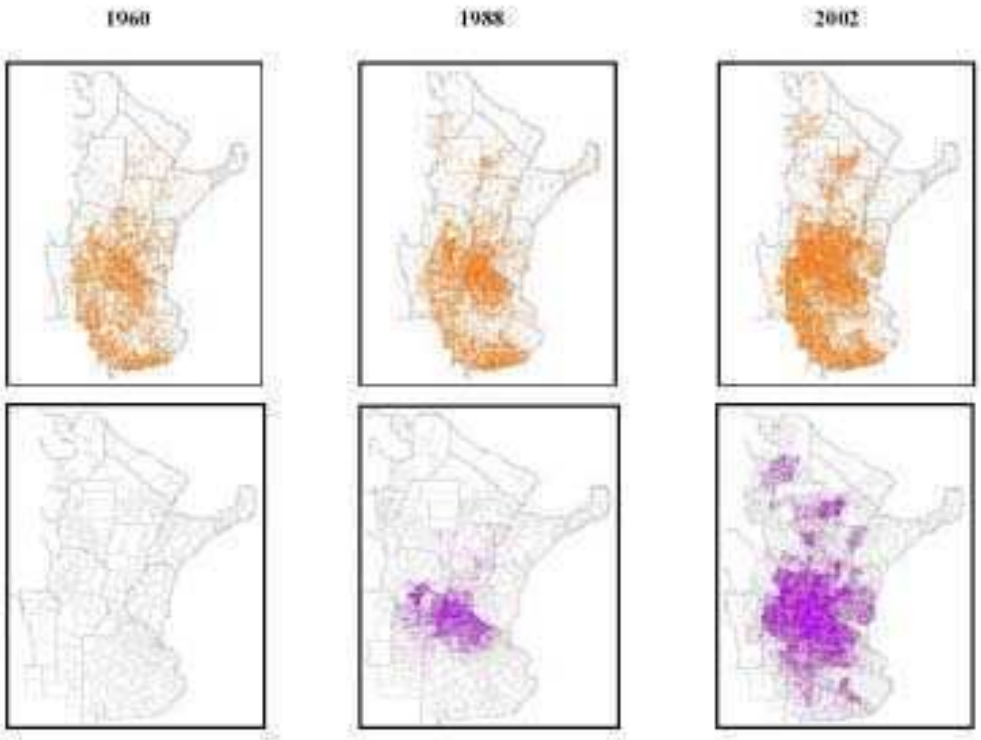
WRI (2003). World Resources 2002-2004: Decisions for the Earth. World Resources Institute, Washington, 313 pp.

Wunder, S., Engel, S., Pagiola, S. (2008). Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. Ecological Economics 65: 834-852.

Cuadro 1. Indicadores directos e indirectos de bienestar humano en la región pampeana argentina entre 1960 y 2000. Las estimaciones provienen de varias fuentes (Obschatko, 1988, Reca and Parellada, 2001, WRI, 1990, 1996 y 2003, WDB, 1995)

Década	Producción de granos (mill. ton.)	Exportaciones agropecuarias (mill. US$ FOB)	Población rural (%)	Número de trabajadores rurales
1960	11.1	2455.7	20.6	662 000
1970	13.3	-	15.5	617 400
1980	20.1	4234.2	11.9	534 000
1990	42.4	5301.2	11.5	303 000 *
2000	> 50.0	>8000.0	< 7.0	< 250 000 *

* estimación a partir de proyecciones aritméticas



Fuente: Carreño y Viglizzo (2007)

Figura 1. Evolución de la superficie de cultivos anuales (arriba, 1 punto = 3000 has) y de soja (abajo, 1 punto = 380 has) en la baja Cuenca Del Plata (Argentina) durante el período 1960-2002

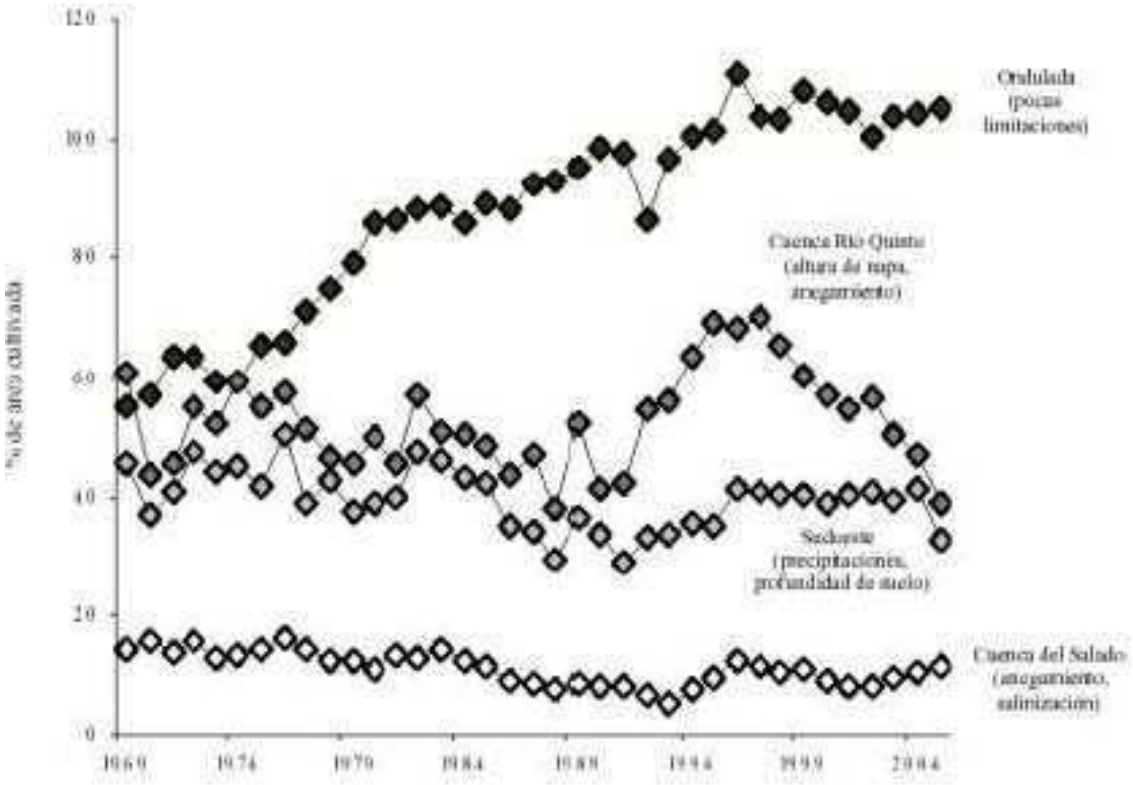


Figura 2. Expansión asimetrica de la frontera agricola y principales limitaciones a la expansión en distintas zonas de la pradera pampeana

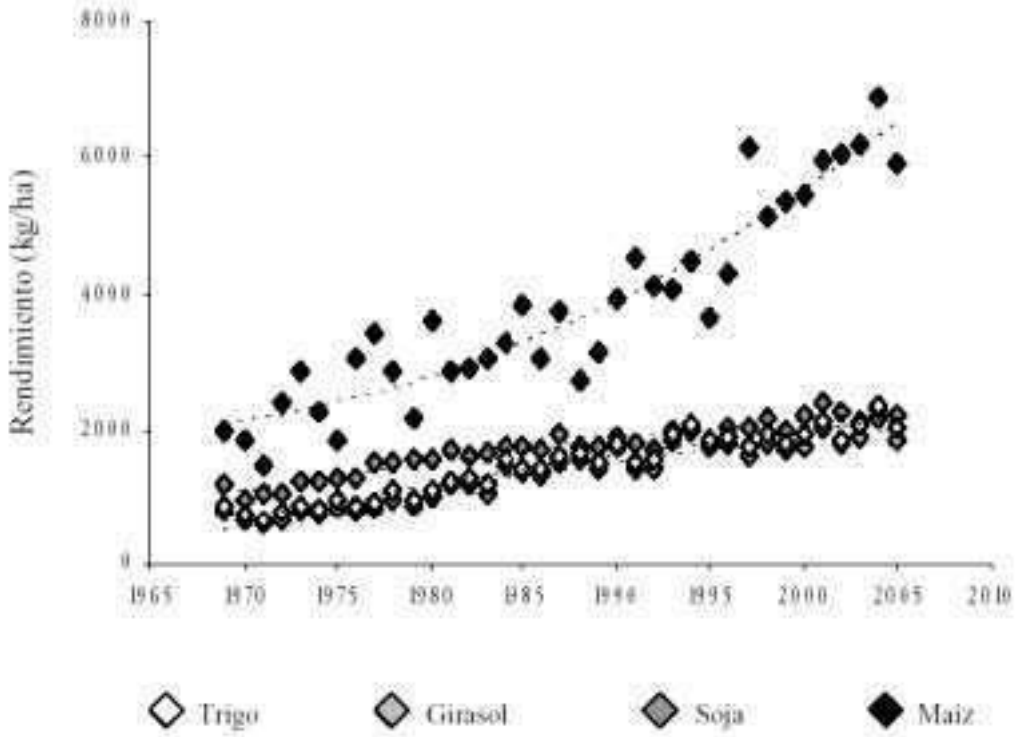
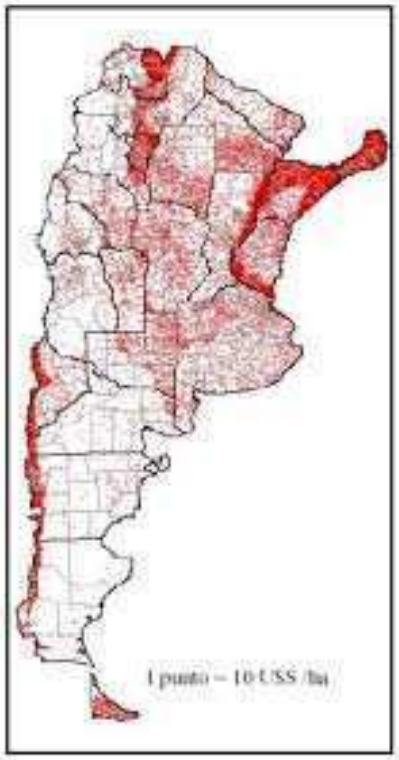


Figura 3. Evolución de los rendimientos de maíz, soja, girasol y trigo en la pradera pampeana en el período 1969-2005



Fuente: Carreño y Viglizzo (2007)

Figura 4. Eco-regiones del país y cálculo del valor promedio (1937-1960-1988-2002) de servicios ecológicos en el territorio argentino de acuerdo a valores estimados por Costanza et al. (1997)

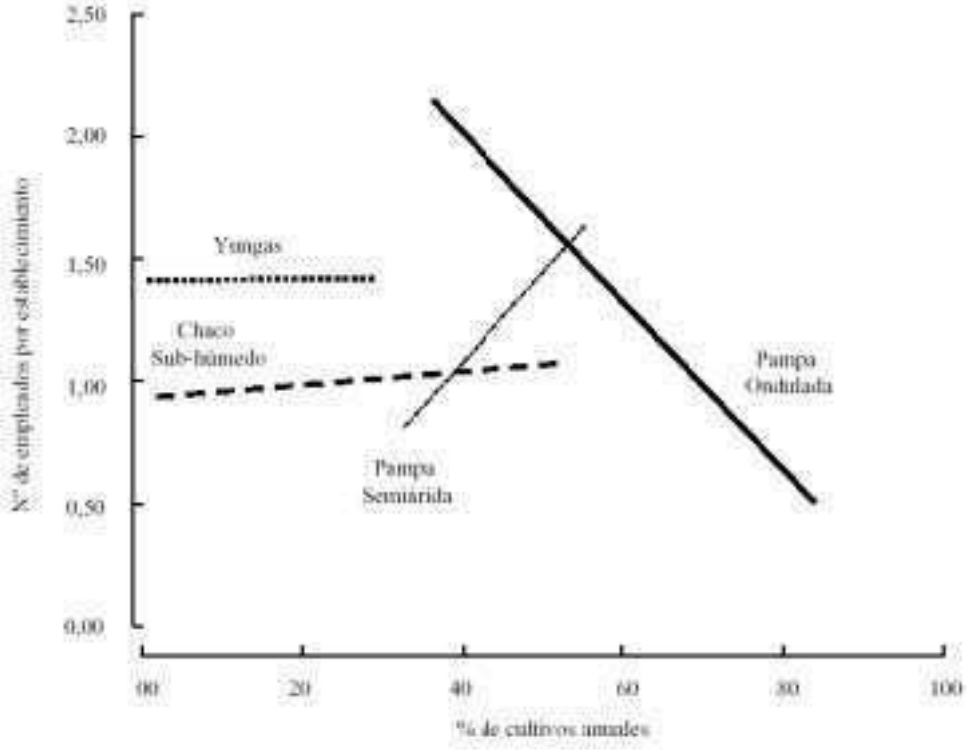


Figura 5. Relación entre superficie cultivada y empleo rural en algunas eco-regiones de Argentina

Capítulo 9

Los impactos de las prácticas agrícolas sobre los ecosistemas naturales

Guillermo Sarmiento

1. Introducción

Diferentes alternativas agrícolas y distintas prácticas agronómicas, como la labranza convencional, la labranza mínima o la siembra directa, la rotación de cultivos o de cultivos y forrajes, el riego con aguas superficiales o subterráneas, el tipo e intensidad de la fertilización, el control de plagas, entre otras, imprimen sus consecuencias, a corto o largo plazo, sobre el funcionamiento de los agroecosistemas, la estabilidad y fertilidad de los suelos, la biodiversidad, y las posibilidades de recuperación de los ecosistemas naturales. Analizar estas consecuencias requiere una base teórica y un trabajo experimental cuidadoso, ya que no siempre se pueden extrapolar de manera directa los resultados obtenidos con un cultivo, una rotación o un tipo de manejo en un sitio y un suelo determinado, a entornos ambientales y biológicos diferentes. Por ello se hace necesario establecer el campo de validez de los resultados experimentales basándose en un sólido conocimiento del comportamiento funcional de los ecosistemas naturales y de sus agroecosistemas de reemplazo.

Tres aspectos funcionales se destacan como cruciales para evaluar las consecuencias de las prácticas agrícolas sobre los componentes de los ecosistemas. En primer término hay que analizar qué pasa con el flujo del agua entre el suelo, la vegetación y la atmósfera, ya que este flujo va a determinar cuanta agua puede acumularse en el suelo y por ende va a regular el balance hídrico del cultivo, además de controlar la erosión y asegurar la conservación de los suelos. En segundo lugar, las influencias de las practicas sobre el ciclo de la materia orgánica, o lo que es lo mismo del elemento carbono, particularmente el destino del carbono orgánico en el suelo, principal regulador de sus características físicas, químicas y biológicas y a través de las mismas de la productividad de los cultivos, además del rol determinante de las emisiones de CO_2 sobre el calentamiento global. En tercer término, los efectos sobre los reservorios y transferencias de los nutrientes más limitantes para la agricultura, en especial el nitrógeno y el fósforo, para entender las relaciones de los procesos ecológicos que regulan la fertilidad natural del suelo con la

fertilización mineral u orgánica, al mismo tiempo que limitan posibles efectos tóxicos de un exceso de fertilizantes.

En el capítulo seis, se discutieron las relaciones generales entre agricultura, clima y ambiente, en el capitulo siete se trataron los riesgos que la extensión de la frontera agropecuaria acarrea sobre la persistencia, fragmentación y biodiversidad de los ecosistemas naturales, en tanto que en el presente capítulo nos centraremos en el enfoque funcional, discutiendo diferentes ejemplos para pasar luego a una discusión sucinta del caso específico de la Pampa Húmeda.

2. Influencia de la agricultura sobre el balance de agua

Sin tener en cuenta las entradas de agua por ascenso desde la napa freática, por escorrentía o por desborde fluvial, que pueden tener importancia en ciertos ecosistemas naturales, en la inmensa mayoría de los mismos es la precipitación el único aporte externo de agua, mientras que las salidas relevantes son dos: por evapotranspiración y por drenaje profundo. Tanto la entrada como las salidas están influidas por características de la vegetación y del suelo. Es decir pueden considerarse como procesos regulados o al menos influenciados bióticamente. Para examinar más detalladamente no solo las entradas y salidas sino los flujos de agua dentro del ecosistema podemos adoptar el modelo representado en la Figura 1.

En todos los tipos de vegetación, del total de precipitaciones medido por encima del dosel de la vegetación (Pt), una parte no alcanza la superficie del suelo sino que luego de ser interceptada por la cubierta vegetal se evapora directamente desde la misma hacia la atmósfera (Ev), durante o posteriormente a cada evento pluvial. Esta intercepción (Int) de la lluvia por la vegetación varía en los diferentes tipos de cobertura, en años sucesivos y en sistemas fuertemente estacionales difiere acentuadamente en cada estación del año. La intercepción ha sido cuantificada en diferentes tipos de bosques, en bosques templados representa generalmente entre el 20 % y el 40 % de la Pt. Así en un bosque mixto de latifoliadas y coníferas la intercepción en dos años sucesivos fue del 23 % y del 25% de la Pt respectivamente (Link *et al.* 2004), en tanto alcanzó el 35% en un bosque de coníferas de dos estratos (Zhang *et al*. 2006). En selvas amazónicas se midieron intercepciones de 13-18

% de la Pt (Tobon *et al*. 2000). En los diferentes sistemas herbáceos la variación es aún mayor, 5 %-30 % de la Pt. En cultivos anuales la intercepción aumenta con el desarrollo del cultivo, ya que es nula después de la siembra para alcanzar un máximo en el pico de desarrollo aéreo cuando puede sobrepasar el 50 % de la Pt. Asimismo en cultivos es cuantitativamente importante la intercepción debida a los residuos de cosecha en superficie. Los factores que controlan el proceso son por una parte la cobertura vegetal, la biomasa total, el índice de superficie foliar y por otra parte características de los eventos pluviales, como su intensidad y duración. Puede por consiguiente modelarse en función de estos parámetros (Gash et al. 1995, Van Dijk et al. 2001, Kozak et al. 2007).

La precipitación total menos la intercepción es la precipitación efectiva (Pe = Pt œ Int), la que llega al suelo sea por goteo a través del dosel o, una pequeña cantidad, por escurrimiento por los troncos, ramas o tallos (Fc)**.** La cantidad de agua que efectivamente alcanza la superficie del suelo es la que podría ser utilizada por las especies vegetales en los ecosistemas naturales o por los cultivos en la agricultura. Algunos datos pueden ilustrar las diferencias en la intercepción anual entre distintas coberturas vegetales mantenidas en parcelas adyacentes durante períodos similares. Así, en un cultivo de maíz en los llanos venezolanos (densidad 55.000 plantas por ha) la proporción de Pt interceptada fue muy similar a la de una pastura de corte (*Digitaria decumbens*): 18%, pero por supuesto el maíz solo interceptó el agua de lluvia durante los 140 días que duró su ciclo, el pasto alcanzó el mismo valor pero durante todo el año. Por otra parte ambos sistemas presentaron una intercepción máxima por encima del 50% durante el pico de desarrollo de la biomasa (Acevedo y Sarmiento 1990).

Una vez alcanzada la superficie del suelo, el agua de lluvia puede seguir varios caminos. En general una pequeña parte se evapora hacia la atmósfera en el corto tiempo que permanece en superficie (Es), pero la mayor parte, o bien se infiltra en el suelo (In) o escurre por la superficie del terreno, formando lo que se conoce como escorrentía o escurrimiento superficial (Esc). La relación infiltración / escorrentía regula el balance hídrico del ecosistema y controla el equilibrio entre los procesos de formación del suelo (pedogénesis) y los responsables del modelado del relieve (geomorfogénesis). En los sistemas naturales poco alterados por la acción humana la escorrentía presenta valores muy

bajos, aun con pendientes relativamente fuertes, ya que la mayor parte de la Pe se infiltra y engrosa el agua acumulada en el suelo, la que constituye el mayor reservorio en el ecosistema. Así en el maíz a que hicimos referencia anteriormente, en un suelo franco-arenoso, bajo condiciones de buen manejo y pendientes inferiores al 1%, la escorrentía medida durante el ciclo del cultivo fue apenas superior al 2 % de la Pe, y en todo el año, es decir considerando también los meses en barbecho, alcanzó el 4 %. En la pastura de corte adyacente al cultivo, la escorrentía anual llegó apenas al 3 % de la Pe. Como la evaporación desde la superficie del suelo alcanzó en ambos sistemas alrededor del 3 % de la Pe, resultó que el 93-94 % del agua que alcanza la superficie se infiltró en el suelo (Acevedo y Sarmiento 1990).

Cuando la alteración de la vegetación y del suelo superficial modifica substancialmente la capacidad de infiltración, la escorrentía aumenta, disminuyendo así el agua disponible por un lado e incrementando las pérdidas de suelo por otro lado. En fuertes pendientes, la escorrentía puede superar la infiltración. De cualquier manera el primer resultado de una fuerte escorrentía superficial es la erosión laminar, es decir el barrido de capas sucesivas de suelo superficial, pero tarde o temprano estas láminas de agua se encauzan determinado una erosión que en los casos más extremos conduce a la formación de cárcavas y la destrucción total del suelo. El más importante agente desencadenante de un aumento de la escorrentía superficial es la compactación del suelo superficial, ya sea por la labranza reiterada, por pisoteo del ganado, o más grave aún por desmonte de la vegetación forestal original con maquinaria pesada que compacta el suelo y a menudo elimina el horizonte A dejando al descubierto un horizonte B arcilloso mucho menos permeable.

En regiones semiáridas, donde por supuesto el agua representa el factor crítico para el desempeño de los cultivos, han sido estimados los componentes del balance hídrico en sistemas naturales y cultivos. Usando modelos se simuló el drenaje medio anual a 150 cm de profundidad, comparando trigo sobre trigo con la rotación trigo-barbecho, ésta última mostró un drenaje de casi 25 mm, mientras que con trigo sobre trigo, el drenaje fue nulo, es decir el cultivo aprovecha mas el agua disponible que el barbecho (Díaz-Ambrona *et al.* 2005). En cuanto al efecto del manejo sobre el almacenamiento de agua en el suelo y sobre la eficiencia en el uso del agua por parte de los cultivos, los resultados obtenidos en

experiencias con siembra directa (SD) y labranza convencional (LC) en rotaciones de trigo-arveja en el semiárido de Australia, mostraron que la reserva de agua en el horizonte arable (0-30 cm) en los dos cultivos era un 10% mayor en el momento de la siembra con SD y permanencia en superficie de los rastrojos, que en LC y remoción del rastrojo. La eficiencia en el uso del agua en ambos cultivos fue un 20% más alta en SD con rastrojos que en LC con remoción del rastrojo (Huang *et al.* 2008). Los autores concluyen que la SD con incorporación del rastrojo es un manejo conservacionista a ser adoptado para optimizar el uso del agua en regiones con déficit hídrico.

La cantidad de agua que puede almacenar el suelo, así como el agua útil entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP), dependen de sus propiedades físicas, de la profundidad y del contenido de materia orgánica (MOS), entre otros factores. En general el primer metro de suelo puede almacenar entre 100 y 200 mm de agua (100 a 200 litros por metro cuadrado), con una mayor capacidad de almacenamiento en los suelos más pesados, aunque en éstos la cantidad de agua útil es mucho menor que el agua total retenida en el suelo. Con respecto al uso del agua almacenada, una diferencia importante entre las especies perennes nativas del ecosistema original, en particular las gramíneas dominantes en pastizales y sabanas, con la mayor parte de las especies anuales cultivadas que las han reemplazado, es que éstas solo extraen agua del suelo cuando la misma está por encima del PMP, es decir a potenciales hídricos mayores de -1.6 MPa (aproximadamente 16 atmósferas), mientras que la mayoría de las herbáceas perennes nativas, puede continuar extrayendo agua, transpirando y produciendo biomasa, a potenciales hídricos muy por debajo del PMP. Es decir las especies nativas están adaptadas a intervalos de sequia o incluso a largos periodos sin lluvias. En el caso de las sabanas tropicales por ejemplo, las gramíneas perennes dominantes en los sistemas naturales siguen transpirando aún con potenciales hídricos foliares del orden de -3.0 a -3.5 MPa, en tanto cultivos como el maíz o el sorgo, cesan su crecimiento cuando el suelo se seca por debajo de -1.6 MPa, o sea el potencial hídrico correspondiente al PMP (Goldstein & Sarmiento 1987).

El agua que no es retenida en el suelo, es decir la que se encuentra momentáneamente por encima de la capacidad de campo, drena por gravedad hacia el

subsuelo almacenándose fuera del alcance de las raíces, alimentando niveles freáticos o surgiendo a la superficie a través de un drenaje sub-superficial, en ciertos puntos del terreno de acuerdo a la topografía, la geología y el perfil edáfico. Desde el punto de vista de la economía hídrica de los ecosistemas naturales y los cultivos, esta agua no desempeña ningún papel aunque puede ser importante su rol en el lavado de nutrientes y el empobrecimiento del suelo, así como en el flujo de elementos tóxicos desde los cultivos hacia las aguas de drenaje superficial o subterráneo.

Los componentes del balance hídrico en la pradera original y en un sistema cultivado (maíz) con LC o con SD, bajo el mismo clima y sobre el mismo suelo, se cuantificaron durante dos años consecutivos en *Goose Pond*, Wisconsin, USA (Brye *et al*. 2000). En primer lugar, el drenaje profundo presentó diferencias muy notorias entre los tres sistemas (Tabla 1), pues en la pradera apenas llegó al 13% y al 16 % de la Pt en cada uno de los dos años de mediciones, mientras que en el maiz con labranza convencional las cifras fueron del 41% y el 57% de la Pt. En el maiz con SD los valores fueron intermedios entre estos dos: 31% y 38% de la Pt. Estos resultados indican pérdidas por drenaje bastante más altas en el sistema agrícola convencional, lo que evidentemente debe conducir a una menor eficiencia en el uso del agua y a un mayor lavado de nutrientes, fertilizantes y de agroquímicos en general. Con SD las pérdidas por drenaje fueron menores, pero continuaban siendo significativamente mayores que en la pradera. Es interesante asimismo notar que la evapotranspiración, mucho mas alta en la pradera, fue ocasionada mayoritariamente por la intercepción por parte de la biomasa acumulada por la vegetación, tanto en pie como la biomasa seca en el suelo.

En síntesis, comparando los cultivos anuales con el sistema herbáceo original, a pesar de que ambos comparten muchas características estructurales y funcionales, presentan diferencias notables en la intercepción de las precipitaciones, el almacenamiento de agua en el suelo, la evapotranspiración y el drenaje profundo. Si además el manejo de los cultivos induce modificaciones substanciales en las características físicas del horizonte arable, el efecto sobre la escorrentía superficial y el almacenamiento de agua en el suelo puede ser determinante para la estabilidad del uso agrícola. Estas diferencias entre los

ecosistemas originales y los agroecosistemas se amplifican notablemente cuanto el sistema reemplazado es un bosque, como en el caso de las selvas subtropicales o de los bosques chaqueños. En todo caso los datos disponibles sugieren que cuanto menor la alteración del suelo original, menos dramáticas serán las modificaciones del balance hídrico y menos peligrosas sus consecuencias a largo plazo.

3. ¿El suelo agrícola: emisor o reservorio de carbono?

Los flujos de carbono en los ecosistemas pueden ser evaluados tanto en términos del elemento carbono como de la materia orgánica de la que el carbono forma parte esencial, o de la energía que se transfiere, convirtiendo en unidades de energía las cantidades de materia orgánica acumuladas o circulando por los ecosistemas. Un modelo simplificado del ciclo del carbono en los ecosistemas terrestres (Fig. 2) muestra la entrada en los productores primarios a través de la fotosíntesis, así como las diferentes vías de salida ya sea como CO_2 hacia la atmósfera en la respiración de plantas, animales y microorganismos del suelo, o disuelto o en suspensión en las aguas de drenaje, o por combustión cuando la vegetación o los rastrojos se queman, o en los agro-ecosistemas por exportación en la cosecha o por consumo de los animales domésticos. Debemos destacar asimismo como el carbono orgánico del suelo, considerando en conjunto sus diferentes fracciones, constituye el mayor reservorio dentro de los ecosistemas, superando con creces el carbono acumulado en la vegetación
o en los demás compartimientos del sistema.

La materia orgánica (MOS), o su equivalente el carbono orgánico del suelo (COS), son indicadores claves de la fertilidad y de la evolución del suelo. El COS representa el mayor reservorio de carbono orgánico en la superficie terrestre, dos o tres veces mayor que el carbono atmosférico, siendo por lo tanto crucial evaluar y entender los procesos que controlan los flujos hacia la atmósfera desde los ecosistemas naturales y sus sistemas de reemplazo, particularmente por el papel que desempeña el CO_2 como gas de invernadero en la determinación de la temperatura de la atmósfera y en el clima global. En conjunto los sistemas agrícolas son responsables de alrededor del 20% de los flujos de CO_2 hacia la atmósfera. Entre los ecosistemas naturales, las praderas, ya sean las grandes praderas de

Norte América o las pampas del Río de la Plata, se destacan por acumular cantidades apreciables de COS, en las praderas nativas de la Pampa Húmeda el COS alcanza cifras del orden de 60 a 120 Mg C ha^{-1} (INTA Cartas de Suelos).

Los ecosistemas terrestres difieren marcadamente entre sí en cuanto a la entrada de carbono desde la atmósfera a través de la asimilación fotosintética del CO_2, es decir en producción primaria, los más productivos, como los bosques húmedos tropicales, pueden alcanzar una producción de 10 a 15 Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$, o sea alrededor de 20 a 30 Mg peso seco, los menos productivos como los matorrales semiáridos no llegan a 2 Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$ y por supuesto en los desiertos la producción primaria generalmente es inferior a 0.5 Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$ (Sarmiento 1984). A su vez los agro-ecosistemas, tanto los cultivos anuales, perennes o los pastos cultivados, también difieren ampliamente en producción primaria, interviniendo aquí de manera decisiva tanto la selección de los cultivares como las practicas agronómicas. En este sentido los mejores rendimientos obtenidos en condiciones óptimas pueden ser varias veces superiores a los rendimientos medios del cultivo en condiciones alejadas de su óptimo.

Existen diferencias notables también en la distribución de la producción entre las diferentes estructuras vegetales, particularmente entre la proporción de la producción primaria acumulada en órganos aéreos (PPNA) y subterráneos (PPNS). En los sistemas forestales la relación entre producción aérea y subterránea (PPNA/PPNS) puede ser de 10, por el contrario en pastizales la producción subterránea puede más que duplicar la producción aérea, lo que trae importantes consecuencias en la acumulación de materia orgánica en el suelo. Así la pradera pampeana seguramente tiene una producción primaria inferior a la selva misionera, sin embargo su producción subterránea seguramente será mayor. También los cultivos difieren en la distribución espacial y temporal de los asimilados y en el porcentaje de la producción primaria de directo interés económico (los índices de cosecha). En contraste con las gramíneas perennes dominantes en las praderas naturales, los cultivos anuales muestran una relación de la biomasa aérea máxima a la biomasa subterránea, un estimador de las respectivas producciones primarias, de 3 a 9 para el trigo, 7.5 a 8 en la cebada, alrededor de 3 en el maíz y la soja, mientras que en una forrajera perenne como la alfalfa la relación PPNA/PPNS baja a valores entre 1 y 2.5

(Buyanovsky & Wagner 1997, Izaurralde *et al*. 2000).

Es bien conocido que la labranza de un suelo virgen conduce a una abrupta caída inicial de la MOS, debido a que la mayor aireación del suelo labrado determina una rápida oxidación de la materia orgánica, de modo que en pocos años disminuye significativamente, aunque luego el sistema puede alcanzar una nueva condición de equilibrio con un contenido de carbono bastante menor al inicial (Bauer & Black 1981, Kucharik *et al*. 2001). Como analizaremos más adelante, la baja producción de raíces en los cultivos anuales, sean cereales u oleaginosas, hace necesario incorporar parte de la materia vegetal aérea al suelo, es decir los residuos de cosecha o rastrojos, para mantener un contenido de MOS que aunque menor que el del ecosistema original sea cuando menos estable en el largo plazo.

Para evaluar las consecuencias que sobre el funcionamiento de los ecosistemas puede tener el reemplazo de la vegetación nativa por un cultivo, o también el abandono de tierra agrícola iniciándose la recuperación del sistema original, sobre los flujos de agua, los reservorios y los flujos de carbono en el suelo, se requiere cuantificar los efectos de diferentes prácticas agrícolas y también del abandono de la agricultura, evaluando a su vez el potencial de los sistemas originales, los recuperados y los agroecosistemas para secuestrar carbono en el mediano plazo, con vistas a introducir estos datos en los modelos de ciclo global, gases invernadero y cambios climáticos. Es decir pondremos énfasis en los dos aspectos de mayor trascendencia relacionados con los ecosistemas naturales, la agricultura y el ciclo del carbono: la recuperación del COS como instrumento para mejorar las condiciones del suelo por un lado y por el otro el secuestro de carbono como sumidero del CO_2 atmosférico. En consecuencia, discutiremos la dinámica del carbono en ecosistemas y agro-ecosistemas centrándonos en cinco aspectos:

a) La relación entre el COS y la PPN del ecosistema, analizando el efecto de diferentes cultivos y de las características de la vegetación original y del suelo.

b) Los efectos del tipo de labranza: laboreo convencional (LC), labranza mínima (LM), labranza cero o siembra directa (SD), así como de la incorporación al suelo de los residuos de cosecha.

c) Efectos relacionados con la fertilización mineral u orgánica, incluidos los abonos

verdes.

d) Las consecuencias del monocultivo o de las rotaciones, incluyendo las rotaciones con forrajeras.

e) La dinámica de recuperación del ecosistema original tras el abandono de la agricultura.

Ya vimos por qué para conservar el suelo y el agua la SD es superior a la LC, sin embargo su potencial para secuestrar carbono en diferentes climas y suelos, así como su impacto sobre la distribución del COS en el perfil del suelo, aun no han sido suficientemente documentados. La SD, tiene indudables efectos moderadores sobre la erosión hídrica y eólica, pero además se ha postulado que produce un incremento en el COS con respecto a la LC, con incrementos del orden de 325 ± 113 kg C $ha^{-1}.año^{-1}$ (Six *et al.* 2002). Otros resultados no confirman esta amplia generalización, de modo que analizaremos casos concretos para ilustrar los cinco aspectos anteriormente mencionados.

Comenzaremos con los cifras obtenidas en base a un banco de datos global sobre 67 experimentos de larga duración en los que se compararon en total 276 pares de tratamientos (West & Post 2002). Los resultados muestran que en promedio el cambio de LC a SD puede conducir a un secuestro, es decir un adicional de COS, de 570 ± 140 kg C $ha^{-1}.año^{-1}$, excepto en trigo-barbecho donde la SD puede no conducir a un incremento del carbono. Cuando únicamente se mejoran las rotaciones puede lograrse en promedio un secuestro de 200 ± 120 kg C $ha^{-1}.año^{-1}$, menos en el cambio de maíz continuo a maíz-soja, donde no siempre se logra una acumulación significativa de COS. Las tasas de secuestro de carbono con el mencionado cambio de practica agrícola alcanzan un pico máximo a los 5 a 10 años, luego el COS se estabiliza en un nuevo equilibrio a los 15 a 20 años, mientras que al mejorar las rotaciones el COS alcanza un nuevo equilibrio recién en 40 a 60 años (West & Post 2002). Es decir, en general aparece un efecto positivo sobre la acumulación de carbono en el suelo con la adopción de la siembra directa y también con un calendario de rotaciones bien elaborado.

No hay muchos ecosistemas donde se haya cuantificado simultáneamente el ciclo del carbono en el sistema original y en los principales sistemas agrícolas de reemplazo, bajo diferentes prácticas agrícolas, la mayor parte de la información disponible proviene de las

grandes praderas de Norteamérica y de sus cultivos. En *Sanborn Field*, Missouri, se llevaron a cabo numerosos estudios comparativos sobre el ciclo del carbono (Brown 1994, Richter *et al*. 2007). Al comparar la pradera prístina, es decir nunca labrada, sólo con las quemas habituales cada tres o cuatro años, con trigo de invierno, a lo largo de tres años, resultó que la producción primaria total del sistema cultivado era algo mayor que la de la pradera nativa, pero en ésta hubo una fuerte variación interanual de modo que en uno de los tres años sobrepasó la producción del trigo. Por otra parte los flujos de CO_2 hacia la atmósfera por descomposición de la biomasa aérea y subterránea fueron el doble en el trigo que en la pradera, de modo que en el sistema nativo una proporción mucho mayor del carbono en el material vegetal en descomposición puede acumularse como COS (Buyanovsky & Wagner 1987). Esto explica por qué bajo un cultivo anual, en este caso trigo, la cantidad de carbono en el suelo tiende a disminuir.

Otro caso bien conocido es el de una pradera en proceso de recuperación después de largos años bajo cultivo, en *Goose Pond*, Wisconsin, USA. En este ecosistema sobre un mollisol similar a muchos suelos de la Pampa Húmeda, la PPN al cabo de 20 años en recuperación fue de 3.9 Mg C ha^{-1} (Brye *et al.* 2002). En el mismo sitio y período, la PPN de un cultivo de maíz no fertilizado no mostró diferencias significativas entre LC y SD, en ambos alcanzó entre 4.9 y 6.8 Mg C ha^{-1}, en tanto la PPNS varió entre 0.4 y 1.4 Mg C ha^{-1}. La PPNA del maíz fertilizado varió entre 7.2 y 10.0 Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$ y entre 0.8 y 2.2 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ la PPNS (Brye *et al.* 2002). Las medias para los cinco años de mediciones aparecen en la Tabla 2. Estos resultados muestran entre otras cosas como el maíz, incluso no subsidiado con fertilizantes, alcanza una producción primaria alrededor del doble que la del ecosistema natural en recuperación y en un tiempo mucho más corto. No obstante, la producción subterránea de la pradera resultó un 20 % a 30% mayor que la del maíz. Este dato no se puede ignorar al evaluar el balance de carbono a largo plazo, por la mayor incorporación de carbono desde las raíces al suelo en la pradera, aunque por supuesto el menor aporte radical del maíz puede compensarse si se incorpora al suelo el rastrojo sobre todo cuando se obtienen además dos cosechas anuales.

En este y otros estudios se comparó el balance de carbono de la pradera con el del maíz con o sin fertilización nitrogenada y con LC o SD (Wagai et al. 1998, Kucharik et al.

2001, Brye *et al.* 2002). En la pradera el contenido inicial de carbono en los primeros 120 cm de suelo se mantuvo prácticamente constante entre el inicio y el final de las mediciones (cinco años), en tanto que en el maíz el contenido inicial disminuyó en 30 % bajo LC y 20 % con SD, en ambos casos sin fertilización nitrogenada, mientras que con fertilización la disminución fue del 20% independientemente del tipo de manejo. La fertilización aumenta la producción y por ende posibilita una mayor incorporación de carbono al suelo desde las raíces y los residuos de cosecha. Por otra parte el COS en el maíz fertilizado decrece en la misma proporción independientemente del sistema de labranza utilizado, siendo los procesos responsables de estas pérdidas el lavado a través de las aguas de drenaje en primer término, luego la cosecha con la consiguiente exportación de carbono, en tercer lugar el flujo desde el suelo hacia la atmosfera por la respiración radical y microbiana.

En base a datos de campo, laboratorio y simulaciones de los reservorios de COS en el largo plazo (1860-2050) en la pradera y en cultivos de maíz con niveles diferentes de producción primaria: baja, media y alta (Kucharik *et al.* 2001), el sistema original mantiene a lo largo de dos siglos leves oscilaciones alrededor de la media (250 Mg C ha^{-1} hasta 1 metro de profundidad), mientras que al comenzar la agricultura el COS va declinando descendiendo hasta 150 Mg C ha^{-1}, entre 1950 y 1975. Si a partir de ese momento cesa la agricultura dejando recuperar la pradera, con productividad baja (250 kg C ha^{-1}.$año^{-1}$) el nivel de COS continúa bajando hasta alcanzar un nivel de equilibrio de alrededor de 130 Mg C ha^{-1}; con productividad media (400 Mg C ha^{-1}.$año^{-1}$) el nivel de COS se elevaría hasta 170 Mg C ha^{-1} en el 2050; en tanto que con productividad alta (630 Kg C ha^{-1}.$año^{-1}$) el nivel de COS aumentaría más aun hasta alcanzar en el año 2050 casi 220 Mg C ha^{-1}, algo menos que el contenido inicial. Es decir aun después de 100 años de recuperación bajo un sistema de manejo que mantiene una alta producción primaria, no se recupera el nivel inicial de carbono en el suelo. Si el maíz fuese cultivado mediante un manejo que promueva la recuperación del carbono edáfico (cualquiera que este sistema de manejo sea), el nivel del COS aumentaría con productividad media (7,5 Mg.ha^{-1}) hasta alcanzar 180 Mg C ha^{-1}, en tanto que con alta productividad (10 Mg.ha^{-1}) alcanzaría algo mas de 200 Mg C ha^{-1}, o sea menos que la pradera altamente productiva recuperada. Esta es una simulación y la confiabilidad de los resultados depende de las premisas en que se basa el modelo utilizado,

sin embargo puede dar una idea precisa de las tendencias y los niveles de declinación o de recuperación que se pueden esperar tanto en la pradera en restauración como en maíz bajo condiciones agronómicas óptimas.

La incorporación al suelo de los residuos de cosecha incrementa el contenido de carbono, contrabalanceando parcialmente las pérdidas originadas por una labranza continua. En *Sanborn Field* a lo largo de casi cincuenta años bajo monocultivo triguero con fertilización, la tasa anual de incorporación de carbono al suelo fue de 50 g m^{-2}.$año^{-1}$, mientras que con una rotación trianual de maíz/trigo/trébol la tasa anual se triplicó (Buyanovsky & Wagner 1998). Es decir en medio siglo se incorporó al suelo entre 0.5 y 1.5 Mg C ha^{-1}, lo que no parece exorbitante dado que representa algo así como el 2 % del contenido original de carbono en el horizonte arable.

En las grandes praderas norteamericanas, en los últimos 20 años se han ido abandonando millones de hectáreas de tierras agrícolas degradadas, dejando restaurar libremente la pradera original en un programa fomentado por el Gobierno Federal (*Conservation Reserve Program CRP*). Las consecuencias en cuanto a la disminución de la escorrentía y de la erosión, el incremento de la biodiversidad, el mejoramiento de la calidad del agua y en cierta medida la acumulación de carbono estable en el suelo, han sido evidentes (Kucharik *et al.* 2001, Brye *et al.* 2002). Sin embargo, en lo que respecta al secuestro de carbono, no se encontraron incrementos significativos de SOM luego de 25 años de recuperación bajo las condiciones en que se manejaba la pradera (Brye & Kucharik 2003).

En el sitio experimental más antiguo bajo monocultivo de maíz, en *Morrow Plots*, en el cinturón maicero de las grandes praderas en USA, al cabo de 50 años con fertilización nitrogenada bien por encima del N exportado en el grano, el COS disminuyó a pesar de la incorporación creciente de los residuos de cosecha. Esta pérdida de carbono fue mayor en rotación maíz-soja o maíz-avena-forraje que en el monocultivo maicero y más intensa en todo el perfil de suelo analizado (0-46 cm) que en la capa superficial (Khan *et al.* 2007). Pareciera que la descomposición de los residuos de cosecha y del COS se incrementa con la adición de fertilizante nitrogenado.

En las grandes praderas de Minnesota se cuantificaron los efectos de la labranza y la

rotación de cultivos sobre la dinámica del COS al cabo de 14 años, usando ^{13}C en rotaciones maíz/soja, con monocultivos de cada especie, o alternando entre ambas, bajo LC, labranza vertical y SD (Huggins et al., 1998, 2007). Con maíz continuo se obtuvo un 26% más de COS bajo labranza vertical y 20% más en SD que bajo LC, en tanto en soja el COS final resultó similar en los tres tratamientos de labranza. A pesar de la disminución en la descomposición del COS que induce la SD y de los altos niveles de aporte del monocultivo de maíz hubo pérdidas substanciales de COS (1.6 Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$). Comparando la dinámica del COS en praderas y diferentes rotaciones de cultivos y pastos, con LC o con SD, el mayor SOC correspondió a la pradera seguida de la SD y la menor acumulación fue con LC continua durante 14 años (Purakayashta et al. 2008).

En los análisis de la dinámica del SOC a largo plazo no puede dejarse de tener en cuenta que no toda la materia orgánica del suelo tiene un comportamiento similar, por lo que resulta necesario diferenciar entre fracciones con diferentes tiempos medios de residencia en el suelo. Las denominadas fracciones ligeras, constituidas por materiales vegetales imperfectamente descompuestos, por productos solubles y por la biomasa microbiana tienen tiempos de recambio cortos, en tanto que las fracciones pesadas formadas mayormente por compuestos refractarios de alto peso molecular se reciclan mucho más lentamente. Así en un fraccionamiento de muestras de suelo bajo maíz continuo por décadas, en cuatro sitios del cinturón maicero norteamericano, las fracciones ligeras derivadas del maíz formaban del 3 al 5% del COS y no presentaban diferencias significativas entre LC y SD. El tiempo medio de residencia en el suelo de este carbono fue de 3.5 años. La fracción COP, asociada con partículas tamaño arena, derivada del maíz, alcanzaba entre 5 y el 11% del COS en suelos con menos del 30% de arcilla, y del 17 al 23 % en suelos con mayor contenido de arcilla. El tiempo medio de residencia de este carbono se situó entre seis y doce años. La fracción asociada con partículas de limo y arcilla formaba entre el 36 y el 68.4 % según los diferentes suelos y su tiempo de residencia era mucho mayor para ser determinado mediante los métodos seguidos (Haile-Mariam *et al.* 2008). Otros experimentos sugieren que la SD lo que hace es redistribuir el carbono en el perfil del suelo aunque no necesariamente aumenta el carbono acumulado (Murage et al. 2007).

A pesar de que las raíces son una fuente importante de COS pocos estudios han documentado estos aportes. Utilizando $^{13}CO_2$ como marcador se pudo seguir el aporte de material aéreo y subterráneo después del cultivo de *Vicia villosa* (Puget & Drinkwater 2001). Al final de la estación de crecimiento cerca de la mitad del carbono derivado de raíces se encontraba en el suelo mientras que solamente el 13% del carbono derivado de las partes aéreas permanecía en el suelo. Una alta proporción del carbono originado en las raíces se encontraba en la fracción más estable del COS: la MOP o el carbono asociado con limos y arcillas. Tres factores se postulan como determinantes de esta permanencia: la mayor estabilidad bioquímica del material radical; la protección del carbono radical en los agregados del suelo; el aporte continuo de carbono radical al suelo a través del rápido *turnover* de las raíces finas y de los exudados. De esta manera los residuos subterráneos parecen ser largamente responsables de la mejora estructural del suelo asociada con los abonos verdes.

Un punto importante cuando se comparan los stocks de carbono entre SD y LC es no limitarse a la capa más superficial del suelo (0-5 o 0-10 cm) ya que en los sistemas convencionales la labranza homogeniza los primeros 20 cm, de modo que basar la comparación en los 5 o 10 primeros centímetros seguramente introduce un *bias* importante. Para evaluar el impacto de muchos años consecutivos de siembra directa de diferentes cultivos sobre el secuestro de carbono y su distribución en el perfil del suelo (0-60 cm) en varias regiones del este de los Estados Unidos, se comparó SD, LC y el suelo bajo bosque (Blanco-Canqui & Lal 2008). La concentración de carbono y nitrógeno en suelos bajo SD fue mayor que en LC en cinco sobre 11 sitios, pero solo en los 10 cm superficiales. El COS en todo el perfil no difería entre SD y LC, aunque en tres sitios resultó mayor en LC. En conclusión la SD aumenta el COS en las capas superficiales de algunos suelos pero no acumula más carbono que la LC si se considera todo el perfil.

Como vimos, los residuos de cosecha son aportes significativos de carbono al suelo, pero su cantidad depende mucho del cultivo y de las prácticas de manejo, prácticas agronómicas como SD, la rotación con pasturas o la fertilización nitrogenada pueden ser alternativas eficientes para disminuir las pérdidas de carbono (Gledening & Powlson 1991, Fortin *et al.* 1996, Alvarez *et al*. 1998, Studdert *et al*. 1997). En siembra directa, la no

remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie resultan en un mayor contenido de materia orgánica en la capa superficial respecto de situaciones similares bajo labranza tradicional.

Otra manera de evaluar las consecuencias de la transformación de un sistema natural en uno cultivado es a través del balance energético, es decir la relación entre los insumos de energía consumidos y el contenido energético de la producción obtenida, sea esta la producción primaria total o únicamente aquella fracción de interés económico directo. Estos datos son particularmente importantes cuando se trata de cultivos para producir biocombustibles. Comparando cuatro cultivos anuales: trigo de invierno, remolacha, porotos adzuki y papa en la agricultura intensiva de Japón, los insumos totales de energía en combustible y materiales consumidos durante el cultivo y transporte de la cosecha alcanzaron 22,51 ± 0,26, 32,97 ± 0,35, 20,71 ± 1,58 y 24,44 ± 0,41 GJ $ha^{-1}.año^{-1}$ respectivamente. El consumo de fertilizantes representó del 25% al 43% del total de los insumos energéticos. La energía contenida en la cosecha y en la que resta en los residuos de la misma fueron estimados en 151,3 ± 18,1, 346,1 ± 17,9, 42,0 ± 18,1 y 163,8 ± 11,6 GJ $ha^{-1}.año^{-1}$, dando como resultado relaciones salida/entrada de energía de 6,72, 10,50, 2,03 y 6,70 (Koga 2008). Vemos que mientras la remolacha produjo diez veces más energía de la que demandó su cultivo, el adzuki solo dobla el insumo energético. Sin embargo, en cuanto al futuro de estos cultivos como fuente de biocombustibles hay que tener en cuenta que no han sido considerados en estos balances los considerables costos energéticos que demanda la posterior producción de etanol.

4. Ciclo de nutrientes

Para evaluar las consecuencias ambientales a largo plazo de la extensión y la intensificación agropecuaria resulta imprescindible comparar el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas naturales y en los agro-ecosistemas de reemplazo, particularmente en lo que se refiere a los dos nutrientes que más frecuentemente limitan la producción primaria: nitrógeno y fósforo. Igualmente necesaria es la cuantificación de los efectos de diferentes prácticas agronómicas sobre el reservorio y la dinámica de estos nutrientes con vistas a implementar sistemas de manejo que puedan mantener una productividad sostenida en el

largo plazo. El ciclo del nitrógeno, por ser un ciclo abierto, es decir que incluye fases gaseosas que se pierden hacia la atmósfera, es particularmente sensible a procesos que alteren el funcionamiento de los ecosistemas. El impacto de la agricultura sobre el nitrógeno y el fósforo, y naturalmente también sobre la dinámica del COS al que ambos elementos están ligados, ha sido evaluado bajo diferentes prácticas agronómica, con distintos cultivos y en diferentes suelos y zonas climáticas. No tenemos lugar en este capítulo para recopilar la información disponible, apenas mencionaremos un par de trabajos recientes.

En Oklahoma, en las parcelas más antiguas de las grandes praderas de Estados Unidos de las que se tienen registros se analizó las dinámica del nitrógeno bajo monocultivo de trigo de invierno con LC por 109 años consecutivos, con o sin fertilización, e incorporando en ambos casos la paja al suelo (Davis 2003). Se cuantificó el C y el N total, inicial y final, en la capa arable (0-30 cm), el N aplicado en el fertilizante, el removido en el grano, las pérdidas de la planta, la denitrificación, la fijación libre, el lavado de nitratos en las aguas de drenaje y el aporte en las precipitaciones. La MOS (COS x 2) en el testigo (trigo sin aplicar ningún fertilizante), disminuyó un 67%, mientras que en los cultivos fertilizados con NP o NPK la disminución osciló entre el 55 % y el 59%, excepto en el fertilizado con P cuyo MOS decreció en el 65%. En las parcelas fertilizadas, el N total disminuyó de 6890 kg N ha^{-1} en los primeros 30 cm en 1892, es decir en la pradera nativa, a niveles entre 2657 y 3247 kg N ha^{-1} en el 2002, en los diferentes tratamientos de fertilización, es decir una disminución del 53 al 61 % del N inicial. En el testigo no fertilizado permanecían apenas 2411 kg N ha^{-1} en el 2002, una disminución del 65% del N original en la pradera. El N exportado en los granos promedió 38.4 kg N $ha^{-1}.año^{-1}$, en tanto las entradas por fertilizante, lluvia y fijación simbiótica, promediaron 44.5 kg N $ha^{-1}.año^{-1}$, la diferencia entre ambos valores corresponde al N no cuantificado, dado que por la misma naturaleza y extensión temporal de este estudio es sumamente improbable obtener un balance cero (Tabla 3). Estos resultados muestran como el monocultivo triguero persistente en LC, con o sin fertilización mineral, pero incorporando la paja, conduce a pérdidas muy substanciales tanto del carbono como del nitrógeno original.

En lo referente a posibles pérdidas de nitrato en las aguas de drenaje vale la pena

tener en cuenta que en diferentes agro-ecosistemas, incluyendo cebada, maíz y trigo, con o sin fertilización nitrogenada, han sido estimadas entre 2 y 100 kg $ha^{-1}.año^{-1}$, sin mucha relación aparente con las cantidades de N añadidas en el fertilizante. El amplio rango de valores obtenidos y de circunstancias de cultivo diferentes implica que el procesos de salida del N a través del drenaje depende de una amplia diversidad de condiciones ambientales y de sistemas de manejo del cultivo.

En cuanto al fósforo, se ha encontrado que los cultivos anuales en la región de las grandes praderas, cuando tienen fertilización nitrogenada, tienen mayores pérdidas de este nutriente en las aguas de drenaje que la pradera original de pastos altos. Así en el caso del P soluble, en un estudio comparativo maíz-pradera, donde al maíz no se lo fertilizaba o se le añadían 180 kg N ha^{-1}, y en ambos casos 10 kg P ha^{-1}, la pradera y el cultivo sin fertilizante nitrogenado perdieron en poco más de 7 meses 19 g P ha^{-1}, en tanto que el maíz fertilizado con N, perdió en el ciclo de cultivo 303 g P ha^{-1}, presentándose esta gran diferencia entre ambos tratamientos a pesar de que el drenaje no mostró diferencias significativas entre los tres sistemas analizados. No está claro aun por qué la fertilización nitrogenada incrementa tan significativamente las pérdidas de P soluble (Brye *et al*. 2002 b).

Comparando suelos templados en SD y LT, la entrada promedio de CH_4 aumentó bajo SD en ~ 0.42 ± 0.10 kg C-CH_4 $ha^{-1}.año^{-1}$, y las emisiones de N_2O en 1.95 ± 0.45 kg N-NO_2 $ha^{-1}.año^{-1}$), lo que implica que la siembra directa puede tener un potencial de calentamiento global negativo cuando se expresa en equivalentes de CO_2 , es decir las cantidades que son emitidas de gases con efecto invernadero serían responsables de un calentamiento mayor que el que deja de producirse debido al mayor secuestro de carbono en el suelo (Six *et al.* 2002).

5. El caso de la Pampa Húmeda

En la vasta región pampeana se han sucedido cambios espectaculares en el uso de la tierra y en las prácticas de manejo durante los tres últimos siglos, desde una incipiente producción ganadera sumamente extensiva (cueros vacunos, carnes saladas, cebo), hasta comienzos del siglo diecinueve, hasta la actual *agriculturización* exhaustiva que caracteriza

amplias zonas de la Pampa Húmeda (Barsky y Pucciarelli 1997, Solbrig 1997, 2008 en este libro). De un periodo inicial con bajos rendimientos y sin prácticas conservacionistas, con la consecuente disminución del reservorio de nutrientes en el suelo tal como podemos inferir extrapolando a los suelos pampeanos los resultados de los experimentos a largo plazo en las grandes praderas de Norteamérica a que hemos hecho referencia anteriormente, se pasó a un periodo con mayor productividad pero aún sin fertilización, con rendimientos no tan elevados, que condujo a un balance de carbono y de nutrientes tan negativo como para exigir el empleo de fertilizantes.

En el norte de Buenos Aires, el sector maicero y sojero de la Pampa Húmeda por antonomasia, con epicentro en Pergamino, un diagnóstico muy completo realizado hace casi dos décadas (Senigagliesi 1991) enfatizaba que la agricultura tradicional era la causante de la degradación y erosión de los suelos. Cita las conclusiones de un estudio de Michelena et al. (1989) donde concluyen que el contenido promedio de materia orgánica en las tierras en rotación agrícola-ganadera era de 3.18% en tanto que en los suelos bajo cultivo continuo era de 2.70%, lo que representaba una pérdida promedio de MOS con respecto a la pradera original del 37.3% en el primer caso y del 46.7% en el segundo. El nitrógeno mostró la misma tendencia con una deficiencia generalizada en los suelos bajo monocultivo de cereales. En forma similar las pérdidas de fósforo asimilable llegaban al 67.5% en rotaciones con forrajes y de 76% bajo agricultura continua. Tendencias negativas similares mostraban las comparaciones de la estructura del suelo arable, la acidez, la infiltración del agua y las tasas de erosión potencial y actual.

En la rica zona agropecuaria del Sur de Buenos Aires la productividad de los principales cultivos aumentó substancialmente desde la década de 1960, en tanto el fin que el deterioro de los suelos bajo el sistema mixto agrícola-ganadero fuese preocupante (Darwich 1991), aunque el autor se pregunta qué hubiera sucedido si por conveniencias de precios toda la zona se hubiese volcado a la producción agrícola. Es dable suponer que el nivel de deterioro de los suelos sí hubiera llegado en este caso a un nivel preocupante.

En los últimos veinte años, los productores tomaron conciencia de la mediocre sustentabilidad a largo plazo de la agricultura pampeana tradicional, adoptando una serie de prácticas agronómicas que lograron revertir en buena medida las tendencias negativas

de décadas anteriores. A este respecto el papel de las instituciones de investigación y extensión como las Universidades y el INTA ha sido particularmente relevante. Podemos destacar entre estas técnicas agronómicas la siembra directa, la incorporación de los rastrojos al suelo, la fertilización nitrogenada, las rotaciones entre cultivos con características complementarias así como con pastos u otras forrajeras, los abonos verdes, el uso generalizado de agroquímicos, etc. No nos detendremos en el uso de OGM pues queda por fuera de nuestros propósitos. Ha sido particularmente notable el avance de la siembra directa sumado a una creciente fertilización mineral lo que ha conducido en poco tiempo a balances menos negativos e incluso positivos para algunos nutrientes. Aunque las consecuencias de esta intensificación para un manejo sustentable, tanto a nivel de finca como regional comienzan a ser evidentes, aun no han sido completamente evaluadas, particularmente sus efectos sobre el ciclo del agua, el balance de carbono y de nutrientes. Haremos referencia entonces a algunos de los resultados pertinentes para esta problemática relacionada con la sustentabilidad ecológica de la producción pampeana. La bibliografía agronómica sobre la Pampa Húmeda es extensa y relevante, por lo cual no pretendemos hacer una revisión exhaustiva de la misma, ni siquiera sobre los temas que estamos tratando en este capítulo. Hemos por el contrario seleccionado algunos trabajos que indican o sugieren los principales problemas ecológicos derivados de las características actuales de los sistemas de cultivo en la región pampeana, intentando relacionar sus conclusiones con la temática de los cambios inducidos en los ecosistemas naturales y sus previsibles consecuencias a corto y largo plazo. En primer término consideraremos el balance hídrico de algunos sistemas agrícolas de importancia y las modificaciones que producen diferentes prácticas agrícolas, posteriormente discutiremos los problemas relacionados con el carbono y los nutrientes.

En diferentes unidades geomorfológicas de la región pampeana la capacidad de agua disponible en todo el perfil presenta una amplia variación interregional, desde 169 mm en *mollisoles* de la Pampa Ondulada, hasta apenas 36 mm en suelos poco desarrollados de la Pampa Semiárida, dependiendo naturalmente de la profundidad, la textura y la estructura de cada horizonte. El agua potencialmente disponible en la capa arable en cambio, tiene pequeñas variaciones entre los diferentes suelos fluctuando alrededor de los 30 mm

(Damiano y Taboada 2000). Como las raíces de los cultivos anuales explotan casi exclusivamente el suelo superficial, esta es la reserva máxima de agua disponible para enfrentar los periodos entre dos lluvias consecutivas. Una reserva de 30 mm, en el verano pampeano con una evaporación del orden de 5 a 6 $mm.día^{-1}$, implica que las plantas cultivadas dispondrán de agua suficiente apenas por unos 5 a 6 días, luego comenzaran a funcionar bajo estrés hídrico, reduciendo su crecimiento y productividad. La pradera por supuesto, con sus gramíneas perennes cuyas raíces explotan todo el perfil del suelo tiene una capacidad de resistencia a la sequía mucho mayor.

Un segundo punto a tener en cuenta es el consumo de agua por los cultivos. En Pergamino, el consumo de agua, es decir la evapotranspiración real (ETR), con doble cultivo trigo-soja fue de 339 mm en el trigo y de 483 mm en la soja, como promedio de cuatro años, en tanto para ambos cultivos en conjunto el promedio fue de 822 mm anuales. Las lluvias durante los respectivos periodos de cultivo alcanzaron a 292 y 583 mm respectivamente, un promedio de 875 mm anuales (Totis de Zeljkovich et al. 1991), es decir el trigo aun utilizando la reserva de agua del suelo, tiene un pequeño déficit de agua, en la soja en cambio la lluvia resultó suficiente y la reserva de agua en el suelo se repone. En Santa Isabel, Santa Fe, el consumo anual de agua fue de 530 mm en maíz y soja, la soja de segunda, con ciclos más cortos, consumió 425 mm mientras que el trigo de invierno tuvo un consumo de 440 mm (Andriani 2000). Vemos que el consumo de agua depende por supuesto de las condiciones meteorológicas propias de cada sitio en cada año, pero los resultados obtenidos nos informan sobre el orden de magnitud del proceso. Una primera conclusión general es que el sistema de doble cultivo en la Pampa Húmeda consume prácticamente toda el agua disponible en años con lluvias próximas a la normal, pero seguramente tendrá deficiencia de agua en años secos, en tanto solo ocurrirá drenaje profundo en años con lluvias bien por encima de la media.

La SD con mantenimiento del rastrojo en superficie incrementa el agua disponible en el suelo con respecto a la LC, debido a que la SD favorece la infiltración al evitar la compactación del suelo superficial, disminuye la evaporación desde la superficie del suelo y puede, en un plazo de varios años, regenerar los macroporos presentes en la pradera original, que conforman los canales preferenciales para la infiltración del agua en

el suelo (Dardanelli, 1998; Micucci et al., 2002a).

Los *mollisoles* de la Pampa Húmeda, antes de su utilización intensiva se catalogaban entre los suelos más fértiles del planeta, pero han venido siendo degradados por un continuo y prolongado uso agrícola donde se extraía más de lo que se devolvía al suelo. La pradera original mantenía contenidos de carbono sumamente elevados, particularmente en la capa arable, con valores del orden de 70 Mg C ha^{-1} o aún más altos, pero la intensificación de la agricultura provocó un marcado descenso en pocas décadas (Echeverria y Ferrari 1993). La SD junto al aporte de los residuos de cosecha al suelo ha surgido como una alternativa que minimiza la caída del COS si el punto de partida es el ecosistema original poco intervenido con sus altos contenidos de MOS, y por otra parte la SD recupera parte del carbono desaparecido en suelos agotados durante sucesivos ciclos agrícolas con LC. Los efectos de ambas prácticas agrícolas sobre los flujos de carbono y la MOS fueron evaluados en experimentos de campo en diferentes zonas pampeanas (Alvarez *et al.* 1998, Andriulo *et al.* 1999, Studdert y Echeverria 2000, 2002, Apeztegui y Serena 2002, Dominguez *et al.* 2004, Dominguez y Studdert 2006).

La dinámica de la materia orgánica en diferentes rotaciones con LC fue seguida en dos molisoles de la Pampa Húmeda, uno en Oliveros el otro en Pergamino (Andriulo *et al.* 1999). En Oliveros, en un *mollisol* que había sido cultivado durante 60 años, se establecieron cinco rotaciones: trigo, maíz, trigo/soja, trigo/soja-maíz y trigo/soja-girasol, con LC, sin fertilización pero incorporando en todos los casos los residuos de cosecha. A pesar de que las fuertes entradas de carbono al suelo tanto por residuos de cosecha, como por la descomposición de raíces, que variaron entre casi 3 Mg C ha^{-1} $año^{-1}$ en trigo a algo más de 5 Mg C ha^{-1}.$año^{-1}$ en la rotación trigo/soja, el COS decayó durante los primeros cinco años (con un 9% de pérdida desde un nivel inicial de 35 Mg C ha^{-1}), estabilizándose luego en las diferentes rotaciones en un nivel de 31 a 32 Mg C ha^{-1}. Con los aportes anuales de cualquiera de los monocultivos o rotaciones, el nivel de carbono se estabilizaba en este valor. En Pergamino, el *mollisol* de la pradera original fue roturado por primera vez cultivando soja durante 13 años consecutivos lo que provocó una caída del 28% del carbono original (68 Mg C ha^{-1} a 49 Mg C ha^{-1}), es decir la mineralización y humificación del carbono contenido en los aportes de residuos y de raíces, del orden de 3.8 Mg C ha^{-}

^{1} .año $^{-1}$, no fueron suficientes para estabilizar el COS. Pero en los últimos 3 años del experimento el COS mostró una tendencia a la estabilización por lo que podría postularse que en pocos años más se alcanzaría un nuevo equilibrio. Mediante el ∂^{13}C los autores pudieron diferenciar en el COS el carbono "nuevo", derivado de los residuos de cosecha, del carbono "viejo" original del suelo. Así por ejemplo en el monocultivo de maíz en Ontiveros el carbono nuevo acumulado en 13 años alcanzó unos 10 Mg ha^{-1} y poco más de 3 Mg en el monocultivo triguero. Por su parte el carbono viejo disminuía de 35 a 21Mg C ha^{-1} en el maíz y a 29 en el trigo (Tabla 4). En el monocultivo sojero en Pergamino, del valor inicial de 68 Mg ha^{-1}, el carbono viejo a los 13 años bajaba a 42.4 y el nuevo representaba 6.6 Mg C ha^{1}. Este valor representa apenas el 13.5 % del carbono presente en los residuos de cosecha. Se puede concluir entonces que la LC en diferentes rotaciones en los suelos de la Pampa Húmeda conduce rápidamente a pérdidas importantes del COS, alcanzándose un nivel de equilibrio similar sin importar cual sea el cultivo o la rotación seguida, es decir es independiente de la cantidad y calidad de los residuos vegetales aportados. Sin embargo la incorporación al COS de los residuos de cosecha y raíces depende de la calidad del material, cuanto más rico éste, como en el caso de la soja, más fácilmente mineralizable y por consiguiente menos se acumula en el suelo como carbono refractario de mineralización lenta (humus).

En la pampa ondulada, comparando parcelas después de 15 años de rotación maíz-trigo-soja, con o sin fertilización nitrogenada, con LC o SD, se encontró que la fertilización no se tradujo en un mayor secuestro de carbono (Alvarez *et al.* 1998). Por otra parte, el carbono total, la biomasa y la actividad microbiana (0-20 cm del suelo) fueron similares en ambos tipos de labranza, al igual que las tasas de mineralización en incubaciones de laboratorio. El balance anual de carbono resultó negativo con ambos sistemas de cultivo, aunque con SD se perdió mas carbono, entre 0.7 y 1.5 Mg C ha^{œ1} año^{œ1} por encima de las pérdidas con LC. Los autores proponen que luego de una fase inicial de acumulación del COS, los suelos en siembra directa pierden mayores cantidades de CO_2 que cuando son arados y en consecuencia la SD no afecta de manera significativa el pool de materia orgánica, aunque si modifica la distribución del carbono en los primeros 20 cm del perfil edáfico.

Otros resultados han confirmado que bajo LC la MOS en la capa arable decrece continuamente, pero podría ser mantenida en nuevas condiciones de equilibrio si se devuelve carbono al suelo en los residuos, en cantidad y calidad que dependen a su vez del cultivo, del manejo y la fertilización (Studdert & Echeverria 2000, 2002 a,b,c). Estos autores analizaron la dinámica del carbono en dos suelos de Balcarce en 16 secuencias de cultivo de trigo, soja, girasol y maíz, bajo LC, entre 1984 y 1995. El carbono inicial en la capa arable alcanzaba 66 Mg C ha^{-1}, luego de once años hubo diferencias significativas en el COS final entre rotaciones y tratamientos fertilizados o no, pero en todos los casos disminuyó, mas sin fertilización nitrogenada que con ella. Además, la correlación entre aporte anual de residuos y COS resultó altamente significativa (Dominguez y Studdert 2006). Las pérdidas aumentan cuando se incluye soja en la secuencia, material más rico y fácilmente descomponible, en tanto disminuyen cuando se incluye maíz. Evidentemente la cantidad de carbono en el suelo está directamente relacionada con el aporte de los residuos de cosecha, bastante mayores en el maíz que en la soja, pero los sistemas con dos cultivos de verano cada tres años mostraron asimismo mayores decrecimientos de COS que las rotaciones con uno o ningún cultivo estival. Siguiendo la evolución durante 12 años del COS en rotaciones de diferentes cultivos: trigo, girasol, soja y maíz, con o sin fertilización nitrogenada, en el sur de Buenos Aires (Studdert y Echeverria 2002 c), el COS sin fertilización bajó de 38 a 30-33 Mg ha^{-1} según las rotaciones, con un descenso más pronunciado con trigo y menos pronunciado en rotaciones trigo-girasol, en tanto que con fertilización el descenso llegó a 32-35 Mg ha^{-1}, siendo mayor la pérdida con trigo y menor con trigo-maíz. Es decir la selección de los cultivos y las rotaciones permiten mitigar las pérdidas de MOS. La incorporación al suelo de los residuos de cosecha mejora el balance de carbono, aun con labranza convencional, lo que conduce a mantener un nivel relativamente alto de materia orgánica al mismo tiempo que se logra un manejo agrícola productivo y sustentable. Así en la continuación de la experiencia precedente en un *mollisol* de Balcarce (Dominguez y Studdert 2006), bajo cultivos de maíz, girasol, soja y trigo, luego de once años de labranza tradicional, los autores encontraron que el aporte neto de carbono al suelo fue muy positivo (6.5 g C kg^{-1} suelo en el maíz con alto rendimiento), un aporte importante en trigo con alto rendimiento y en maíz con rendimiento medio (3.1 y 2.2 g C kg^{-1} respectivamente), aportes bajos, del orden de 1 g C kg^{-1} con girasol de alto

rendimiento y trigo de rendimiento medio, la soja de alto rendimiento y el maíz de producción bajo dieron una incorporación casi nula de carbono, en tanto que con una producción baja, soja, girasol y trigo mantuvieron un balance de carbono negativo. Estos resultados experimentales sugieren que si fuera posible mantener una alta producción vegetal se lograría un balance positivo de carbono con labranza tradicional en rotaciones entre estos cultivos.

En un estudio de la evolución del COS en un *mollisol* en Manfredi, en el centro de la Provincia de Córdoba, es decir el borde de la Pampa Húmeda con el sub-húmedo (Apezteguia y Sereno 2002), con rotación constante maíz/soja durante 16 años, con tres tratamientos: LC, labranza vertical y SD, el COS final presentó diferencias significativas entre los tres sistemas de laboreo, incrementándose en SD un 10-15% (6.9 Mg C ha^{-1}) por encima de la LC. Con soja continua, el balance de materia orgánica tiende a ser negativo; la cantidad de carbono mineralizado anualmente no es compensada por el aporte de los "rastrojos" debido a la escasa cantidad y baja relación C/N. En un experimento de larga duración que se conduce en el INTA de Manfredi, con labranza reducida se comprobó una importante disminución de la materia orgánica en los monocultivos de soja y maní (Martelloto *et al.* en la red). La rotación entre cultivos y pasturas permite estabilizar el nivel del COS. En experiencias de campo en el Sur de Buenos Aires con distintas rotaciones de cultivos y pasturas durante cuatro años, bajo SD y LC, de un nivel inicial de 70 el COS final bajó hasta 66 Mg ha^{-1} con LC, en tanto que con SD se mantuvo en el nivel inicial de 74 Mg C ha^{-1} (Studdert y Echeverria 2002 b).

En una revisión de los resultados obtenidos con siembra directa sobre el COS y la denitrificación en la pradera pampeana, se analizaron 42 pares de datos para carbono en las comparaciones de SD y LC (disco o reja) y 20 pares de datos para comparar LC y mínima (Steinbach & Alvarez 2006). Los cambios en el COS bajo SD no estuvieron correlacionados con el tiempo en que se iniciaron los experimentos y en promedio el COS aumentó en 2.76 Mg ha^{-1} en SD sobre la LC, pero no hubo diferencias entre convencional y reducida. En cuanto a las emisiones de N_2O, fueron mayores en SD con un incremento de 1 kg N ha^{-1} $año^{-1}$ en la tasa de denitrificación. Estas emisiones podrían sobrepasar en unos 35 años el potencial de la SD para reducir el cambio global mediante el secuestro de carbono y

paradójicamente la labranza cero estaría incrementando el calentamiento global.

En SD, la no remoción del suelo y el mantenimiento de los residuos de cosecha en superficie conducen a aumentar el contenido de materia orgánica en la capa superficial respecto de situaciones similares bajo LC. En general, la cantidad de residuos retornados al suelo es el factor más importante en la dinámica de la MOS, todas las acciones que a lo largo de una rotación incrementen la cantidad de carbono devuelto al suelo (alta frecuencia de cultivos con gran volumen de rastrojo y/o sistema radical, fertilización, riego, etc.) hacen que la tasa de caída de la MOS sea menor (Studdert y Echeverría 2000 a y b). La MOS está compuesta por fracciones de diferente labilidad, las fracciones más lábiles son más sensibles a los cambios producidos por las prácticas de manejo del suelo y del cultivo, por lo tanto pueden ser usadas como indicadores tempranos de los efectos producidos por las prácticas utilizadas.

Tampoco han sido totalmente clarificados los efectos del pastoreo de herbívoros domésticos sobre el funcionamiento de los pastizales y la dinámica de la materia orgánica del suelo. Los efectos sobre la productividad primaria y el COS se simularon utilizando el modelo *Century* (Parton *et al.* 1988), en 11 sitios de la pradera pampeana (Piñeiro *et al.* 2004). El COS disminuyó en todos los sitios al cabo de 400 años de simulación de pastoreo, con una reducción promedio del orden del 22% del carbono inicial. La pérdida de carbono del suelo fue interpretada como asociada al aumento de las salidas de N por volatilización y al lavado a partir de las deyecciones de los animales. El efecto del pastoreo sobre el pool de carbono edáfico parece ser variable, los pocos estudios existentes en la región muestran pocos cambios en los niveles originales, aunque no se han investigado los mecanismos responsables de los mismos (Lavado *et al.* 1996). Los resultados posteriores siguen siendo contradictorios ya que la PPNA puede tanto subir como bajar, dependiendo del sitio (Rusch y Oesterheld 1998, Altesor *et al*. 2005).

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Acevedo, D. y G. Sarmiento.1990. Intercepción de la lluvia, escorrentía superficial y drenaje profundo en una pastura tropical y un cultivo de maíz en Barinas, Venezuela. *Ecotrópicos* 3: 12-32.

Altesor, A., Oesterheld, M., Leoni, E, Lezama, F. and C. Rodríguez.2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179: 83œ91

Alvarez, R. 2001. Estimation of carbon losses by cultivation from soils of the Argentine Pampa using the Century model. *Soil Use and Management* 17: 62-66.

Alvarez, R., Russo, M.E., Prystupa, P., Scheiner,J.D. and L. Blotta. 1998. Soil carbon pools under conventional and notillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* **90**: 138œ143.

Andriulo, A., Guérif, J. and B. Mary. 1999. Evolution of soil carbon with various cropping sequences on the rolling pampas. Determination of carbon origin using variations in natural ^{13}C abundance. *Agronomie* 19: 349-364.

Andriulo A., Mary, B. and J. Guérif.1999. Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19: 365-377.

Barsky, O. y A. Pucciarelli.1997. *El agro pampeano. El fin de un período.* Buenos Aires: FLACSO-UBA.

Bauer, A. and A.L.Black.1981. Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Science Society of America Journal* 45: 1166-1170.

Blanco-Canqui, H. and R. Lal.2008. No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment. *Soil Science Society of Amrica Journal* 72: 693-701.

Brown, J.R. 1994. The Sanborn Field experiment. p. 39œ52. *In* R.A. Leigh and A.E. Johnston (ed.) *Long-term experiments in agriculture and ecological sciences*. Wallingford: CAB International..

Brye, K.R., Norman, J.M., Bundy, L.G. and S.T. Gower. 2000. Water-budget evaluation of prairie and maize ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 64: 715724.

Brye, K.R., Gower, S.T., Norman J.M. and L.G. Bundy.2002. Carbon budgets for a prairie and agroecosystems: effects of land use and interannual variability. *Ecological Applications* 12: 962œ979

Brye, K.R., Norman, J.M., Gower, S.T. and L.G. Bundy.2002a. Carbon budgets for a prairie and agroecosystems: effects of land use and interannual variability. *Ecological Applications* 12: 962-979.

Brye, K.R., Andraski, R.T., Jarrell, W.M., Bundy, L.G. and J.M. Norman.2002 b. Phosphorus leaching under a restored tallgrass prairie and corn agroecosystems. *Journal of Environmental Quality* 31:769œ781.

Brye, K.R. and C.J. Kucharik.2003. Carbon sequestration in two prairie topochronosequences on contrasting soils in southern Wisconsin. *American Midland Naturalist* 149: 90-103.

Buyanovsky, G.A., Kucera, C.L. and G.H. Wagner.1987. Comparative Analyses of Carbon Dynamics in Native and Cultivated Ecosystems. *Ecology* 68: 2023-2031

Buyanovsky, G.A. and G.H. Wagner.1998.Carbon cycling in cultivated land and its global significance. *Global Change Biology* 4:131-141.

Buyanovsky, G.A. and G.H. Wagner.1998. Changing role of cultivated land in the global carbon cycle. *Biology and Fertility of Soils* 27: 242-245.

Damiano, F. y M.A. Taboada.2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-tranferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 18: 77-88.

Darwich, N. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales en la región pampeana húmeda sur. En Seminario Juicio a Nuestra Agricultura, 53-62. Buenos Aires: INTA.

Davis, R.L., Patton, J.J., Teal, R.K., Tang, Y., Humphreys, M.T., Mosali, J., Girma, K. , Lawles, J.W., Moges, S.M., Malapati, S.J., Si ,J., Zhang, H., Deng, S., Johnson,

G.V., Mullen, R.W. and W.R. Raun.2003. Nitrogen balance in the Magruder Plots following 109 years in continuous winter wheat. *Journal of Plant Nutrition* 26: 1561œ1580.

Díaz-Ambrona, C.G., O'Leary, G.J., Sadras, V.O., O'Connell, M.G. and D.J. Connor 2005. Environmental risk analysis of farming systems in a semi-arid environment: effect of rotations and management practices on deep drainage *Field Crops Research* 94: 257-271.

Dominguez, G.F. y G.A. Studdert.2006. Balance de carbono en un mollisol bajo labranza convencional. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta-Jujuy 2006.

Echeverría, HE y J. Ferrari.1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico* Nº 112. EEA Balcarce, INTA.

Entry, J.A., Sojka, R.E. and G.E. Shewmaker.2002. Management of irrigated agriculture to increase organic carbon storage in soils. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1957-1964.

Eshel, G., Fine, P. and M.J. Singer.2007. Total Soil Carbon and Water Quality: An Implication for Carbon Sequestration. *Soil Science Society of America Journal* 71: 397-405.

García, F.O. 2004. Agricultura sustentable y materia orgánica del suelo. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Santa Cruz de la Sierra. www.engormix.com/artículo_agricultura_sustentable_materia_forumsview

Gash, J. H. C., Lloyd, C. R. and G. Lachaud.1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology* 170: 79œ86.

Ghersa, C.M., Ferraro, D.O., Omacini, M., Martínez-Ghersa, M.A., Perelman, S.B., Satorre, E.H. and A. Soriano (2002). Farm and landscape level variables as indicators of sustainable land-use in the Argentine Inland-Pampa. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 93: 279-293.

Goldstein, G. and G. Sarmiento.1987. Water relations of trees and grasses and their consequences for the structure of savanna vegetation. En: B.H. Walker (ed). *Tropical*

Savanna Determinants, 13-38. Oxford: IRL Press.

Haile-Mariam, S., Collins, H.P., Wright, S. and E.A. Paul.2008. Fractionation and Long-Term Laboratory Incubation to Measure Soil Organic Matter Dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 72: 370-378.

Hooker, B.A., Morris, T.F., Peters, R. and Z.G. Cardon.2005. Long-term Effects of Tillage and Corn Stalk Return on Soil Carbon Dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 69: 188-196.

Huang, G.B., Zhang, R.Z., Li, G.D., Li, L.L., Chan, K.Y., Heenan, D.P., Chen, W., Unkovich, M.J., Robertson, M.J., Cullis, B.R. and W.D. Bellotti.2008. Productivity and sustainability of a spring wheatœfield pea rotation in a semi-arid environment under conventional and conservation tillage systems. *Field Crops Research* 107: 43

Huggins, D.R., Allmaras, R.R., Clapp, C.E., Lamb, J.A. and G.W. Randall. 2007**.** Corn-Soybean Sequence and Tillage Effects on Soil Carbon Dynamics and Storage. *Soil Science Society of America Journal* 71: 145-154.

Izaurralde, R.C., McGill, W.B., Robertson, J.A., Juma, N.G. and J.J. Thurston.2001. Carbon Balance of the Breton Classical Plots over Half a Century. *Soil Science Society of America Journal* 65: 431œ441

Khan, S.A., Mulvaney, R.L., Ellsworth, T.R. and C.W. Boast.2007. The Myth of Nitrogen Fertilization for Soil Carbon Sequestration. *Journal of Environmental Quality* 36: 1821-1832.

Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125: 101-110.

Kozak, J.A., Ahuja, L.R., Green, T.R. and L. Ma.2007. Crop Canopy and Residue Rainfall Interception Effects on Water and Crop Growth. *Hydrological Processes* 21: 229-241.

Kucharik, C.J., Foley, J.A., Delire, C., Fisher, V.A., Coe, M.T., Gower, S.T., Lenters, J., Molling, C., Norman, J.M. and N. Ramankutty.2000. Testing the performance of a dynamic global ecosystem model: water balance, carbon balance and vegetation structure. *Global Biogeochemical Cycles* 14: 795-825.

Kucharik, C.J., Brye, K.R., Norman, J.M., Foley, J.A., Gower, S.T. and L.G. Bundy. 2001.Measurements and modeling of carbon and nitrogen cycling in agroecosystems of southern Wisconsin: Potential for SOC sequestration during the next 50 years. *Ecosystems* 4: 237-258.

Lavado, R.S.**,** Sierra, J.O. and P.N. Hashimoto.1996. Impact of grazing on soil nutrients in a pampean grassland. *Journal of Range Management* 49: 452-457.

Link, T. E., Unsworth, M. and D. Marks.2004. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 171-191.

Martelloto, E., Salas, H. y E. Lovera. El Monocultivo de Soja y la Sustentabilidad de la Agricultura Cordobesa www.elsitioagricola.com/articulos/martelloto

Michelena, R. *et al.* 1989. Degradación de suelos en el norte de la región pampeana. *PAC, Publicación Técnica* 6.

Murage, E.W., Voroney, P.R., Kay, B.D., Deen, B. and R.P. Beyaert.2007. Dynamics and Turnover of Soil Organic Matter as Affected by Tillage. *Soil Science Society of America Journal* 71: 1363-1370.

Parton, W.J., Stewart, J.W. and C.V. Cole. 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: A model. *Biogeochemistry* 5: 109-131.

Piñeiro, G., Paruelo, J.M., Oesterheld, M., Jobbagy, E.G., Jackson, R.D. y A.I. Altesor.2004. Efectos del pastoreo sobre los ciclos de carbono y nitrógeno en los Pastizales del Río de la Plata. Asociación Argentina de la ciencia del suelo. AACS, Paraná.

Post, W.M. and K.C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6: 317œ327.

Puget, P. and L.E. Drinkwater. 2001. Short-Term Dynamics of Root- and Shoot-Derived Carbon from a Leguminous Green Manure. *Soil Science Society of America Journal* 65: 771-779.

Purakayastha, T.J., Huggins, D.R. and J.L. Smith. 2008. Carbon Sequestration in Native Prairie, Perennial Grass, No-Till, and Cultivated Palouse Silt Loam. *Soil Science Society*

of America Journal 72: 534-540.

Richter, D.B. Jr, Hofmockel, M., Callaham, M.A.Jr., Powlson, D.S and P. Smith. 2007. Long-Term Soil Experiments: Keys to Managing Earth‘s Rapidly Changing Ecosystems, *Soil Science Society of America Journal* 71: 266œ279.

Rusch, G.M. and M. Oesterheld.1997.Relationship between productivity, and species and functional group diversity in grazed and non-grazed Pampas grasslands. *Oikos* 78: 519-526.

Sarmiento, G. 1984. *Los ecosistemas y la ecosfera*. Barcelona: Editorial Blume.

Sarmiento, G.2000. *La transformación de los ecosistemas en América Latina*. Buenos Aires: Ediciones Electrónicas Laffont.

Sarmiento, G. y D. Acevedo.1991.Dinámica del agua en el suelo, evaporación y transpiración en una pastura y un cultivo de maíz sobre un alfisol en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Ecotropicos* 4: 27-42.

Senigagliesi, C. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales, particularmente el suelo, en el sector norte d la Pampa Húmeda. En Seminario Juicio a Nuestra Agricultura, 31-49. Buenos Aires: INTA.

Six J., Feller C., Denef K., Ogle S.M., Sa J.C.M. and A. Albrecht. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils œ effects of no-tillage, *Agronomie* 22: 755œ775.

Solbrig, O.T. 1997. Ubicación histórica: desarrollo y problemas de la Pampa Húmeda. En Morello, J. y O.T. Solbrig (Eds.): *Argentina granero del mundo: hasta cuándo?*, 29-40. Buenos Airs: CEA, UBA-Harvard University-INTA.

Steinbach, H.S. and R. Alvarez.2006. Changes in Soil Organic Carbon Contents and Nitrous Oxide Emissions after Introduction of No-Till in Pampean Agroecosystems. *Journal of Environmental Quality* 35: 3-13.

Studdert, G. A., Echeverria, H.E. and E.M. Casanovas.1997. Cropœpasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typic argiudoll. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1466œ1472.

Studdert G. and H. Echeverría.2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 64: 14961503.

Studdert G. y H. Echeverría.2002a. Rotaciones mixtas, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales —Fertilidad 2002“. Acassuso, Buenos Aires: INPOFOS Cono Sur.

Studdert G. y H. Echeverría.2002b. Agricultura continua, labranzas y carbono orgánico en la capa arable en el sudeste bonaerense. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales —Fertilidad 2002“. Acassuso, Buenos Aires: INPOFOS Cono Sur.

Studdert G. y H. Echeverría.2002c. Rotaciones agrícolas y dinámica del carbono orgánico del suelo en Balcarce. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales —Fertilidad 2002“. Acassuso, Buenos Aires: INPOFOS Cono Sur.

Tobón, M., Bouten, C.W., and J. Serink.2000. Gross rainfall and its portioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia, *Journal of Hydrology* 237: 40œ57.

Van Dijk, A. I. and L.A. Bruijnzeel. 2001. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system, *Journal of Hydrology* 247: 239œ262.

Wagai, R., Brye K.R., Gower S.T., Norman, J.M. and L.G. Bundy.1998. Land use and environmental factors influencing soil surface CO_2 flux and microbial biomass in natural and managed ecosystems in southern Wisconsin. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1501-1509.

West, T.O. and W.M. Post.2002. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1946.

Zhang G., Zeng G.M., Jiang Y.M., Huang, G.H., Li J.B., Yao, J.M., Tan W., Xiang R. and X.L. Zhang.2006. Modelling and measurement of two-layer-canopy interception losses in a subtropical evergreen forest of central-south China. *Hydrology and Earth System Sciences* 10: 65œ77.

	Precipitación total	**Evapotranspiración**	**Drenaje**

Pradera	706	657	515	486	112	83
Maiz Tradicional	857	700	484	355	351	401
Maiz labranza cero	857	700	511	372	262	266

Tabla 1. Elementos del balance hídrico anual en una pradera y en cultivos de maiz con labranza tradicional y labranza cero, durante dos años. Todas las cifras en mm por año. Datos de Brye *et al.* 2000.

	Producción aérea	**Producción subterránea**	**Producción total**	**Producción grano**
Pradera	0.76	1.86	2.62	
Maiz NF	5.40	0.83	6.23	2.16
Maiz F	8.87	1.45	10.32	4.30

Tabla 2. Producción aérea, subterránea, total y de granos (Mg C $ha^{-1}.año^{-1}$), en una pradera en recuperación y en maíz con (F) y sin fertilización nitrogenada (NF). Medias de cinco años consecutivos. Adaptado de Brye *et al*. 2002.

	Testigo	**NPK**
N en precipitaciones	545	545
N en fertilizante	0	3321
Fijación libre	218	146
Total inicial + entradas	7653	10902
N exportado en el grano	2808	3990
Pérdidas desde la planta	1252	1614
Denitrificación	265	664
Drenaje	306	436
Pérdidas totales	4631	6704
N final	2411	3247
No cuantificado	611	951

Tabla 3. Entradas, salidas y reservorios de Nitrógeno (kg N ha^{-1}) en monocultivo triguero continuo (1892 œ 2001) en Oklahoma, USA. Adaptado de Davies *et al.* 2003.

Carbono Mg C ha-1	**Maíz**	**Soja**
Inicial	35	68
Final	31	49
Pérdida	4	19
”Viejo‘	21	42.4
”Nuevo‘	10	6.6
Aportado	58.5	48.8
% en C nuevo	17	13.5

Tabla 4. Contenido inicial de carbono en el horizonte arable, contenido final al cabo de 13 años de monocultivo de maíz, en Oliveros, o soja, en Pergamino; pérdida de COS en dicho intervalo; carbono remanente del inicial (C ”viejo‘); carbono aportado por el cultivo (C ”nuevo‘), total de aportes y porcentaje (%) incorporado al COS. Elaborado en base a datos de Andriulo *et al.* 1999.

Figura 1 Modelo de los flujos de agua entre la atmósfera, la vegetación y el suelo. La única entrada considerada es la precipitación total (Pt), las salidas son la evaporación desde la cubierta vegetal (Ev) y desde la superficie del suelo (Es), la transpiración de la vegetación (T), la escorrentía superficial (Esc) y el drenaje profundo (D). La evaporación desde la vegetación y el suelo junto con la transpiración constituyen la evapotranspiración (ET). Los flujos internos en el ecosistema son la precipitación efectiva (Pe), el flujo caulinar (Fc) y la infiltración (I). Los reservorios son dos: la intercepción por la vegetación (Int equivalente a la Ev) y el almacenamiento de agua en el suelo (S).

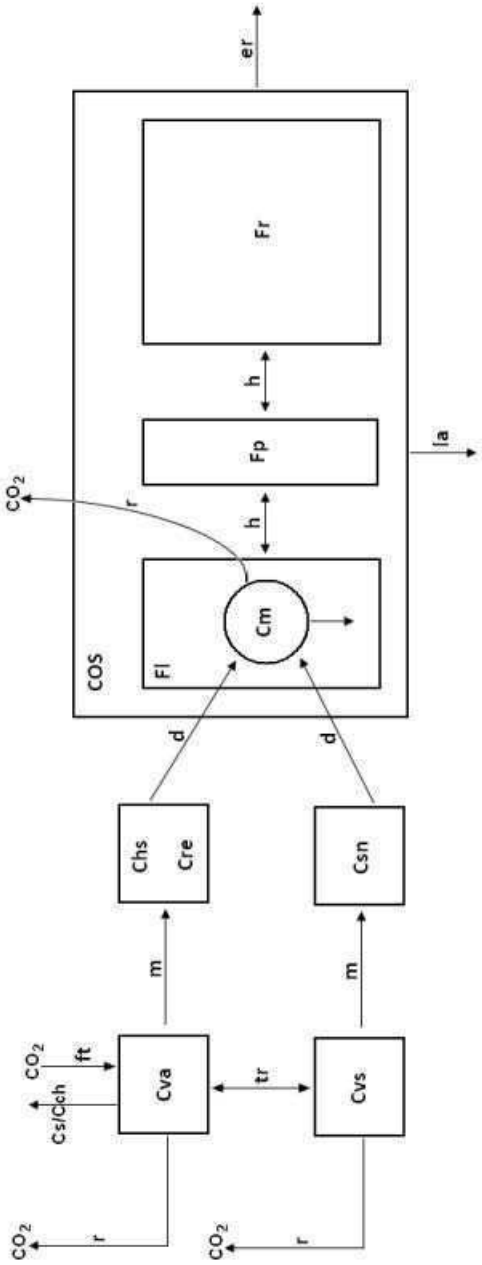


Figura 2 Modelo de los reservorios y flujos de carbono orgánico en un ecosistema o en un agro-ecosistema. Reservorios: Cva = C en vegetación parte aérea; Cvs = C en vegetación parte subterránea; Chs/Cre= Carbono en la hojarasca y en los residuos de cosecha; Csn = C en necromasa de raíces; COS= C orgánico en el suelo, con tres fracciones: Cl= ligero, Cp = pesado; Cr = refractario, dentro de Cl está Cm = C en la biomasa microbiana del suelo. Flujos de carbono: ft=fijación de CO2 por fotosíntesis; cs/cch = C consumido por herbívoros o exportado en la cosecha, r=respiración, tr=translocación; m=mortalidad; d=descomposición; h=humificación/deshumificación; la= lavado de C soluble; per=pérdidas de C por erosión.

Capítulo 10

Desarrollo agropecuario, ambiente y población rural

Carlos Reboratti

1. Agricultura, ambiente y población

Los orígenes

El uso de los recursos y servicios del ambiente es un tema que ha atravesado a toda la historia de la humanidad (ver Cap.2). Si en un primer y muy largo periodo las actividades que relacionaban a la sociedad y su ambiente fueron la caza, la pesca y la recolección, el siguiente correspondió a lo que en general podríamos llamar la "domesticación" de la naturaleza a través de la agricultura y la ganadería (Harlan, 1975; Rindos, 1990). Con esa domesticación se hacia clara la intención de la sociedad humana de aprovechar para su beneficio los recursos del ambiente, no ya desde una actitud pasiva, sino modificando activamente sus características, seleccionando los elementos que le fueran mas útiles y tratando de dominar sus procesos para obtener una mayor productividad dirigida específicamente a obtener más cantidad de productos. Esta domesticación o, si lo vemos desde otro punto de vista, la modificación de los ecosistemas para generar agrosistemas, fue un proceso largo y para nada geográficamente uniforme. La transición entre la recolección y la actividad agraria es un proceso que traído muchas discusiones, pasando de la intervención mágica de los dioses a la definición de un largo periodo donde la modificación del ambiente se hace gradualmente (Bellwod 2005; Simmons 1994) hasta llegar a la agricultura y la ganadería aproximadamente como las conocemos ahora. Pero no fue un proceso similar a la de la expansión geográfica original del *homos sapiens sapiens*, que reconoce un solo foco a partir del cual se realiza esa expansión, sino que en distintos lugares y momentos aparecen centros de actividad agrícola y ganadera, basados en la domesticación de especies vegetales y animales locales (Mazoyer y Roudart 1998). Es a partir de esos focos que se produce la expansión, primero muy lenta dado que se realiza por simple contacto geográfico (contacto que tiene una fuerte limitación cultural y ambiental) y, a medida que las sociedades se hacen más complejas y sus técnicas de transporte más eficientes, cada vez más veloz. En realidad, es sólo en el siglo XVI, con el descubrimientos de América por parte de los europeos, la adopción de varios de sus cultivos y la

introducción en ésta del ganado europeo, cuando se podría decir que la actividad agraria se mundializa y comienza un segundo período, el del “intercambio biológico” (Crosby, 1988), que de alguna manera todavía esta en desarrollo (el ejemplo de la soja en nuestro país es bien claro a ese respecto).

Expansión territorial y productividad

Durante la mayor parte del proceso de expansión agraria, el aumento de la producción se basaba casi exclusivamente en el crecimiento territorial y no en el de la productividad. Si bien es común que muchos autores se refieran a la existencia de "revoluciones agrarias", ese concepto es muchas veces excesivamente eurocéntrico, no da cuenta de los que pasaba en el resto del mundo ni analiza el tema de las muy diferentes formas de expansión del conocimiento tecnológico en el mundo premoderno. Es verdad que esas revoluciones agrarias significaron un aumento de la productividad, pero hasta el siglo XX, fue mucho más importante, si medimos su papel en el aumento global de la producción, el de la expansión territorial. Esto esta relacionado con la relativa lentitud de los cambios tecnológicos y la dificultad para su adopción por otras sociedades, lo que a su vez se conecta con el hecho de que buena parte de la sociedad mundial (en realidad su gran mayoría) vivía en sistemas socio-territoriales relativamente cerrados, con muy poco intercambio de bienes y personas entre las distintas regiones. Recién con la aparición de la revolución industrial, el proceso de urbanización, la creación de transportes terrestres y marítimos con tracción mecánica y la fragmentación del mundo en estados/nación es que el comercio a grandes distancias se amplia y se acelera, permitiendo la producción de alimentos a gran escala y un aumento (primero modesto) de la productividad. Si bien hoy podemos hablar de la existencia de cadenas agroindustriales, hay que tener en cuenta que este es un concepto que no se puede llevar muy atrás en el tiempo. Hasta aproximadamente el siglo XIX, la mayor parte de los alimentos se producía y consumía en escalas territoriales muy pequeñas, y lo más cercano a la existencia de una “cadena” eran dos o tres eslabones de corto recorrido y baja complejidad (producción, transporte y consumo en mercados locales).

La aparición de mejoras tecnológicas masivas y la creciente complejidad de las

cadenas productivas es lo que va balanceando la tensión entre expansión territorial y productividad, lo que no quiere decir, de ninguna manera, que la segunda domine totalmente a la primera, dado que estamos lejos de haber alcanzado lo que antes se llamaba "los limites del ecumene". Para tener una idea sobre el valor relativo de ambos factores, para la FAO, actualmente dos tercios de la superficie potencialmente productiva de los países subdesarrollados se encuentra sin uso, y la diferencia entre la agricultura manual y la altamente mecanizada (medida por la productividad per capita de los trabajadores agrarios) es de 1 a 500, lo que lleva a pensar que la producción agropecuaria mundial destinada a la alimentación de las personas y los animales domésticos podría aumentar de 7 a 18 veces.

La agricultura, como se vio, es un sistema de uso utilitario de los recursos y servicios naturales y significa una alteración más o menos importante de los ecosistemas originales. Se podría pensar a la agricultura como un proceso de aumento del impacto sobre el ambiente a medida que se intensifica la productividad, y que la mediación entre una y otro esta en la innovación tecnológica. En un primer momento, es factible pensar que la expansión demográfica de las sociedades y su paralelo aumento en el consumo de alimentos per capita podrían ser solucionados mediante la expansión territorial, pero esta idea simple choca con el problema de que se trata de un stock limitado de tierras, con fuerte diversidad ambiental. Para salir de este dilema, Boserup (1965) desarrolló, como respuesta a las ideas catastrofistas del Malthus, un modelo donde a cada incremento demográfico y su paralelo aumento en las necesidades alimentarias, la sociedad respondía con un cambio tecnológico dirigido a la intensificación de la productividad mediante el acortamiento del periodo de barbecho y la paralela intensificación del uso de abonos. Sin embargo, esa teoría, si bien solucionaba el problema planteado por Ricardo sobre los rendimientos decrecientes de la agricultura, no tomaba en cuenta la relativamente escasa resiliencia del ambiente ante el impacto de la agricultura. Y esa pregunta se hace más necesaria cuando más nos acercamos al límite de las posibilidades territoriales de expansión y el aumento paralelo de las necesidades de producción agropecuaria.

Agricultura y territorio

La producción agropecuaria entabla con el ambiente una particular relación, que se

podría pensar como de intersección escalar del tiempo entre una actividad que busca resultados de corto plazo y una dinámica ambiental que se desarrolla en ciclos de mediano y largo plazo. Los resultados son muchas veces que esa intersección resulta negativa, ya sea porque los ciclos ambientales (sequías, inundaciones, etc.) no son conocidos y por lo tanto previstos y neutralizados por la sociedad, o que los efectos a mediano plazo de la agricultura (erosión, degradación, contaminación) no son perceptibles y solucionados por ser demasiado poco evidentes. Esa intersección se “soluciona” en distintos momentos históricos a través de la superstición, el fatalismo naturalista, la tradición que intenta acumular el conocimiento empírico no sistemático a través del tiempo y, más modernamente, por la ciencia que intenta comprender la dinámica ambiental para hacerle controlable y predecible. (Glacken 1967) El resultado, a lo largo del tiempo, es el de una agricultura que se parece cada vez menos a una producción atada a la naturaleza y cada vez más a una actividad industrial, tal vez no totalmente ubicua, pero si gradualmente liberada de la incertidumbre y el riesgo.

La organización de la actividad agropecuaria, con su particular combinación de los factores productivos en cada lugar y para cada momento, requiere y genera también una organización territorial específica. Esta organización territorial se basa en primer lugar en el aprovechamiento de los potenciales del ambiente a través de las formas productivas (agricultura extensiva, intensiva, ganadería, sistemas mixtos) a partir de la cual, y combinada con las características culturales de la población, se define una cierta distribución y morfología del recurso tierra. Sobre eso se superpone otra escala de actividad, la de intercambio de productos, bienes, población y servicios, que se hace utilizando de lo que normalmente se llama infraestructura. La combinación de todos estos factores da como resultado organizaciones territoriales diferentes, con formas de distribución de la población y de las actividades más o menos densas. Esta organización territorial no es estática, sino que va cambiando a medida que lo hace el contexto ambienta, social y económico en el que se encuentra. Pero cada factor de organización territorial tiene una diferente velocidad de cambio y una mayor o menor permanencia en el espacio concreto. Esto hace que un territorio dado tenga “capas” de racionalidad de la organización territorial pertenecientes a distintas etapas históricas, formando lo que se ha venido a llamar

un “palimpsesto”, dado que recuerda a los viejos textos medioevales que se escribían sobre cuero curtido y que reutilizaban sin que el texto anterior pudiera ser totalmente borrado (Corboz, 2001).

A su vez, la organización territorial de cada lugar da, pensando de otra manera, a lo que podríamos llamar un paisaje agrario particular en cada ocasión, que generalizado a través de los mecanismos propios de las representaciones e imaginarios sociales resulta en lo que se puede llamar un “paisaje rural típico”, noción que gradualmente esta tomando cada vez más importancia por su relación con la industria turística y la identificación simbólica de la sociedad local (Cauquelin, 2000; Silvestre y Aliata, 2001; Williams, 2001).

La frontera agraria

Volviendo al tema de la expansión territorial de la producción agropecuaria, ésta se genera a través de un proceso conocido como frontera agraria o agropecuaria. Este término tiene ya una larga historia, y fue analizado en sus causas y consecuencias por primera vez por Turner (Taylor 1956), referido a la expansión territorial de los EEUU hacia el oeste. Por lo general se define como la franja que existe entre un territorio que no se encuentra ocupado en forma constante por una sociedad y otro donde esta ocupación ya se ha consolidado (Reboratti 1990). Por extensión, también se podría hablar de frontera agraria diferenciando grados de intensidad de uso de un territorio, por ejemplo cuando un área donde se desarrolla una ganadería extensiva es ocupada por la agricultura. En ese caso tendríamos un sucesión de fronteras con diferente grado de intensidad de ocupación (por ejemplo, la región pampeana fue primero ocupada por la ganadería y solo mas tarde por la agricultura)

Muchas veces la frontera agraria es antecedida por lo que se conoce como un “frente de expansión”, un proceso de extracción de recursos naturales que tiene una existencia fugaz, ya que esta relacionado con el agotamiento de ese recurso.

La expansión de la frontera agraria es un proceso que reconoce varias formas y diferentes mecanismos de expansión. En un principio, y tomando como ejemplo el caso de los EEUU, la idea de frontera se asociaba a la de colonización, donde tierras que no estaba ocupadas (por supuesto, hablando desde “este” lado de la frontera, ya que fue muy común

que las mismas se expandieran sobre tierras antes ocupadas por las poblaciones originarias, desplazadas por la fuerza o directamente eliminadas) eran destinadas al establecimiento de colonos, generalmente europeos, que se dedicaban a la agricultura o eventualmente a la ganadería. Esto se hacia ya sea mediante la planificación estatal o privada, y estaba fuertemente relacionado a dos factores: uno era la inserción de los países en el mercado mundial de alimentos que los llevaba a buscar una forma rápida y eficiente de aumento de la producción y otra era la idea de que la población inmigrante era para ese fin superior a la local. Estas fronteras planificadas fueron muy comunes en el siglo XIX y comienzos del XX en Brasil (sobre todo en los estados del sur), en el sur de Chile y en la Argentina, aunque hubo intentos similares, aunque en mucha menor escala, en México, América Central y Paraguay. Pero estas fronteras muchas veces tomaron una dinámica que sobrepasó totalmente la capacidad de los estados para planificarlas, lo que dio lugar, debido al crecimiento demográfico de estas colonias, generalmente muy alto, a una expansión espontánea de la frontera agraria, que avanzaba en "olas" hacia las áreas desocupadas. Esto fue muy claro en el caso del Brasil, adonde los hijos de los colonos alemanes de Río Grande do Sul ocuparon el oeste de Paraná, y a su vez los hijos de éstos terminaron años después en Rondonia. Este reemplazo de los colonos inmigrantes por colonos nacionales tuvo también otras expresiones, como la expansión cafetalera en Colombia por colonos antioqueños (Parsons 1968).

La colonización como motor de la frontera agraria fue perdiendo gradualmente fuerza en América Latina a medida que disminuían las tierras fiscales que se pudieran ocupar y diversas fronteras encontraban sus límites ambientales. Pero aparecieron unas nuevas, si bien diferentes a las anteriores, como la que tiene lugar en la vertiente oriental de los Andes, generada por la búsqueda de tierra de los campesinos expulsados por la pobreza y la violencia y potenciada por la producción de cultivos ilegales, de altísima rentabilidad (Cunill Grau 1996; Bellone 1996). En otros casos hubo un cambio de actores, y en la dinámica fronteriza los colonos fueron reemplazados en buena medida por los empresarios, como ya antes había sucedido con la expansión de las plantaciones bananeras y azucareras.

Desde el punto de vista territorial, y en relación con el uso del ambiente, las fronteras se pueden pensar como franjas de mayor o menor densidad de ocupación e

impacto ambiental. En algunos casos, se produce el fenómeno llamada de “frontera hueca,” donde la frontera agrícola ocupa un espacio determinado, agota sus recursos naturales (generalmente el suelo) y continua su avance dejando atrás esas tierras agotadas que pasan a ocuparse por actividades menos intensivas, como la ganadería y la forestación. En otros casos, la frontera es una transición más o menos ordenada hacia territorios organizados en forma cada vez más compleja y estable, con la aparición, en algún momento, de estructuras urbanas, hasta que la frontera pierde totalmente su especificidad como tal.

Población rural

Las ideas de territorio y frontera no tienen mayor significado si no las relacionamos con el actor fundamental de estos procesos: la población rural. Si bien para el imaginario social la idea de lo “rural” evoca el campo, la producción agropecuaria, la relación con la naturaleza y la vida sencilla y noble, este estereotipo es de muy difícil aplicación cuando se quiere analizar la relación entre ambiente, producción agraria y población. En realidad, y crecientemente, la diferenciación dicotómica rural-urbana (donde lo rural se define como remanente de la población total una vez que se descarta lo que se considera “urbano”) esta perdiendo vigencia, e incluso es común hablar de una “nueva ruralidad” (Giarracca 2001; Abramovay 2000). Esta indica la rápida transición de un campo que se caracterizaba por el aislamiento, la autarquía de la producción agraria, la inmovilidad geográfica de la población y el tradicionalismo de su cultura, a un territorio donde la producción esta imbricada en una cadena productiva en la cual la parte que se realiza en el campo es solo un eslabón , donde las innovaciones tecnológicas están a la orden del día, y donde crecientemente la mano de obra empleada en ese eslabón de la cadena agropecuaria no reside en el campo sino en la ciudad. Ante eso, seguir manteniendo la dicotomía entre lo rural y lo urbano necesita una revisión, pasando a una perspectiva donde lo urbano-rural es un *continuum* dinámico de situaciones. (Castro y Reboratti, 2006).

Pero la necesidad estadística siempre presionó por una definición concreta, y de entre las muchas soluciones, la Argentina optó por una muy antigua (fue por primera vez aplicada en Francia a fines del siglo XIX), que fue definir un limite de corte para la población rural en todas aquellas personas que viven en forma dispersa o en aglomerados

urbanos de menos de 2000 habitantes, cuyo valor es totalmente cuestionable como indicador de ruralidad, ya que no contempla los diferentes contextos geográficos y sociales y solo tiene la ventaja de la posible comparabilidad histórica.

Más allá de los problemas de definición, a lo largo de la historia agraria la población rural ha tenido una dinámica casi universal, fuertemente relacionada con el dilema que presenta la relación entre territorio, productividad, tecnología y mano de obra. Mientras la producción agraria estaba basada en el uso intensivo de la mano de obra y la ampliación territorial, el medio rural era capaz de absorber el crecimiento de la población. Pero a medida que las superficies disponibles se fueron reduciendo, creció la tecnología que reemplazaba a la mano de obra y aumentaba la productividad física y per capita, además surgían por un lado las ciudades como atractoras de la migración y por otro el paso de las generaciones fragmentaba las tierras por la acción de los sistemas de herencia. Como consecuencia de todo esto, la población rural se fue constantemente achicando, tanto en términos relativos como absolutos. Lo que sucedió primero en Europa y América del Norte en el siglo XIX se repitió en el resto del mundo en el siglo siguiente, lo que trajo una polémica todavía no resuelta entre los que piensan que el proceso de despoblación rural es una consecuencia necesaria y no evidentemente negativa del aumento de la productividad y el crecimiento de la empresa capitalista agraria, y los que, por el contrario, sostienen la necesidad de retener en el campo a la población, promocionando la producción de tipo familiar. Como veremos, todos estos factores se han repetido en el caso de la Argentina, y todavía generan una notable diversidad de opiniones.

2. Argentina y los ciclos de expansión agraria

Agricultura indígena y colonial

El territorio de lo que es hoy la Argentina es un excelente ejemplo de la evolución de la producción agropecuaria y su relación con la sociedad que lo impulsa y el ambiente sobre el cual se desarrolla.

Antes de la llegada de los españoles las poblaciones indígenas habían desarrollado tres sistemas de producción en relación a su ambiente: caza y recolección, agricultura migratoria y agricultura bajo riego. El primer tipo cubría la mayor parte del territorio,

desde el Chaco hasta el final de la Patagonia, y estaba basado en la existencia de grupos pequeños y móviles de cazadores, pescadores y recolectores que recorrían los distintos ambientes, sobre los cuales desarrollaban un extraordinario conocimiento empírico que les permitía la sobrevivencia, pero les exigía mantener una población de baja tasa de reproducción para no generar sobre el ambiente una excesiva presión. Que existiera una especie de simbiosis entre ambiente y sociedad no significaba que la naturaleza se encontraba en un estado prístino, ya que por ejemplo el fuego utilizado como método de cacería generaba un cambio ambiental de relativa importancia, así como la caza de algunos animales (Denevan, 1992; McCahn, 1999: Rodríguez, 2001). Este uso del ambiente solo subsiste, y en forma muy degradada y limitada, en algunas áreas del Chaco Central (Martinez Sarasola,).

En el extremo noreste y en el piedemonte andino los grupos de origen guaranítico realizaban una agricultura migratoria basada en el cultivo del maíz, la mandioca, el zapallo y el poroto. Esta era una agricultura adaptada al medio subtropical, y basada en el uso relativamente intensivo de parcelas pequeñas mediante el uso exclusivo de la mano de obra, y donde la ausencia de tecnologías de manejo hacia que el suelo se agotara rápidamente, lo que obligaba a mudarse a otra parcela, mientras en las anteriores volvía a crecer la vegetación original. Esta forma de agricultura casi ha desaparecido del país, salvo en algunas áreas muy aisladas de Misiones y en la parte intermedia de las yungas.

Era en el noroeste donde se desarrollaban los sistemas agrícolas más sofisticados, basados en el uso del riego y el aprovechamiento de las laderas mediante la construcción de andenes y terrazas, sobre los cuales se desarrollaba una agricultura basada en el uso intensivo de la mano de obra, ya que el utillaje agrícola era muy poco desarrollado. Los cultivos eran muy variados, tanto en especies como en variedades, aunque buena parte de ellos han prácticamente desaparecido (Lagiglia 2001; Parodi 1991). En paralelo se desarrollaba la única ganadería que existía en ese momento, la cría de llamas, animal que cumplía al mismo tiempo las funciones de producción de fibra y carne y su utilización para el transporte de carga. Este sistema agrícola permitía una mayor densidad de población y la aparición de asentamientos proto-urbanos, tal cual encontraron los españoles al llegar a comienzos del siglo XVI. (Yacobaccio 1997)

Los españoles modificaron sobre todo este ultimo tipo de agricultura, ya que por mucho tiempo no se interesaron en el resto del país, salvo como lugar de paso. Esta nueva cultura introdujo todo el bagaje técnico europeo y con el, principalmente a los animales y en mucho menor medida algunos de los productos agrícolas, de difícil adaptación al medio local. En cambio adoptaron algunos de los productos locales (papa, maíz) y desalentaron el uso de los que antes completaban la dieta indígena. Todavía no se ha podido determinar con certeza el grado de impacto ambiental que tuvieron todos estos cambios, posiblemente porque están oscurecidos con la consiguiente depresión demográfica del siglo XVII, pero solamente la introducción de ganado, que muy rápidamente se asilvestró y se desparramó por casi todo el territorio de lo que es hoy la Argentina, tiene que haber tenido un rol importante. (Lorandi 1997)

Pero dada la marginalidad relativa de estas tierras con respecto al Imperio Español, el desarrollo agrícola fue muy lento por lo menos hasta fines del siglo XVIII. Y los primeros pasos estuvieron, curiosamente, mucho más dirigidos a obtener beneficio de lo que llamaríamos externalidades del sistema que del propio aparato productivo: la cacería de animales asilvestrados fue una actividad agropecuaria importante, mientras que la vid, la caña de azúcar, el algodón, los cereales y los ovinos que impulsaban los nuevos conquistadores no pasaban de ser un producto para el intercambio local o a lo sumo regional.

La primera expansión

Desde fines del siglo XVII y hasta prácticamente mediados del XIX la lenta y oscilante expansión de la frontera agraria estaba basada en la ganadería extensiva, y chocaba con otra frontera, la que dividía con el territorio indígena. La posibilidad de conectarse con el mercado externo a través de la venta de carne y cereales fue lo que impulsó al Estado a encarar la ocupación de las tierras indígenas, en un proceso que, por sus características, aun hoy es objeto de controversia. Pero más allá de ésta, para 1880 la Argentina debía encarar el tema de la ocupación de 150 millones de has. de tierras, todavía casi en estado prístino o muy poco alteradas. En cada región se realizó una combinación de cesión de tierras casi gratuitas a los que habían colaborado con bonos para financiar las campañas militares o participado directamente en ellas, concesiones de tierra para su

explotación o, finalmente, la colonización planificada, ya sea estatal o privada. Cada uno a su modo, estos sistemas de distribución de tierras generaron diferentes fronteras agrarias.

En la región pampeana la frontera se fue extendiendo hacia el sur y el oeste, primero como escenario para la producción ganadera pero luego en base a una explotación mixta ganadero-agrícola, que alcanzó hacia 1920 el borde sur y occidental de lo que ecológicamente podríamos considerar la pampa agrícola, rodeada por un halo de tierras ocupadas por ganadería vacuna extensiva que alcanzó el sur de San Luis y Córdoba, el centro de la provincia de La Pampa y el norte de Río Negro, adonde llegaban las cabeceras de las líneas ferroviarias. En este caso la colonización no tuvo mayor papel como promotor de la frontera agraria (salvo en casos aislados como el de la provincia de La Pampa y la colonización de los alemanes del Volga), ya que las tierras estaban en manos privadas y recién al generarse la expansión agrícola es cuando algunas de estas estancias organizaron sistema de colonización privada, más una operación inmobiliaria que otra cosa. (Gaignard 1989).

En el norte de la región pampeana la situación fue diferente, ya que el gobierno de Santa Fe organizó un sistema de establecimientos agrícolas que fueron llevando la frontera agraria aproximadamente al limite ecológico norte del trigo, que se pobló de colonos europeos, principalmente italianos, dando lugar a lo que comúnmente se llama la "pampa gringa" y poniendo a fines de siglo a Santa fe como la principal productora de granos del país. (Gallo 2002; Barsky y Gelman 2001).

En toda la región, los antiguos pajonales y pastizales fueron modificados a través de la combinación del fuego, el ganado y la agricultura, que eliminaron los pajonales y las especies no palatables, hasta que prácticamente ningún área del antiguo ecosistema subsistió sin cambios (Ghersa y León 2001).

Más hacia el norte, las grandes concesiones madereras actuaban como barrera a la ampliación de la frontera, que dio un salto hacia el centro del Chaco en ocasión de la expansión de las colonias que, empujadas por el ferrocarril, deforestaron el área y se aplicaron a la producción, por muchos años exitosa, del algodón de fibra corta. Entre 1895 y 1947 no menos de 340.000 migrantes poblaron las colonias del Chaco y Formosa (Cuadros 1 y 2). En 1914, a comienzos de la expansión, había poco mas de 1800

agricultores en ese territorio, que eran ya 15.000 en 1937 y 24.700 en 1947. Sin embargo, el propio sistema de distribución de lotes relativamente pequeños tenía la semilla de su crisis: la combinación de un mercado inestable, con precios fluctuantes con la imposibilidad de la ampliación de las colonias por falta de tierra hicieron que sobreviniera un proceso de minifundización, que respondía a cada crisis de precios con un aluvión emigratorio. Como resultado, la provincia del Chaco tuvo entre 1947 y 1980 un saldo migratorio negativo de no menos de 163.000 personas, y una reducción en el numero de productores algodoneros de 2.000 unidades (Miranda 1955) que dejaba atrás una tierra agotada por el monocultivo y despojada en buena medida de su cobertura leñosa original.

En Misiones el proceso de la frontera agraria fue muy dinámico, y también el que tal vez tuvo resultados ambientales más graves. La ocupación por colonos extranjeros de las tierras fiscales que se ubicaban en la dorsal de la provincia a partir de fines de siglo, unido a la posterior aparición de colonias privadas en las tierras de particulares del borde del Paraná, empujaron la selva y desmontaron en relativamente pocos años buena parte de las áreas del sur y centro de la provincia, potenciados por el éxito de la plantación de yerba mate y, después de tung y té. Para 1947, el saldo migratorio misionero era de 134.000 personas. El proceso se alargó en una colonización ahora espontánea mientras hubo tierras libres disponibles, pero el fin de ésas y el choque con otra frontera agraria diferente que venia desde el Paraná, la empujada por la reforestación con coníferas para la industria celulósica, generaron una crisis que todavía subsiste. Crisis que tiene un evidente dimensión ambiental, ya que la selva ha sido reducida a un 40% de su superficie original (aunque lo que podríamos llamar como “no alterada” es solo el 2%) (Eidt 1971; Schiavoni 1995; Bolsi 1980; Mac Donagh y Rivero 2005)

En el noroeste, la no existencia de tierras públicas (salvo en el caso del chaco salteño) generó procesos de valorización territorial y modificación ambiental muy heterogéneos. En algunos casos, como fue el piedemonte de las yungas en Tucumán, Salta y Jujuy, las posibilidades de la expansión azucarera fueron eliminando desde fines del siglo XIX a la selva basal, reemplazándola por el monocultivo cañero, minifundista en Tucumán, bajo el sistema de plantación en el llamado “Ramal.” Para fin del siglo XX, el 90% de la selva pedemontana había sido o directamente eliminado o profundamente alterado (Pacheco

y Brown, 2005).

Hacia el este, la angosta franja del Umbral al Chaco fue ocupada inicialmente por una ganadería extensiva combinada con un obraje maderero selectivo que empobreció notablemente el bosque, que luego fue arrasado primero con la expansión de la producción porotera en los 80, y más cercanamente, con la expansión sojera a la cual nos referiremos luego (Reboratti, 1992).

Un caso muy particular de frontera agraria es el que se dio en las áreas de riego, básicamente los oasis cuyanos y el Alto Valle del río Negro. Aquí la ocupación y valorización del territorio se da a posteriori de un proceso de fuerte inversión en infraestructura de riego, dando como resultado un avance lento de la expansión territorial, pero la conformación de una estructura agraria densa y duradera, más alejada de los procesos de minifundizacion y degradación como los de Chaco y Tucumán, pero no totalmente exenta de crisis como la de la sobreproducción vitícola de los años 70. Sin embargo, esta es una frontera agraria que se ha prácticamente parado en la segunda mitad del siglo XX (salvo en el caso de la expansión del riego del área del río Sali-Dulce en Santiago del Estero), dado que las antiguas inversiones estatales en riego no han continuado, y solo se puede ver algunas muy pequeñas inversiones privadas en el tema, como es el caso del río Neuquén inferior.

Lo que podríamos considerar casi una metáfora de la frontera agraria en la Argentina fue la que se desarrolló en la patagonia extrandina. Ocupada desde el sur y el norte a fines del siglo XIX, la tierra se distribuyó entre grande estancias que se dedicaron a la ganadería ovina, la única opción productiva para las condiciones ambientales locales. Pero una opción que requería un conocimiento cuidadoso de sus limitaciones y un manejo acorde a éstas. Pero el alto precio internacional de la lana empujó a los ganaderos a ampliar los rebaños muy por encima de la escasa capacidad de las pasturas. Totalmente sobrepasada su capacidad de carga, los campos fueron perdiendo gradualmente sus pasturas, hasta que, en consonancia con la baja de los precios de la lana, comenzaron a ser abandonados hacia la década del 70.

La expansión lanera en la Patagonia, por su característica de extensividad, nunca fue un verdadero factor de poblamiento. En Santa Cruz y Chubut, por ejemplo, entre 1895 y

1947 el saldo migratorio fue, considerando la enorme extensión que ocupaban, muy modesto (69.000 personas), lo que no significó que, por las causas antedichas, no se produjera en los siguientes periodos censales una notable emigración: para 1960 el saldo se había invertido y marcaba la emigración de 18.000 habitantes rurales.

El panorama agrario del país para fines de la década de los 60 indicaba la estabilización del proceso de expansión territorial de la agricultura y un sostenido aumento en la disminución relativa y absoluta de la población rural, que para todo el país, y entre 1947 y 1960, había bajado de 6 millones a 5,2 millones, lo que indicaba un saldo negativo de unos 154.000 personas anuales, el ritmo más fuerte que se ha registrado en lo que se ha dado en llamar el "éxodo rural". Esta cifra se basaba en varios procesos coincidentes: la atracción ejercida por los centros urbanos, la mecanización del campo por la tractorización, la fragmentación de los pequeños productores por la acción del sistema de herencia, la declinación del antiguo sistema de arriendo y, en las regiones no pampeanas, las continuas crisis de sobreproducción de aquellos cultivos limitados al mercado nacional.

La nueva expansion

En la región pampeana, la década del 80 marcó un notable cambio en la producción agropecuaria del país, con la conjunción (Bisang 2003, Reca y Parellada 2001) de varios factores interrelacionados:

- los efectos retardados de la Revolución Verde con la adopción de variedades de alto rendimiento en maíz y trigo,
- la adopción en algunos casos de la doble cosecha y la paralela introducción y expansión de la producción sojera,
- la introducción masiva de semillas genéticamente modificadas, que generaban plantas resistentes al glifosato o al ataque de insectos,
- relacionado con lo anterior, el aumento en la utilización de agroquímicos,
- la aceptación no menos masiva de los sistemas de producción conservacionistas (ver Cáp. 7 y 12),
- la expansión del sistema de contratistas para las diversas tareas agrícolas,
- la aparición de nuevos sistemas empresariales de producción,

- la concentración del ganado vacuno en el sistema de feed lot,
- la ampliación y consolidación de cadenas y complejos agroindustriales y sobre todo la notable expansión del sistema de industrialización de soja,

En las áreas no pampeanas también hubo cambios, como la adopción de sistemas mecánicos de cosecha en el algodón y la caña de azúcar, el cambio hacia nuevas variedades en la vid y los frutales, el uso de invernaderos para las hortalizas, un manejo más racional en las pasturas patagónicas, la expansión del cultivo del arroz, la aparición de extensas plantaciones de eucaliptos y pinos para la industria papelera y la plantación de frutas finas.

Todos estos cambios generaron en paralelo un aumento en la productividad y en la superficie utilizada, y un cambio en el uso de la tierra. Y por supuesto que no se puede pensar que estos no tuvieron sus consecuencias, tanto económicas como sociales y ambientales. Y algunas de ellas generaron – y generan – duras polémicas que enfrentan grupos de opinión que parecieran manejar, ambos, datos supuestamente fidedignos y confiables.

Sin dejar de considerar la importancia de los cambios en otras regiones del país, veamos que sucedió con la expansión de la producción de soja.

La expansión de la soja

Este cultivo se ha expandido reemplazando solo en parte a otros cultivos y fundamentalmente a la ganadería, pero a medida que esto hacia aumentar el precio de la tierra al cambiar su potencialidad productiva, se generó una expansión hacia el norte, tanto en el Chaco (ver capitulo 9) como en el noroeste. Esta expansión marcó la existencia de tres escenarios totalmente diferentes para la producción sojera, con características sociales y ambientales distintas y donde los efectos de la expansión han sido también diferentes, por lo que vale la pena diferenciarlos.

En la región pampeana el aumento de la producción sojera fue parte de un proceso de agriculturización, esto es, un aumento relativo de las superficies agrícolas con respecto a las ganaderas (esta alternancia cíclica había sido siempre una característica propia de la región, pero nunca se había dado que la agricultura hubiera

avanzado tanto y por tanto tiempo). En buena medida esto se debe a la aparición de la soja, pero esta no siempre resultó en una reducción de los otros cultivos, dado que la reducción del stock ganadero dio un amplio lugar para el cambio (si tomamos a las pcias. de Buenos Aires y Córdoba, entre 1988 y 2002 la cantidad de vacunos se redujo en 1, 8 millones y el ovino en 3,1 millones). En la sociedad, la llamada "sojización" tuvo un efecto importante, y no se podría decir que negativo. Por una parte, los productores que se dedicaban a la soja vieron aumentar significativamente sus ganancias, lo que significó un aumento de la actividad económica general de la región. Por otra parte, dado el altísimo precio alcanzado por la tierra, los productores pequeños que optaban por arrendar sus campos volcaban esa renta en sus actividades urbanas. Esto, sumado al incremento de las actividades del resto de los eslabones de la cadena productiva (insumos, transporte, servicios) generó una fuerte vitalidad en las ciudades pequeñas y medianas, que vieron aumentar la inversión inmobiliaria, crecer y modernizarse los servicios y el comercio, mejorar las comunicaciones y el transporte y aumentar las fuentes de trabajo. Esto se nota en la dinámica demográfica: si tomamos la población rural de la provincia de Buenos Aires determinada formalmente por el censo, hay un saldo emigratorio negativo entre 1991 y 2001 de 17000 personas, y esa idea de emigración se confirma si comparamos los datos de la población dispersa en la provincia en el mismo periodo: en términos absolutos, se reduce en un 30%. Pero si vemos el comportamiento de los poblados más pequeños, vemos que esto crecen en un 17% en ese decenio. Y también lo hacen los pueblos y ciudades pequeñas y medianas, que crecen en ese lapso entre un 15 y un 16%. Teniendo en cuenta la baja tasas de crecimiento vegetativo de la provincia, eso significa que existe un saldo migratorio positivo. No se podría decir, entonces, que la soja ha tenido un impacto global negativo en la población, aunque si ha mantenido el ritmo de despoblación de la población dispersa que ya se venia advirtiendo desde por lo menos 1947, pero ha reforzado la dinámica de los pueblos y ciudades medianas. El masivo apoyo de la población de esos centros urbanos a las protestas del campo de la primer mitad del 2008 confirma la idea de la imagen positiva de la producción sojera entre los sectores más cercanos al campo.

Una discusión que se ha generado alrededor del tema del impacto de la soja es su

relación con el mercado de trabajo. Por un lado, la característica de alta modernización tecnológica de ese cultivo hace que emplea en la producción agrícola directa relativamente poca mano de obra, lo que no esta compensado por el empleo generado por los contratistas, por lo general de alta calificación y volatilidad geográfica. Pero por otra parte, la cadena productiva de la soja es muy compleja y se extiende mucho mas allá de la propia producción en el campo, por lo cual su poder de empleo podría ser mucho mayor, para algunos casi duplicando el empleo directo en el campo (Llach 2004).

La soja en el norte

La situación cambia cuando hablamos de la expansión sojera hacia el norte. Esta tuvo dos direcciones diferentes. Una es la continuación de la expansión sojera en la provincia de Santa Fe que, saltando el norte de esa provincia, se introdujo en el sector central del Chaco y el noreste de Santiago del Estero, desplazando al algodón y ocupando tierras antes forestadas y dedicadas a la explotación ganadera. Si bien el impacto ambiental fue evidente, aquí también hay controversias sobre su influencia sobre la sociedad y la población. Es verdad que si se compara la evolución de la superficie cubierta con algodón con la de la soja aparece como que tienen trayectorias opuestas. Pero vale la pena preguntarse primero por las causas de esa situación y que sector de los productores algodoneros fue más afectada. Desde un punto de vista general, hemos visto que la producción algodonera fue muy oscilante, y tuvo en el pasado frecuentes crisis de precio que se superponían a un acelerado proceso de minifundización, que terminaba indefectiblemente en la emigración de los que menos podían soportar la crisis, esto es, los pequeño productores. Para tener una idea aproximada de esa evolución digamos que el numero de productores agropecuarios del Chaco crecía entre 1914 y 1937 a un ritmo de unos 555 anuales, y en la década posterior aún más rápido, a agregando unos 637 productores por año. A partir de allí, golpeados por la crisis, los productores solo crecieron en unos 165 anuales hasta 1960, y entre ese año y 1988 decrecieron en unos 330 productores anuales, sin que todavía se registrara la producción de soja en la región. Cuando esta aparece, curiosamente el ritmo de decrecimiento disminuye, a unos 135 anuales. Solo coyunturalmente estas crisis se amortiguaban cuando los precios subían, situaciones que siempre fueron fugaces. El resultado es un constante flujo de emigración de

la población rural, que tuvo su pico en la década del 60, con unos 12.000 emigrante netos anuales. La situación con relación al empleo empeoró además cuando en la década del 90 se extendió el uso de las cosechadoras mecánicas de algodón, que desplazaron a buena parte de la mano de obra local estacional. La expansión sojera, entonces, se realizó sobre una región en crisis casi estructural. Pero eso no necesariamente significa que produjo directamente la expulsión de los pequeños productores, ya que esos no fueron los que ocupaban las tierras más buscadas por los productores sojeros (predios pequeños, con tierras muy agotadas por el monocultivo y la pobre tecnología de producción), sino que estos se dirigieron preferentemente a los medianos y grandes productores dispuestos a obtener inéditas ganancias con el arriendo y la venta de su campos, que en el ínterin habían aumentado el precio a niveles nunca vistos. La situación laboral rural en el Chaco es muy compleja: esa provincia siempre había tenido una gran cantidad de trabajadores temporarios ligados a la cosecha algodonera, necesidad que en parte era llenada por la población local y en parte por migrantes estacionales provenientes de otras provincias. Esa masa de trabajadores precarios había fluctuado de acuerdo con las oscilaciones de la producción algodonera, pero se vieron fuertemente reducidas cuando se extendió la cosecha mecánica del algodón. La expansión sojera no llenó ese espacio vacío, sobre todo porque la cadena agropecuaria, que podía haber en parte suplido esa necesidad, en el caso del Chaco se extiende mas allá de la región. No se puede decir que la soja haya producido desocupación, pero si que no ha servido como amortiguador de la crisis laboral generada por el algodón.

Por otra parte, se repite en el Chaco la situación que habíamos visto en la región pampeana: una fuerte reducción de la población rural dispersa (reducida en un 30 % entre 1991 y 2001) y un aumento muy considerable y con una tendencia opuesta en las localidades del área sojera, que en algunos casos, como son el de Charata, Las Breñas o Gral. Pinedo, crecen mas del 40% en el mismo periodo. Las similitudes entre los proceso del Chaco y la región pampeana posiblemente se encuentren si le aplicamos al tema una visión territorial: en ambos casos se trata de estructuras agrarias consolidadas, con una red urbana compleja y basada en la apropiación formal de la tierra (el porcentaje de productores sin título en el Chaco es muy bajo) (Cuadro 3), por lo cual los efectos de un cambio en el uso del suelo son menos impactantes.

Es necesario hacer entonces un balance en el caso del Chaco entre impacto ambiental y social, y es tal vez algo apresurado directamente culpar a la expansión sojera de los problemas que desde ya hace mucho arrastraba la producción algodonera. La aparición de una nueva producción, más dinámica, tal vez solo pone en evidencia los problemas de la anterior.

La aparición de la soja en el noroeste tiene algunas características diferentes, sobre todo porque se trata de una estructura agraria original distinta.

Como hemos visto, la expansión sojera siguió las huellas y la racionalidad de la anterior frontera, la del poroto, que se había formado en la década de los 70. Esta había comenzado impulsada por pequeños y medianos productores del área de Rosario de la Frontera, pero luego, al alargarse hacia el norte, el tamaño de los productores fue creciendo, y hacia fin de su expansión no existían prácticamente otros que grandes productores. Esta expansión se hizo a merced de la destrucción masiva del ecotono chaco-yungas, donde entre 1965 y 1985 se deforestaron más de un millón de hectáreas. La soja fue desde un principio en el noroeste una producción de grande unidades, formadas básicamente por capitales regionales y pampeanos. Pero al expandirse en Santiago del Estero y sobre todo en el norte de Salta, se generó un problema difícil con los pobladores que ya ocupaban los campos que buscaban los productores. Hay que tener en cuenta que en los departamentos sojeros de Salta hay una gran cantidad de pequeños productores rurales sin títulos sobre la tierra que ocupan (el 40% de las unidades productivas tiene estas características), a los que se suman una gran cantidad de comunidades indígenas, que ocupan fundamentalmente tierras fiscales, o propiedades de dueños ausentistas o con títulos dudosos.

En el noroeste de Santiago del Estero, con un 25% de pequeños productores sin títulos, se comenzaron a generar choques entre los productores sojeros que buscaban desocupar esas tierras para deforestar y cultivar soja, y los campesinos que estaban ocupando esas mismas tierras desde hacia muchas generaciones, sin poseer un domino formal sobre ellas. Aquí chocaron dos racionalidades diferentes, la de la producción capitalista a ultranza, con pocas o ninguna contemplación por las sociedades originarias o el ambiente adonde viven, y la de las poblaciones campesinas marginadas, abandonadas a su suerte por un estado que nunca se había ocupado de ellas y que, cuando debía hacerlo,

miraba hacia otro lado. Es por eso que su defensa fue asumida por ONGs nacionales e internacionales y por las propias organizaciones campesinas, que libraron una batalla muy dura, principalmente a través de los medios de comunicación, batalla que, si las estadísticas de deforestación son confiables, terminó la mayor parte de la veces en una derrota (Slutzky 2005).

En Salta la situación es diferente; aquí el gobierno provincial promovió activamente la expansión sojera (hasta el extremo de desafectar una reserva forestal para vender la tierra a los productores sojeros), pero se encontró con una fuerte resistencia de los pobladores indígenas. Las poblaciones originarias del país habían recibido un fuerte impulso en su lucha por la posesión de la tierra con la modificación de la Constitución realizada en 1994, que le otorga a los mismos derechos de propiedad comunitaria sobre la tierra que ocupan. Esto reforzó notablemente su posición legal, y potenció una recuperación de la identidad. Hasta el momento, y al limitarse la expansión sojera a la franja de umbral al Chaco, los choques han sido relativamente pocos y afectaron sobre todo a pequeños grupos ubicados en las cercanías de la Ruta Nacional 34. Pero existe la posibilidad de que, merced a las modificaciones genéticas en la soja, la expansión se dirija ahora hacia el este, forzando el límite ecológico de esa producción y ocupando zonas de mucho mayor riesgo productivo. Zonas además ocupadas por densos grupos de indígenas, puestos muy sobre aviso por los que esta ocurriendo hacia el oeste y que ya estaban teniendo problemas con sus tierras, como sucedió con el lote fiscal 55. Pero en esta provincia ha habido un cambio notable en la conducción política, y la antigua administración fue reemplazada por otra que muy activamente ha encarado el tema de la deforestación y la protección de la población aborigen.

Aquí también se dio un choque de racionalidades, tal vez mas radicalizadas que en el caso de Santiago del Estero, por lo menos por dos motivos: un empuje mucho mayor de los productores por la deforestación y un cierto tinte racista al respecto de la población nativa. Al decir de uno de sus representantes mas conspicuos “El monte nativo no es algo romántico: por el contrario, es algo siniestro. En el habitan seres humanos que están más cerca de la escala animal que de la humana” (Leguizamón). En el caso del noroeste no se dio el proceso que hemos visto en el Chaco y la región pampeana de decrecimiento de la

población dispersa pero crecimiento de los pueblos. Solo en algunos casos aislados (Las Lajitas, Joaquín V. González, tal vez Orán) podríamos pensar que la soja generó el crecimiento urbano. Posiblemente por la acción combinada del gran tamaño de los productores que tienden a independizarse funcionalmente de su entorno (casi se podría decir que son economías de enclave) y la fuerte atracción que siempre han ejercido los polos urbanos regionales como Salta y San Miguel de Tucumán, la soja para los antiguos pobladores socialmente ha generado más conflictos que beneficios.

Como se puede ver, no parece muy acertado englobar los casos de la región pampeana, el Chaco y el Noroeste dentro de una misma problemática, ya que sus diferencias son tan grandes que merecen un análisis más objetivo y menos ideológico. Es necesario balancear los aspectos positivos y negativos en cada región teniendo en cuenta sus diferentes situaciones originales y sus distintos contextos, y ver dentro de cada caso cual es el papel de cada eslabón de la cadena agroindustrial. También es necesario considerar el mediano y largo plazo: en el mediano plazo, y de continuar las direcciones de expansión territorial, la soja tenderá a extenderse hacia el norte y el centro del país, lo que obligará necesariamente a tener en cuenta el problema de la degradación del capital natural y la confrontación con las poblaciones antiguamente asentadas en el área. En el largo plazo (ver cap. 3) el panorama es menos claro, pero el cambio en las características climáticas seguramente va a requerir un ajuste de las áreas de producción, tal vez girando la dirección de la expansión hacia el sur.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Abramovay, R. 2000 Funçoes e medidas da ruralidade no desenvolvimento contemporáneo, Rio de Janeiro: Ministerio de Planejamento, orcamento e gestao, Texto para discussao 702.

Armijo Zuñiga, G. y F. Cubillos Alfaro 2002. Conflictos territoriales entre la agricultura empresarial y la agricultura campesina en Chile. En: *Agricultura y espacio en Latinoamérica y España. Posibilidades y riesgos ante la mundialización de la economía*, (Segrelles Serrano, J.A., dir.) Madrid: Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación de España.

Aspiazu, D. y E. Basualdo 2002.Las modificaciones técnicas y de la propiedad en el complejo vitivinícola argentino durante los años noventa. Revista interdisciplinaria de estudios agrarios 17.

Bandieri, S. 2005. Historia de la Patagonia. Buenos Aires: Sudamericana.

Barsky, O. y J. Gelman, 2001. Historia del agro argentino. Desde la conquista hasta el siglo XX. Buenos Aires: Grijalbo Mondadori.

Bellone, A. 1996. The cocaine Commodity Chain and Development Paths in Perú and Bolivia". En: *Latin America in the World Economy* (Korzeniewicz, R. y W. Smith, comp.), Londres: Praeger.

Bellwood, P. 2005. First Farmers. The Origins of Agricultural Societies. Londres: Blackwell.

Berberián, H. y A. Nielsen (comp.) 2001.Historia Argentina Prehispánica. Córdoba: Editorial Brujas.

Bisang, R. y G. Gutman 2003. Un equilibrio peligroso. Nuevas dinámicas en la producción agropecuaria. En Encrucijadas 3/21.

Bolsi, A., 1980. El primer siglo de economía yerbatera en Argentina. En Folia histórica del Nordeste, 14.

Borreo, L. 2001. Cambios, continuidades, discontinuidades: discusiones sobre arqueología fuego-patagónica. En Berberián, E. y A. Nielsen op.cit.

Boserup, E. 1965. *The Conditions of Agricultural Growth: The economics of Agrarian change and population pressure*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Brown, A. *et al* 2006. La situación ambiental argentina 2005.Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre.

Castro, H. y C. Reboratti 2006. Revisión del concepto de ruralidad en la Argentina y alternativas para su redefinición. Buenos Aires: PRINDER (disponible en www.sagypa.gov.ar/new/0-0/programas/desarrollo_rural/proinder/publicaciones/revision_del_concepto_de_ruralidad.pdf).

Cauquelin, A. 2000. L´ invention du paisaje. Paris: Quadrige- PUF.

Corboz, A., 2001 Le Territoire comme palimpseste et otres essais. Besançon: Les Editions de l´imprimeur.

Crosby, A. 1988. Imperialismo ecológico. La expansión biológica de Europa 900-1900, Barcelona: Crítica.

Cunill Grau, P.1996. Las transformaciones del espacio geo-histórico latinoamericano (1930-1990). México: FCE.

Denevan, W. 1992 The Prystine Myth: the Landscape of the Americas in 1492. Annals of the Asociation of American Geographers, 82/3.

Denis, P. 1987. La valorización del país. La República Argentina 1920, Buenos Aires: Ediciones Solar.

Eidt, R. 1971. Pioneer Settlement in Northeast Argentina. Madison: The University of Wisconsin Press.

Gaignard, R. 1989. La pampa argentina. Buenos Aires: Ediciones Solar.

Gallo, E. 2004 La pampa gringa: la colonización agrícola en Santa Fe. Buenos Aires: EDHASA (primera edición 1983).

Ghersa, C. y León, R. 2001. Ecología del paisaje pampeano: consideraciones para su manejo y conservación. En *Ecología de paisajes* (Naveh, Z et al, comp.). Buenos Aires: FAUBA.

Giarracca, N. (comp.) 2001. ¿Una nueva ruralidad en América Latina?. Buenos Aires: CLACSO.

Glacken, C. 2001 Huellas en las arenas de Rodas. Madrid: Ediciones del Serbal.

Harlan, J. 1975. Crops and Man. Madison: American Society of Agronomy y Crops Science Society of America.

Lagiglia, H 2001. Los orígenes de la agricultura en la Argentina, en Berberián, E. y A. Nielsen op.cit.

Llach, J. y otros 2004. La generación de empleo en las cadenas agroindustriales. Buenos Aires: Fundación Producir Conservando.

Livi-Bacci, M. 1998 A Concise History of World Population**.** Londres: Blackwell.

Lorandi, A.M. 1997.El contacto hispano-indígena y sus consecuencias ambientales, en Reboratti, C., 1997, op.cit.

Mazoyer, M. y L. Roudart 1998. Histoire des agricultures du monde. Du neolothique a la crise contemporaine. Paris: Editions du SEUIL.

Mc.Cann, J. 1999. Before 1492. The making of the pre-columbian landscape. Ecological Restoration, 17/ 1 y 2.

Miguez, E. 2001.La gran expansión agraria (1880-1914). En *Nueva historia de la Nación Argentina*, tomo VI. La configuración de la república independiente (Academia Nacional de la Historia) Buenos Aires: Planeta.

Miranda, G.1955. Tres ciclos chaqueños. Resistencia: Editorial Norte Argentino.

Morello, J. y C. Saravia Toledo 1959 La ganadería y el bosque en el oriente de Salta. Revista Agronómica del Noroeste 3.

Parodi, L. 1991. Agricultura prehispánica. S.S. de Jujuy: UNJu. (primera edición 1935).

Parsons, J. 1968 Antioqueño Colonization in Western Colombia, Berkeley: U. of California Press. Reboratti, C. 1992 Ambiente, producción y estructura agraria en el Umbral al Chaco. Estudios Geográficos,

Reboratti, C. (comp.) 1997. De hombres y tierras. Una historia ambiental del noroeste

argentino, Salta: GTZ-Proyecto de desarrollo agroforestal.

Reboratti, C. 1990. Fronteras agrarias en América Latina. Geocrítica, 87. (disponible en www.ub.es/geocrit/revis.htm)

Rindos, D. 1990. Los orígenes de la agricultura. Una perspectiva evolucionista. Barcelona: Ed. Bellaterra. Rodríguez, J. 2001. Nordeste prehispánico. En Berberián, E. y A. Nielsen op.cit.

Sawers, L. 2000. Income distribution and Environmental Degradation in the Argentine Interior. Latin American Research Review, 35/2.

Schiavoni, G. 1995. Gestión doméstica y capitalización de pequeñas explotaciones: los productores de la frontera agraria de Misiones. En: *Producción doméstica y capital. Estudios desde la antropología económica* (Trinchero, H., editor) Buenos Aires:Editorial Biblos.

Silvestre, G. y F. Aliata, F 2001. El paisaje como cifra de armonía. Buenos Aires: Nueva Visión.

Simmons, I.G. 1994 Environmental History. A Concise Introduction. Oxford: Blackwell.

Slutzky, D. 2005. Los conflictos por la tierra en un área de expansión agropecuaria del NOA. La situación de los pequeños productores y los pueblos originarios". Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios 23.

Taylor, G. 1956 The Turner Thesis concerning the role of the frontier in American History. Boston: D.C Heath and Co.

Williams, R. 2001 El campo y la ciudad. Buenos Aires: Paidós.

Yacobaccio, H. 1997. Sociedad y ambiente en el noroeste precolombino, en Reboratti, C 1997 op.cit.

Cuadro 1

Población rural - Total del país y provincias seleccionadas 1895-2001 En miles

Provincia	**1895**	**1914**	**1947**	**1960**	**1970**	**1980**	**1991**	**2001**
Córdoba	285	434	704	558	447	474	384	346
La Pampa	26	84	119	67	72	76	65	56
Santa Fe	267	474	693	448	440	454	567	325
Tucumán	179	181	297	353	288	284	267	275
Chaco	10	36	301	338	269	283	262	200
Misiones	29	43	197	246	261	282	296	286
Santa Cruz	1	8	27	25	15	17	13	8
TOTAL PAIS	**1495**	**3730**	**6008**	**5252**	**4689**	**4678**	**4375**	**3946**

Fuente: Censos Nacionales de población 1895-2001

Cuadro 2 - Población rural Migración neta al final del período intercensal 1895-2001 (en miles)

Provincia/ periodo	**1895 1914**	**1914 1947**	**1947 1960**	**1960 1970**	**1970 1980**	**1980 1991**	**1991 2001**
Córdoba	50	29	-292	-189	-31	-158	-88
Santa Fe	115	-44	-389	-71	-43	48	-316
Tucumán	-60	16	-6	-114	-41	-58	-27
Chaco	23	245	-26	-116	-21	-61	-96
Misiones	4	130	8	-19	-13	-26	-48
Santa Cruz	7	15	-8	-14	0	-6	-7
TOTAL PAIS	**395**	**210**	**-2006**	**-1298**	**-621**	**-972**	**-998**

Fuente: Elaboración propia basada en la información de los Censos Nacionales de Población 1895-2001

Cuadro 3 Explotaciones agropecuarias con tenencia precaria, 1988, Total del país y provincias seleccionadas

Unidad/Tipo	**Total EAPS**	**Ocupantes**	**Sin límites**	**Total precarias**	**%**
Total país	421221	22600	42864	65464	15
Córdoba	40817	593	756	1349	3
Chaco	21284	1942	3689	5631	26
Misiones	28566	8125	1049	9174	32
Salta	9229	537	4431	4968	54
Santiago	21122	2188	9590	11708	55

Fuente: Censo Nacional Agropecuario 1988

Capítulo 11
La Expansión de la Frontera Agrícola en la Región Chaqueña: Perspectivas y Riesgos Ambientales

Jorge Adámoli, Sebastián A. Torrella y Rubén Ginzburg

Introducción

En diversos capítulos se han analizado los problemas ambientales generados por las actividades agrícolas. Uno de los más importantes es el del avance de las fronteras agrícolas, ya que implica la sustitución de la vegetación original y su reemplazo con cultivos. El primer gran proceso de expansión fue el que dio lugar a la ocupación productiva de la región pampeana. Varias economías regionales expandieron sus fronteras agrícolas apoyadas en el riego, sustituyendo diversos ecosistemas de desierto por cultivos, como en Mendoza y San Juan, el Valle del Río Negro o los Valles Calchaquíes. El actual proceso de expansión agropecuaria se expresa en varios frentes que afectan a las selvas misioneras, a las áreas pedemontanas de las Yungas, al pastizal pampeano semiárido, o a algunos sectores de la transición entre la estepa patagónica y los bosques andinos. Pero sin dudas, el mayor proceso de expansión (en torno del 90 % de la superficie total), se manifiesta en la región chaqueña, pero no en forma uniforme, sino concentrado en dos fajas transicionales: la mayor en la transición entre el Chaco Húmedo y el Semiárido, y la menor en la transición entre el Chaco Semiárido y las Yungas.

A diferencia de los anteriores procesos de expansión, protagonizados en gran medida por pequeños productores (los colonos) respondiendo a planes de colonización, la actual expansión en la región chaqueña está protagonizada por grandes y medianos productores, sin responder a ningún proceso de planificación, y con muy bajos niveles de control en las provincias.

En este capítulo se tratarán los siguientes temas:

1) Un análisis de los reflejos del fuerte crecimiento agrícola del país en la región, mostrando las diferentes respuestas que se registraron en las provincias, donde no sólo se registraron procesos de sustitución de ecosistemas nativos por cultivos, sino también sustitución de unos cultivos por otros.

2) Las implicancias ambientales, analizando las particularidades que presentaron los

diversos núcleos de expansión. Se incluyen análisis sobre las perspectivas de expansión, y un cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes.

1. El aumento de la producción agrícola y su reflejo en la región

La producción agrícola de la región Chaqueña se ha incrementado notablemente en las últimas décadas. Si bien es difícil obtener datos estadísticos de la producción en la región, ya que estos se presentan en general desagregados por límites políticos más que ecológicos, a modo ilustrativo analizamos en este apartado la producción de las Provincias de Chaco, Santiago del Estero y Salta.

Chaco y Santiago del Estero están incluidas íntegramente en la región. El Este de Salta pertenece a la región Chaqueña, y allí es donde se concentran tanto el grueso de su producción de granos como el actual proceso de expansión, razón por la cual se pueden considerar los datos provinciales. No se incluyen aquí a las Provincias de Santa Fe y Córdoba, que aunque tienen importantes superficies productivas “chaqueñas”, lo principal de su producción en volumen y superficie está ubicado en la ecoregión pampeana.

En conjunto las Provincias de Chaco, Salta y Santiago del Estero, sextuplicaron su producción de cereales y oleaginosas desde 199091 hasta la fecha, pasando de 1,2 millones de toneladas a 7,7 millones de toneladas en la campaña 200607 (elaboración propia en base a estimaciones agrícolas SAGPyA). Al igual que en el resto del país, la soja tuvo un papel preponderante en este aumento, pasando de representar 35 % de la producción total hasta 77 %, en igual período. Muchos de los análisis que se realizan posteriormente en este capítulo son referidos al cultivo de soja en particular, por la sola razón de ser el principal cultivo en la actualidad y en lo proyectado a futuro.

Los escenarios internacionales de crecimiento mundial ofrecen perspectivas alentadoras para una demanda que sostenga el firme crecimiento de las actividades agrícolas, pero es necesario tener en cuenta que en las proyecciones a futuro hay diversos elementos que relativizan los pronósticos más optimistas sobre la continuidad del crecimiento mundial, entre ellos problemas en la China que puedan afectar su crecimiento, o las señales de que la economía de Estados Unidos está entrando en recesión. Adicionalmente, hay diversos pronósticos que indican que el crecimiento

general de la economía argentina puede disminuir en forma significativa, a lo que se agregan las consecuencias del grave conflicto que se generó con el campo.

Los escenarios que se plantean a futuro, sobre el comercio de la soja y los biocombustibles muestran a la Argentina como uno de los principales actores a nivel mundial. Según proyecciones del USDA (2008), Argentina se consolidará en los próximos diez años como el mayor exportador mundial de aceite y harina de soja. Dado que en nuestro país el principal destino de la producción de aceite y harina de soja es la exportación (alrededor del 95 % de dicha producción), los aumentos proyectados se darán necesariamente por un aumento neto de la producción, sin posibilidades de una redistribución en el consumo interno. Este incremento puede verse también en las proyecciones de la FAO, que prevén un aumento del 31 % en la producción de oleaginosas (principalmente soja) en la Argentina entre 2006 y 2016 (OECDFAO, 2007).

Analizando la producción de soja en la Argentina y en la región Chaqueña se observa que la participación de la región en el total de la producción nacional se viene incrementando desde 1990 hasta el presente. Para la campaña 20062007, dicha participación alcanzó casi 10%, en tanto que la superficie sembrada en la región representó 12,5 % de la superficie sembrada a nivel nacional (elaboración propia en base a estimaciones agrícolas SAGPyA). Hay que considerar que estos números están subestimando la importancia proporcional de la región, ya que como se mencionó anteriormente, no se han incluido en el cálculo a las porciones chaqueñas de las Provincias de Córdoba y Santa Fe.

El fuerte salto en la producción de soja se produjo a partir de la campaña 1995/96, potenciado por la liberación de la variedad transgénica de soja resistente al herbicida glifosato, la generalización de la práctica de la siembra directa y la incorporación de nuevas tecnologías y maquinarias. Por otro lado, puede verse como la tasa de incremento en la región Chaqueña fue superior a la nacional, especialmente desde 1995/96. Entre esta campaña y la de 2000/01, la producción nacional se duplicó, mientras que la regional se multiplicó por cinco. En el período siguiente las diferencias entre ambas tasas de incremento fueron menores, pero continuaron con la misma tendencia alcista.

Superficies sustituidas

Lógicamente, los incrementos en la producción sólo pueden darse a partir de la variación de dos factores: una mejora en los rendimientos, por un lado; y un aumento en la superficie cultivada, por el otro. En el primero de los factores operan las novedades tecnológicas que viene incorporando el sector agropecuario en los últimos años y que aún no han alcanzado su techo. El segundo factor, el aumento de la superficie cultivada, puede darse a partir del desplazamiento de otras actividades agropecuarias, como la ganadería o el tambo, o de la sustitución de ecosistemas naturales por agroecosistemas. Si se considera el análisis de la soja, el aumento de su superficie cultivada puede darse también por la sustitución de otros cultivos.

Al analizar el aumento de la producción de soja en la región Chaqueña, entre las campañas 2000/01 y 2006/07 (elaboración propia en base a estimaciones agrícolas - SAGPyA), se observa que la producción creció 133 % (pasando de 2.012.600 TN a 4.690.784 TN), debido principalmente a un aumento de 94,7 % en la superficie cultivada con esta oleaginosa (1.034.100 ha a 2.013.327 ha) y en mucho menor medida a un aumento de 19,7 % del rinde (1,95 TN/ha a 2,33 TN/ha).

La importancia relativa de los tres componentes del aumento de la superficie cultivada (sustitución de otros cultivos, desplazamiento de ganadería y sustitución de ecosistemas naturales) varía según la zona productiva. Las estadísticas provinciales ayudan a ver algunas de estas diferencias, aunque frecuentemente hay marcadas diferencias entre zonas dentro de una misma provincia.

La figura 1 permite analizar los cambios producidos en las Provincias de Santa Fe, Chaco y Salta, en el período 19882002. Esta figura muestra la diferencia en la superficie ocupada por cada tipo de cultivo. Una barra hacia la izquierda implica que ese cultivo perdió superficie en el período, mientras que una barra hacia la derecha implica que el cultivo aumentó su superficie. La primera barra (superficie total) indica si la superficie cultivada de la provincia aumentó o disminuyó, y es la suma de todas las otras diferencias. Se muestran por separado la primera y segunda ocupación de los campos.

En las tres provincias hay un aumento en la superficie total implantada en general, que se explica mayormente por el aumento de la superficie ocupada por oleaginosas en particular.

En la Provincia de Santa Fe fue muy importante la disminución de las superficies dedicadas al cultivo de forrajes (aproximadamente 550.000 ha), que fueron en gran medida sustituidas por el cultivo de soja. Según datos de los Censos Nacionales Agropecuarios, las existencias ganaderas disminuyeron en el sur de la provincia y aumentaron en el norte (Adamoli et al, 2007c). Por otro lado, el aumento neto de las superficies sembradas en primera ocupación, que representa a la sustitución de ecosistemas naturales por agroecosistemas, fue también muy alto (cerca de 400.000 ha parte celeste de la superficie Total). Más adelante veremos que no se trató en este caso de desmontes, sino que correspondería a la sustitución de pastizales por cultivos.

Estos datos demuestran fehacientemente que en la Provincia de Santa Fe el proceso que predominó en el período 19882002 fue el aumento de la superficie cultivada a partir del desplazamiento de la ganadería. A su vez, en esta sustitución de actividades ganaderas por las agrícolas, es posible afirmar que en la zona pampeana de la provincia (zona sur) el fenómeno que se dio fue el de sustitución de forrajeras cultivadas, en tanto que en la zona chaqueña (al norte) el fenómeno se dio con la sustitución de pastizales naturales. Esta fuerte presión de las actividades agrícolas por el uso de las mejores tierras empujó a la ganadería hacia zonas marginales para el uso agrícola, tanto dentro como fuera de la provincia.

En la Provincia de Chaco el aumento registrado en la superficie cultivada con oleaginosas es producto de la retracción en la superficie destinada a los cultivos industriales (algodón), y en mayor medida por la incorporación de nuevas áreas a la producción (se transformaron aproximadamente 300.000 ha de ecosistemas naturales - aumento en las superficie sembrada Total en primera ocupación). Se observa también para el período un aumento en la superficie destinada al cultivo de cereales y a los forrajeros. Los datos sobre existencias ganaderas por departamento, indican que la actividad se desplazó desde el oeste hacia el este, hacia zonas menos aptas para la agricultura (Adámoli et al, 2007c).

En la Provincia de Salta ocurre algo parecido a lo visto para Chaco, con una retracción en las superficies de legumbres y cultivos industriales (principalmente poroto y algodón, respectivamente). Se produjo un importante incremento en la superficie sembrada total con cultivos en primera ocupación, lo que representa la sustitución de cerca de

200.000 hectáreas de ecosistemas naturales, y un aumento en los cultivos forrajeros. Esta tendencia a la expansión de la ganadería sobre el bosque se ha incrementado en el período 200208 (ver más adelante, Los principales núcleos de la expansión).

Tanto para la Provincia de Salta como para la de Chaco, los datos muestran que el proceso que predominó en el período 19882002 es el de sustitución de ecosistemas naturales por agroecosistemas. Como veremos, los bosques son los ambientes más afectados por esta transformación.

2. Implicancias ambientales

La particularidad del proceso en la región Chaqueña radica en el hecho de que el aumento en la producción se explica en gran medida por la incorporación a la actividad agrícola de terrenos donde hasta el momento se asentaban ambientes naturales. Esta pérdida de ambientes naturales y su sustitución por agroecosistemas, con la deforestación de montes nativos en particular, es el aspecto de la expansión agropecuaria que presenta los mayores impactos ambientales.

En los últimos años la región ha sido, y es, la ecorregión de Argentina donde el proceso de deforestación de bosques nativos es más intenso (Montenegro et al. 2004). Si bien el fenómeno también alcanza valores críticos en las Yungas en el noroeste y la Selva Paranaense en Misiones, es en la región Chaqueña donde se concentran las mayores superficies de ambientes naturales (mayormente bosques) transformados, constituyendo uno de los más importantes problemas ambientales del país (Brown et al. 2005).

El Gran Chaco Americano constituye una de las masas boscosas más extensas de América del Sur. El 60% de su superficie se ubica en territorio argentino, y presenta en su extensión una gran variabilidad climática, acompañada por distintas formaciones vegetales, entre las que se destacan los bosques dominados por especies del genero Schinopsis, los “quebrachos colorados” (Morello y Adámoli, 1974; Prado, 1993). Es la tercera región con mayor biodiversidad del país, después de la Selva Paranaense y las Yungas. La eliminación y la fragmentación de hábitat naturales es considerada la principal causa de extinción de especies a nivel mundial (Fahrig 2003), por lo que la preservación del bosque chaqueño representa uno de los objetivos principales para la conservación en Argentina.

En el estudio realizado por Ginzburg et al. (2007), mediante imágenes satelitales se mapearon todas las áreas transformadas en la región Chaqueña argentina. Los resultados muestran que para el año 1992, dichas áreas transformadas abarcaban 3.014.107 ha, lo que constituye el 7,22 % de la superficie total estudiada. Para el año 2002 estos valores treparon hasta 4.816.502 ha y 11,54 %, respectivamente. De esta forma las áreas transformadas se expandieron en el período analizado 59,8 %, lo que constituyó la sustitución de 1.802.395 ha de ambientes nativos, principalmente bosques.

La figura 2 ilustra el proceso de expansión entre los años 1992 y 2002. Analizando cualquiera de las dos figuras por separado, se advierte que la distribución de las áreas cultivadas en la región no es homogénea, sino que como es natural, se concentra en aquellas zonas donde las condiciones de clima y suelos son más favorables. Así, históricamente se han evitado las zonas con limitantes edáficas, como los Bajos Submeridionales en el centronorte de Santa Fe y centrosur de Chaco, o con deficiente balance hídrico, como el chaco semiárido, distribuido entre el oeste de las Provincias de Chaco y Formosa, el centro de Santiago del Estero y el este de Salta.

Estos núcleos en los que se concentra la actividad agropecuaria son, de oeste a este, y según el análisis en zonas climáticas (figura 2):

a) Núcleo Subhúmedo Occidental

Es una angosta y en partes discontinua faja con aceptables condiciones pluviométricas originadas en el ascenso orográfico de las masas de aire, proceso que un poco más hacia el oeste permitirá la instalación de los bosques de transición primero y más al oeste aún de la Selva de las Yungas. La rapidez y la magnitud del proceso de ocupación de estas tierras desde mediados de los años 70, dieron lugar a una serie de problemas ambientales, entre los cuales se destaca un fuerte proceso erosivo, especialmente en las porciones próximas a las estribaciones montanas. En contraste con el modelo original de ocupación de la tierra, que estaba basado en pequeños y medianos productores (Barsky y Gelman 2001), la mayor parte de este proceso de expansión de la frontera agrícola se hizo, y continúa, con medianos y grandes productores. Se distinguen tres sectores principales y un cuarto de menor intensidad de ocupación:

a.1) Embarcación, Tartagal, en el norte del chaco salteño.

a.2) Las Lajita, Nuestra Señora de la Talavera, en el centrosur del chaco salteño.

a.3) A lo largo de la frontera entre Tucumán y Santiago del Estero.

a.4) y en menor medida en la frontera entre Santiago del Estero y Catamarca.

b) Núcleos con irrigación en el Semiárido

Debido a las condiciones climáticas (lluvias escasas y alta evapotranspiración), la agricultura de secano en el semiárido tiene severas restricciones, razón por la cual las dos áreas agrícolas principales tienen como soporte a la irrigación:

b.1) Santiago del Estero La Banda, es la más extensa. El riego depende del agua almacenada en el Embalse Río Hondo que luego es distribuida por el sistema de canales del río Dulce. Existen núcleos menores irrigados por el río Salado.

b.2) Joaquín V. González Gaona, dependiente del riego del río Juramento, que tiene sus aguas represadas en Cabra Corral y reguladas por el Embalse El Tunal.

c) Núcleo del Subhúmedo Central

El Chaco Subhúmedo Central presenta buenas condiciones de suelos y clima por lo que siempre ha sido la principal área agrícola de la región Chaqueña. Ocupa la cuarta parte de la superficie regional, pero concentra casi la mitad de la producción total. El grueso de las áreas cultivadas históricamente estuvo formado por pequeñas propiedades originadas en los procesos de colonización de principios del Siglo XX. Las áreas agrícolas son:

c.1) En la Provincia del Chaco se localizan básicamente en el centro y sudoeste, en torno a las localidades de Tres Isletas, Sáenz Peña, Charata y Villa Ángela; y su continuidad en la Provincia de Santiago del Estero, en el centro este de la provincia, con un área de gran expansión agrícola al norte de Roversi.

c.2) En el noroeste de Santa Fe las áreas cultivadas se localizan especialmente al norte de Tostado; y su continuidad en el sudeste de Santiago del Estero, en torno a Bandera.

c.3) En Formosa ocupan reducidas superficies en torno a Ibarreta, donde existe un importante porcentaje de cultivos abandonados.

d) Núcleos en el Chaco Húmedo

A pesar de contar con buenas condiciones climáticas, en el Chaco Húmedo la alta

proporción de tierras inundables hace que la superficie cultivada represente sólo 7,5 % del total de la zona, lo que virtualmente corresponde al total de tierras “altas” o no inundables potencialmente agrícolas. Esas tierras aptas para la agricultura están cultivadas desde comienzos del siglo XX, ocupadas en su mayor parte por pequeños y medianos chacareros, muchos de ellos minifundistas. Las áreas agrícolas del Chaco Húmedo presentan varios sectores diferenciados:

d.1) La mayor área se localiza sobre la dorsal oriental de Santa Fe, angosta faja de tierras altas que tiene a Reconquista y La Toscas como ciudades principales. Hacia el norte penetra en la provincia del Chaco en los alrededores de Basail, en un área originalmente azucarera, como fueron originalmente la mayor parte de las áreas agrícolas del Chaco húmedo (Maeder 1996).

d.2) En el centroeste de la provincia del Chaco hay varios núcleos agrícolas en torno a Resistencia, Colonia Benítez, Margarita Belén y Las Palmas, que ocupan tierras altas situadas sobre los albardones de los ríos Tragadero, Iné y la porción terminal del gran albardón del Río de Oro.

d.3) En el nordeste de Formosa, hay otro sector agrícola en Laguna Blanca y Riacho He-he, sobre albardones del Riacho Porteño, un paleocauce del Río Pilcomayo.

Un análisis de la figura 2 permite analizar algunos aspectos de la expansión agropecuaria en el período 19922002. Se observan dos procesos complementarios:

Por un lado una intensificación de la ocupación de los suelos en los núcleos existentes, que se evidencia en el oscurecimiento de los polígonos (dentro de los núcleos, se fueron ocupando gran parte de los espacios que todavía no se hallaban ocupados);

Por otro lado, un desplazamiento de esos núcleos, muy especialmente de los ubicados en el Chaco Subhúmedo Occidental y Subhúmedo Central, hacia el Chaco Semiárido, es decir, una expansión hacia una subregión que antes era considerada “no apta”, como ya se dijo, debido a la escasez de las precipitaciones y las elevadas temperaturas. Esto ha sido posible debido a un aumento relativo en las precipitaciones (capítulo 3) y a la incorporación de nuevas tecnologías, como la siembra directa. Una parte considerable de los emprendimientos en las porciones más secas son establecimientos

ganaderos, que se han desplazado de la región pampeana y de otras zonas chaqueñas, y que tienen menores exigencias edafológicas y climáticas.

En el capítulo 3 se prevé, dentro de los cambios climáticos proyectados para las próximas décadas que, para el norte del país, debido a las mayores temperaturas aumentará considerablemente la evaporación, sin que existan grandes cambios en las precipitaciones. Esta conjunción de factores hace muy probable que se revierta la tendencia de las últimas décadas de mayor disponibilidad de agua, tendiendo hacia un clima más árido.

El avance de la frontera agropecuaria en esta parte del país y bajo tal escenario pone de manifiesto la posibilidad de que se produzcan procesos de desertificación. Ginzburg et al (2007) identificaron dos zonas críticas (fajas Oriental y Occidental) que históricamente formaron parte del Chaco Semiárido, pero que en los últimos 2530 años debido a incrementos en las precipitaciones pasaron a formar parte del Subhúmedo (figura 2). En estas dos fajas o zonas de riesgo climático, la superficie agropecuaria al año 1992 era de 674.134 ha, en tanto que al 2002 alcanzó 1.289.537 ha. El mayor cambio se dio en la faja Oriental alcanzando en el período una expansión de 453.876 ha, lo que representó un aumento de 143,7 %. Estos datos dejan de manifiesto un hecho sumamente preocupante, la cuarta parte del total de las áreas transformadas de la región Chaqueña al año 2002 se encontraban en zonas de riesgo climático.

Actualización de los datos de expansión

Se elaboró una actualización del análisis de la expansión de la frontera agropecuaria en la región Chaqueña, en las dos zonas donde este proceso es más intenso: las fajas de contacto entre el Chaco Semiárido, con el Chaco Subhúmedo Occidental (y su transición a las Yungas) por un lado, y con el Chaco Subhúmedo Central por el otro. Se definieron 4 núcleos, dos en la faja del Oeste (“Tartagal” y “Las Lajitas”), y otros dos en la del Centro (“Charata” y “Bandera”), en los que se digitalizaron todas las parcelas donde la vegetación nativa fue reemplazada por cultivos agrícolas o por pasturas (figura 3.a).

Para los cálculos de la tasa anual de expansión, se utilizaron las fechas reales de captura de las imágenes (“Tartagal”: 198920002008; “Las Lajitas”: 199220012008; “Charata”: 198820022005; “Bandera”: 198720002007). Sin embargo, para una rápida identificación, lectura de los datos y comparación entre los núcleos, los resultados se

muestran agrupando los períodos estudiados como series temporales 199220022008.

Los 4 núcleos analizados mostraron una fuerte expansión de las áreas agropecuarias (figura 3.be). “Charata” y “Bandera”, en el Subhúmedo Central, que ya contaban con grandes superficies agrícolas en 1992, fueron los núcleos con mayor expansión neta, alcanzando una superficie transformada al año 2008 de 1.584.212 ha y 1.096.787 ha, respectivamente (tabla 1 y figura 4.a). Sin embargo, “Tartagal” y “Las Lajitas”, en el Subhúmedo Occidental, exhibieron la mayor expansión porcentual respecto a la superficie que poseían dichos núcleos al año 1992. El núcleo de “Tartagal” paso de 120.963 ha en 1992, a 364.593 ha en 2008; “Las Lajitas” paso de 294.536 ha a 856.627 ha en igual período. Estos datos muestran que ambos núcleos del Oeste triplicaron sus áreas agropecuarias en apenas 16 años (casi 200 % de aumento).

En cuanto a las tasas de expansión (tabla 1 y figura 4.b), los resultados mostraron que lejos de detenerse, estas aumentaron en los 4 núcleos para los períodos analizados (199202 y 200208), llegando incluso a duplicarse en “Charata” y “Las Lajitas”, con valores que superan las 97.000 y 51.000 ha/año, respectivamente.

Es importante notar que aún dentro de estos 4 núcleos de expansión, la distribución de las áreas agropecuarias transformadas no es uniforme, más aún se encuentran agrupadas ocupando los sectores con mejores condiciones de suelo y precipitaciones. Es así que si bien el porcentaje del área total transformada puede parecer bajo, el área con potencial agrícola ocupada es en los 4 casos muy cercana al 100% de sus posibilidades.

Emisiones de CO2

La emisión de gases de efecto invernadero es otro de los importantes impactos que tiene la deforestación masiva. El bosque chaqueño en razonable estado de conservación contiene 170 toneladas de materia orgánica por hectárea, de las cuales el 50 % corresponde a carbono. A partir de este valor, hemos estimado el contenido de materia orgánica en cada una de las fisonomías presentes en las zonas de estudio. Del mismo modo, se estimó la participación de cada una de esas fisonomías dentro de las áreas que han sido incorporadas a la actividad agropecuaria en el período 19922008 (tabla 2), en el

Chaco Subhúmedo Central y en el Subhúmedo Occidental.

Considerando la expansión agropecuaria registrada para dicho período en los 4 núcleos ya analizados (tabla 1), obtuvimos una cuantificación de la cantidad de C emitido. En los 16 años analizados, se emitieron en conjunto en ambas fajas, más de 77 millones de toneladas de carbono ("Tartagal", 8.749.362 TN de C; "Las Lajitas", 20.186.057 TN de C; "Charata", 26.588353 TN de C; "Bandera", 21.697.331 TN de C).

Es decir que, en promedio, estos cuatro núcleos habrían emitido anualmente 4.826.319 Tn de carbono, que en forma de CO_2 equivalen a 17.696.503 Tn. En la segunda comunicación nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, del año 2000, se reporta un valor para las emisiones de CO_2 provenientes de la transformación de bosques cercano al 50% del valor aquí calculado.

Si bien se trabajó con metodologías y niveles de detalle muy diferentes, estas diferencias muestran el grado de incertidumbre y amplio margen de error que existen en este tipo de cálculos.

La diferencia entre ambas estimaciones es importante; sin embargo, proyectados a los totales nacionales, el aporte de los desmontes se limita a valores entre un 4 y un 8% de las emisiones netas de CO_2 equivalente.

Proyecciones

En consonancia con el aumento en la producción esperado para los próximos años, se proyecta que las superficies cultivadas en toda la región Chaqueña aumentarán considerablemente, como se analizó, en buena medida a expensas de la deforestación del monte nativo. Adámoli et al (2007b), estiman que para el año 2007 la superficie cultivada en toda la región Chaqueña será de 6.200.000 ha, para el 2010 será de más de 7 millones de hectáreas, en tanto para el año 2020 será entre 50 y 100 % mayor a la superficie actual, oscilando entre los 9 millones a 12,5 millones de hectáreas, según el escenario de expansión planteado.

Es interesante notar que si le adicionamos a la superficie mapeada para el año 2002, la expansión al 2008 en los cuatro núcleos principales presentada arriba,

alcanzamos la superficie total de 5.900.000 hectáreas; indicando que el valor estimado para 2010, de 7.100.000 hectáreas es perfectamente plausible.

En el mismo trabajo, Adámoli et al (2007b) estiman la superficie ocupada con pasturas en cada uno de los períodos analizados. Así el desglose de la superficie ocupada con pasturas y con agricultura, muestra un constante avance en los porcentajes de pasturas, desde 1 % en 1992 cuando muy pocos campos tenían pastos cultivados, pasando a 5 % en 2002, a 8 % en 2007 y a 10 % en 2010. Para el año 2020 estiman que 20 % de la superficie cultivada en la región estará ocupada con pasturas, llegando a cubrir aproximadamente 2.300.000 ha. Estos números reflejan la importancia creciente que tiene esta actividad en la región.

Pérdida de ambientes

La concentración en núcleos que presenta la deforestación en la región hace que los ecosistemas naturales asentados originalmente en estas zonas se vean seriamente comprometidos. De igual modo que procesos anteriores implicaron la virtual desaparición del bosque de la dorsal oriental santafesina, hoy en día son varios los ecosistemas chaqueños en riesgo de correr la misma suerte.

En el Norte de la provincia de Córdoba, ya en 1999 la superficie del bosque Chaqueño Serrano se había reducido en un 94 %, pasando a ocupar solamente 13.700 ha. (Zak et al., 2004).

La Selva Pedemontana, en la transición entre el Chaco Semiárido y las Yungas en el noroeste argentino, es uno de los más afectados y al no estar representado en el sistema nacional de áreas protegidas (Izquierdo y Grau, en prensa; Adámoli et al, 2007c), se estima que de mantenerse las tasas de expansión actual, virtualmente se llegaría a la extinción de estos ambientes hacia el 2020 (Adámoli et al, 2007b).

Otro ambiente seriamente comprometido es el “bosque de tres Quebrachos” en el Chaco Subhúmedo Central. En el apartado siguiente se analizan en detalle las implicancias del avance de la frontera agropecuaria sobre este ambiente.

3. Pérdida y fragmentación del Bosque de tres quebrachos

En el sudoeste de la Provincia del Chaco se dan condiciones de clima y suelo

particularmente favorables para la agricultura, lo que hizo que desde principios del siglo XX el área fuera intensamente cultivada (núcleo “c.1” de la figura 2). A lo largo de dicho siglo la zona ha sido escenario de diversas expansiones agrícolas, y en la actualidad presenta un altísimo porcentaje de su área ocupada por agricultura.

Como contrapartida de esta expansión agrícola se produjo una muy sensible reducción de la superficie ocupada por la vegetación nativa, representada por bosques en su mayoría y abras o manchones de pastizales (Morello y Adámoli, 1974). La mayor parte de los bosques de esta zona corresponden a un ecosistema único e irremplazable, el Bosque de tres quebrachos, donde coexisten el quebracho blanco (Aspidosperma quebracho blanco), el colorado santiagueño (Schinopsis lorentzii) y el colorado chaqueño (Schinopsis balansae), y que posee la particularidad de ser el área de máxima expresión del quebracho híbrido entre ambos colorados (Schinopsis heterophylla).

La falta de planificación territorial y el virtual descontrol del avance de la frontera agrícola llevó a que este bosque, que antaño ocupaba gran parte de la subregión del Chaco Subhúmedo Central, hoy se encuentre en superficies reducidas y de manera muy fragmentada, lo que en conjunto lo sitúa bajo un severo riesgo para su conservación y persistencia futura.

Como una forma de cuantificar la pérdida del Bosque de tres quebrachos, para un área de estudio de 430.530 ha al noreste de Gancedo y sudoeste de Corzuela, en los alrededores de la localidad de Charata, se identificó la cobertura y distribución de los bosques en dos cortes temporales. En la figura 5 se muestra la cobertura del Bosque de tres quebrachos para los años 1988 y 2005.

Más allá del impacto visual que generan estas imágenes, que reflejan claramente la fuerte pérdida del bosque nativo, es importante resaltar algunos números que surgen del análisis de la estructura y dinámica del paisaje, que muestran la notable reducción y fragmentación del Boque de tres quebrachos (tabla 3).

La cobertura de bosques que en el año 1988 era de 204.118 ha (abarcando 47,4 % del área de estudio), pasó a 122.551 ha en el 2005 (reduciéndose a 28,5 % del área). Esta pérdida de 81.567 ha del Bosque de tres quebrachos representa una disminución del 40 %

de su superficie remanente al ´88. El reemplazo de ambientes naturales por agroecosistemas esta reconocido mundialmente como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad, afectando también a los bienes y servicios ambientales prestados por estos ambientes. Además, y como ya fue analizado, estos desmontes son una fuente muy importante de emisiones de CO_2.

La fuerte fragmentación que sufrió el Bosque de tres quebrachos durante el período analizado se expresa en:

- El número de parches o fragmentos de bosque aumentó en 71.8 % (pasando de 1.917 fragmentos en el ´88 a 2.635 en el 2005);

- Los fragmentos se hicieron cada vez más pequeños (el tamaño medio de parche disminuyó de 106,5 ha a 46,5 ha).

- La fragmentación afecta a la biodiversidad al provocar un corte o discontinuidad en la conectividad del ambiente natural, que en algunos casos puede llevar a un aislamiento para ciertas especies. Esta pérdida de conectividad reduce el intercambio genético entre individuos, lo que a su vez pone en serio riesgo la persistencia futura para muchas especies, incrementando aún más los efectos ya mencionados por la pérdida de superficie.

El efecto combinado de estas dos fuerzas de presión sobre el bosque, reducción de la superficie ocupada y fragmentación, hizo que el llamado “efecto borde” aumentara en el período, lo que se ve en el incremento del índice de densidad de borde (cantidad de metros de borde de bosque que hay por hectárea de bosque) que pasó de 99,5 m/ha a 125,2 m/ha. El efecto borde aumenta la posibilidad de invasión de especies exóticas, puede cambiar la composición de especies en el borde o transición entre los ambientes que se tocan, y en el caso puntual que analizamos de transición bosqueagricultura, aumenta los riesgos de afectación de la vegetación nativa por la aplicación y/o deriva de agroquímicos. En el capítulo 5 se encuentran mayores detalles sobre los efectos de la fragmentación y el aumento del efecto borde sobre las poblaciones naturales.

Es interesante notar cómo la historia de ocupación del territorio puede verse reflejada en estos procesos de reducción y fragmentación de los bosques. En el período analizado, el proceso de pérdida de superficie de bosques (reducción) fue más intenso en

el oeste, donde había mayores superficies boscosas y en grandes núcleos. En tanto que, el proceso de fragmentación fue más intenso en el este, donde las masas boscosas ocupaban menores superficies y se hallaban en fragmentos más pequeños, y donde el territorio ya se encontraba ocupado desde hace varias décadas.

La evolución en la ocupación del territorio puede ser analizada también bajo el análisis de la estructura del paisaje en ambos cortes temporales (tabla 4).

La pérdida de superficie boscosa se dio en ambos sectores, pero fue mucho más significativa en el oeste, donde se perdieron 52.488 ha, 46 % del remanente de bosque al ´88 vs. 29.078 ha, 32 % del remanente en el este (figura 6a). Cabe aclarar que ya había menos superficie de bosque en 1988 en la zona este.

La fragmentación fue un proceso que también se produjo en ambos sectores (el número de fragmentos aumentó y su tamaño medio disminuyó), pero en el este la fragmentación fue más intensa (figura 6.b), aumentando en mayor número el número de parches (499 nuevos fragmentos en el este vs. 226 en el oeste).

Asimismo, la evolución en la ocupación del territorio quedó fuertemente impresa en el paisaje, lo que puede verse considerando la distribución y configuración de los bosques en el tiempo, para ambas zonas, este y oeste (figura 7).

En el área este se destaca el patrón dado por la antigua ocupación de la agricultura en la región Chaqueña. Para 1988 se observan las formas irregulares, producto del avance agrícola sobre abras en el bosque y quemadas recurrentes. Para el 2005 se observan los dos patrones de ocupación, vestigios de las antiguas formas irregulares que se mezclan con las formas rectas de la más reciente expansión agrícola.

En el área oeste se observa claramente el patrón dado por la expansión agrícola de los últimos 2030 años. Ya en 1988 las formas predominantes son las regulares, con grandes extensiones de bosque desmontadas en línea recta (las pocas formas irregulares que se detectan, al ONO y centro Sur de la figura, corresponden a episodios de quemas del bosque, en esos años metodología corriente y previa a los desmontes). En el 2005 las formas regulares son las únicas presentes (nótese la gran cantidad de líneas rectas, principalmente

en sentido OE, pertenecientes a las cortinas forestales).

En resumen, se registra una fuerte pérdida de superficie y una intensa fragmentación que ha venido sufriendo el Bosque de tres quebrachos a raíz de los sucesivos avances de la frontera agrícola, proceso que se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años. Causa y consecuencia, estos procesos traen aparejados la pérdida de conectividad del ambiente natural, el posible aislamiento para ciertas especies y la pérdida o eliminación lisa y llana de una parte importante de los individuos y las poblaciones de especies que componen estos bosques.

La velocidad e intensidad de la reciente y actual expansión agrícola pueden provocar que en poco tiempo más no existan masas boscosas que permitan asegurar en número, tamaño, forma y conectividad, la persistencia futura de este ecosistema único, y de los bienes y servicios que de él dependen.

Hoy día no existen áreas protegidas que contemplen la inclusión de este ecosistema; tampoco existen tierras fiscales en número y superficie suficientes en su área de distribución. La única posibilidad real de conservación consistiría en integrar una red de áreas protegidas en propiedades privadas, para poder conservar muestras representativas de la diversidad ecológica presente en este bosque.

El Laboratorio de Ecología Regional de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, está llevando a cabo un proyecto en predios de productores agropecuarios de la zona de Charata, que se caracterizan por un importante nivel técnico en cuanto a sus actividades productivas, y por un firme compromiso para la conservación de los remanentes del Bosque de los Tres Quebrachos. El proyecto involucra el análisis de la estructura del paisaje, la evolución de la fragmentación del bosque y las implicancias de este proceso sobre la composición de las comunidades vegetales y animales que lo componen y habitan. El objetivo es profundizar el conocimiento del proceso para generar herramientas de manejo orientadas a la conservación y conectividad de los fragmentos remanentes.

4. Conclusiones

Los diversos ciclos de expansión de las fronteras agrícolas en la región chaqueña

han significado la incorporación a la producción de 6 millones de ha hasta el momento. Esto implica un importante aporte a la producción de granos, fibras y carnes del país, y las tendencias sugieren que esto se incremente en un 50 % hacia el año 2020. Al mismo tiempo en que se está generando una gran riqueza, hay numerosas señales que indican que es imprescindible repensar el futuro, ya que en este proceso se han pagado grandes costos ambientales y sociales. Por una parte, junto con el surgimiento de importantes polos productivos, todas las provincias que forman parte de la región chaqueña tienen los peores índices sociales del país como pobreza, indigencia, desnutrición, mortalidad infantil. Por otra parte, y si bien no existe información detallada al respecto, la mayor parte de las áreas agrícolas fueron desmontadas sin planificación, con escasos controles y en gran parte la madera de los desmontes fue quemada.

En relación con las tecnologías utilizadas en los procesos productivos, tuvieron una tradición de carácter expoliador. Así ocurrió primero con la explotación “minera” de los bosques y con la ganadería de monte, que en pocas décadas provocó un colapso de los estratos herbáceos y la caída en la receptividad. El monocultivo algodonero dejó suelos agotados, las primeras fases del cultivo de porotos tuvo altos costos en materia de erosión, particularmente grave en las áreas más onduladas. En los actuales sistemas productivos, tanto agrícolas como ganaderos, se observan importantes avances en la aplicación de tecnologías modernas y en criterios de manejo que han aumentado sensiblemente los rendimientos. Estas actividades “de punta” conviven con sistemas productivos ineficientes. El desafío para el país y para le región, consiste en tomar lo mejor de lo que existe para generalizarlo y evitar, mitigar o compensar las consecuencias negativas.

Los escenarios proyectados indican que habrá una fuerte expansión de las áreas cultivadas en la región Chaqueña. Este aumento de las superficies cultivadas en detrimento de las áreas con vegetación nativa es la principal amenaza para la conservación de la biodiversidad en la región. Este grave problema se agudiza si tenemos en cuenta que virtualmente no existen áreas protegidas en las zonas con un desarrollo agrícola histórico ni en aquellas en las que se concentra la expansión actual (Ginzburg et al, 2006). Resulta evidente entonces que el sistema de áreas protegidas no es suficiente para garantizar la conservación de los ambientes nativos y los servicios ambientales que ellos prestan.

Hasta el momento la actual expansión agropecuaria se vio favorecida por un ciclo húmedo con mayores precipitaciones a las normales, que permitió avanzar sobre tierras antes consideradas marginales para la producción, y estuvo signada más bien por las leyes de los mercados (precios de commodities, especialmente la soja) y la oferta y demanda de tierras para su compra o arrendamiento, más baratas que en la región pampeana, sin que exista una regulación efectiva por parte de los estados, nacional y provinciales, para establecer los mejores criterios de cómo, dónde, y de qué forma se realice dicha expansión. Si bien existen algunas experiencias piloto que permiten avanzar en tal sentido (INTA, APN, etc.), estas todavía son incipientes o abarcan una escala predial o comunal.

Es importante tener en cuenta las restricciones en cuanto a la disponibilidad de tierras potencialmente cultivables en las diferentes zonas climáticas (Adámoli et al, 2007b). En el Chaco Húmedo se considera que ya en 2007 hay muy poca superficie cultivable disponible. En el Chaco Subhúmedo Occidental (básicamente Chaco Salteño), se estima que hacia el año 2010 quedarán disponibles muy pocas tierras cultivables. En el Chaco Subúmedo Central (eje Tres IsletasSáenz PeñaCharataTostadoBandera), las tierras disponibles para cultivos se terminarían antes del año 2020.

Así, las posibilidades de expansión agrícola quedan limitadas a la faja de contacto de ambas zonas Subhúmedas con la zona Semiárida (figura 8). Esto aumenta las dudas sobre la sustentabilidad de dichos cultivos futuros, dado que ocuparán importantes superficies dentro de las fajas de riesgo climático, lo que aumenta los riesgos de desertificación. La probable aparición en pocos años más de variedades tolerantes o resistentes a la sequía, o las diversas alternativas que están en estudio sobre variedades con genes apilados, sería una solución para los productores actuales, pero al mismo tiempo aumentaría la presión para el desmonte.

El escenario planteado pone en evidencia que es imprescindible la implementación de un programa de ordenamiento territorial a escala regional (capítulo 13). Desde el punto de vista ambiental, es necesario señalar que hay serios riesgos de desertificación, así como de que desaparezcan los remanentes de bosques del Chaco Húmedo, de los bosques de la transición entre el Chaco y la Yungas y del quebrachal de tres quebrachos, que ya han sufrido una reducción muy drástica en su superficie y conectividad. Pero también es

necesario que se prevea y regule la expansión de aquí en adelante, de forma de establecer prioridades ambientales, garantizando la conservación y la conectividad de los elementos más relevantes o amenazados, así como también el cumplimiento de los servicios ecológicos que prestan estos ambientes.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografía

Adámoli, J., C. Galperín, M. Oliver, M. Dávila, L. Fernández, R. Ginzburg y S. Torrella. 2007. Expansión del cultivo de la soja en la Argentina: aportes para la sustentabilidad. Capítulo de libro. Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SeCyT). (en prensa)

Adámoli, J., R. Ginzburg, S. Torrella, L. Adámoli, 2007. Biocombustibles: perspectivas ambientales en la Región Chaqueña. (129146 pág.) En: Bioenergía 2006: avances y perspectivas. Ed: Fernando Vilella y Hector Rosatto. Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires Facultad de Buenos Aires.

Adámoli, J., S. Torrella, y R. Ginzburg, 2007. Perspectivas de expansión de las fronteras agrícolas en la región chaqueña: 19922020. Capítulo de libro. Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SeCyT). (en prensa)

Barsky, O. y J. Gelman, 2001. Historia del agro argentino. 460 pág. Ed. Grijalbo-Mondadori. ISBN 9879397215.

Brown, A., U. Martínez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera J. 2005. Conclusiones de la situación ambiental por ecorregiones. En el libro: La situación ambiental argentina 2005. Ed: Alejandro Brown, Ulises Martinez Ortiz, Marcelo Acerbi y Javier Corcuera.

Ginzburg, R., S. Torrella y J. Adámoli. 2007. Cuantificación y análisis regional de la expansión agropecuaria en el Chaco Argentino. En: Understanding biodiversity loss: an overview of forest fragmentation in South America. M. J. Pacha, S. Luque, L. Galetto, and L. Iverson (editores). IALE Landscape Research and Management papers. Internacional Association of Landscape Ecology.

Izquierdo, A., y H. R. Grau, en prensa. Agriculture adjustment, landuse transition and protected areas in Northwestern Argentina. Journal of Environmental Management

Maeder, E., 1996. Historia del Chaco. Ed. Plus Ultra. Bs. As. 304 p.

Montenegro, C., I. Gasparri, E. Manghi, M. Strada, J. Bono, y G. Parmuchi, 2004. Informe sobre deforestación en Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Dirección de Bosques, Ministerio de Salud y Ambiente. 8 pág.

Morello, J. y J. Adámoli. 1974. Segunda parte: Vegetación y ambiente de la provincia del

Chaco. En: Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco argentino. Serie fitogeográfica Nº 13. Buenos Aires: INTA.

OECDFAO (Organisation For Economic CoOperation And Development Food And Agriculture Organization Of The United Nations). 2007. Agricultural Outlook 2007-2016.

Prado, D. 1993. What is the Gran Chaco vegetation in South America? I. A review. Contribution to the study of flora and vegetation of the Chaco. V Candollea 48: 145-172

SAGPyA. Estimaciones agrícolas. http://www.sagpya.mecon.gov.ar

USDA Agricultural Projections to 2017. Office of the Chief Economist, World Agricultural Outlook Board, U.S. Department of Agriculture. Prepared by the Interagency Agricultural Projections Committee. Longterm Projections Report OCE-20081, 104 pág. (http://www.ers.usda.gov/Publications/OCE081/)

Zak, M., M. Cabido, J. Hodgson. 2004. Do subtropical seasonal forest in the Gran Chaco, Argentina, have a future?. Biological conservation 120: 589598.

http://www.grenoble.cemagref.fr/workshop_bariloche/IALE.htm

Núcleo	Área de esudio (ha)	Área transformada (ha)			Tasa (ha/año)		Expansión Total	
		1992	2002	2008	9202	0208	Sup. (ha)	%
Tartagal	2.011.283	120.963	244.108	364.593	11.195	15.061	243.630	201,4
Las Lajitas	3.130.913	294.536	496.047	856.627	22.390	51.511	562.090	190,8
Charata	2.909.780	721.304	1.292.031	1.584.212	40.766	97.393	862.908	119,6
Bandera	2.896.978	392.614	810.295	1.096.787	32.129	40.927	704.173	179,4

Tabla 1. Superficies agropecuarias en los núcleos "Tartagal", "Las Lajitas", "Charata" y "Bandera", en los años 1992, 2002 y 2008.

		% de cobertura	
Fisonomía	Contenido de C (Tn /ha)	Subhúmedo Central	Subhúmedo Occidental
Bosque alto	85	5	5
Bosque alto raleado	51	10	20
Bosque bajo	34	35	40
Bosque muy degradado	25,5	0	30
Sabana muy arbustificada Sabana	25,5 12,75	25 25	0 0
Peladares	4,25	0	5

Tabla 2. Estimación del contenido de carbono de las distintas fisonomías presentes en el área de estudio, y su participación en la cobertura del suelo en el Chaco Subhúmedo Central y el Occidental. Fuente: Estimaciones propias.

Área de estudio (ha): 430.530		
	Bosques 1988	Bosques 2005
Superficie (ha)	204.118	122.551
% del área de estudio	47,4	28,5
Nº de parches	1.917	2.635
Tamaño medio de parche (ha)	106,5	46,5
Parche mayor (ha)	67.920	10.401
Densidad de borde (m/ha)	99,5	125,2
Media P/A (m/ha)	389,9	391,1

Tabla 3. Índices de paisaje calculados para los bosques existentes en el área de estudio, para los años 1988 y 2005.

	Área este (ha): 220.442		Área oeste (ha): 210.088	
	Bosques 1988	Bosques 2005	Bosques 1988	Bosques 2005
Superficie (ha)	90.610	61.532	113.508	61.020
% del área de estudio	41,1	27,9	54,0	29,0
Nº de parches	1.195	1.694	1.306	1.532
Tamaño medio de parche (ha)	75,8	36,3	86,9	39,8
Parche mayor (ha)	28.782	2.689	28.800	3.238
Densidad de borde (m/ha)	93,4	121,9	98,9	115,9
Media P/A (m/ha)	312,9	315,2	398,3	386,4

Tabla 4. Índices de paisaje calculados para los bosques existentes en el área de estudio en el sector Este (220.442 ha) y Oeste (210.088 ha), para los años 1988 y 2005.

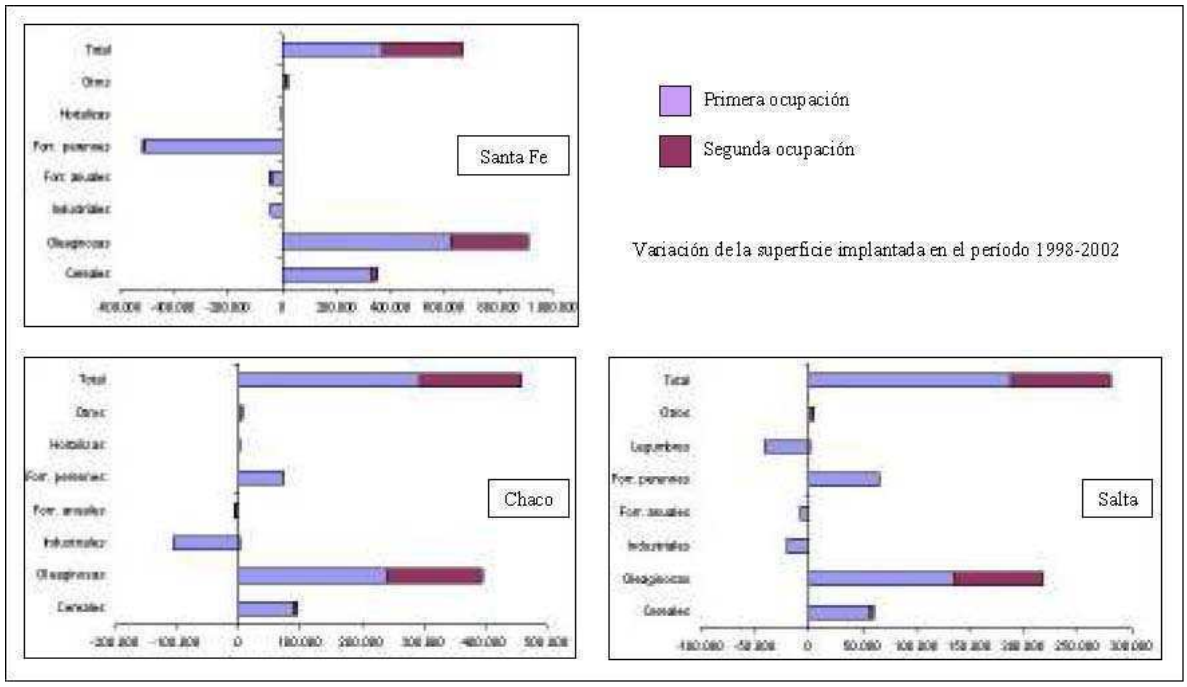


Figura 1. Variación en la superficie implantada (hectáreas) por tipo de cultivo y ocupación, 1988-2002, para las Provincias de Santa Fe, Chaco y Salta. Fuente: Adámoli et al, 2007 (C).

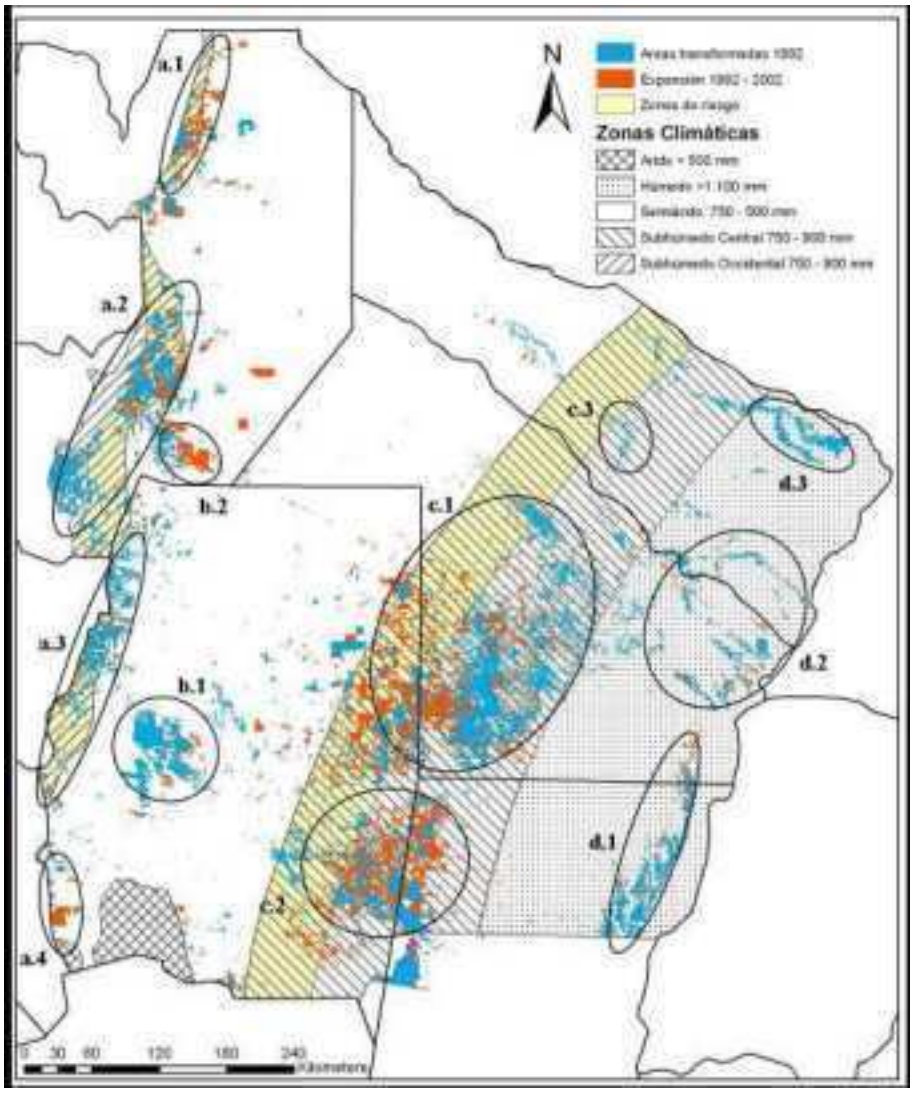


Figura 2. Núcleos agrícolas en la región Chaqueña según las distintas zonas climáticas, y zonas de riesgo climático. Fuente: Ginzburg et al, 2007.

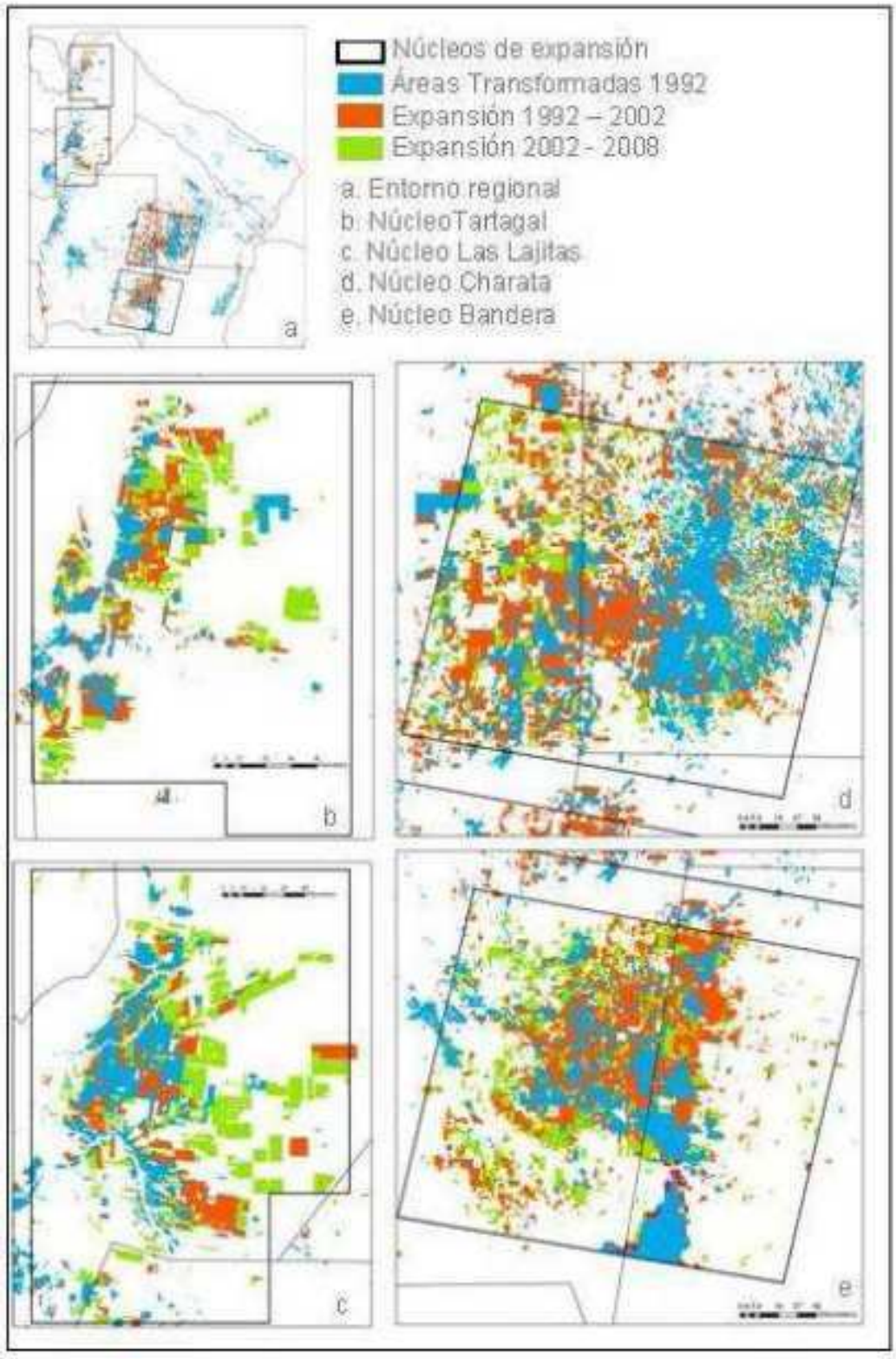


Figura 3. Mapeo de las áreas transformadas en los 4 núcleos de expansión: a) Entorno regional; b) "Tartagal"; c) "Las Lajitas"; d) "Charata"; y e) "Bandera"

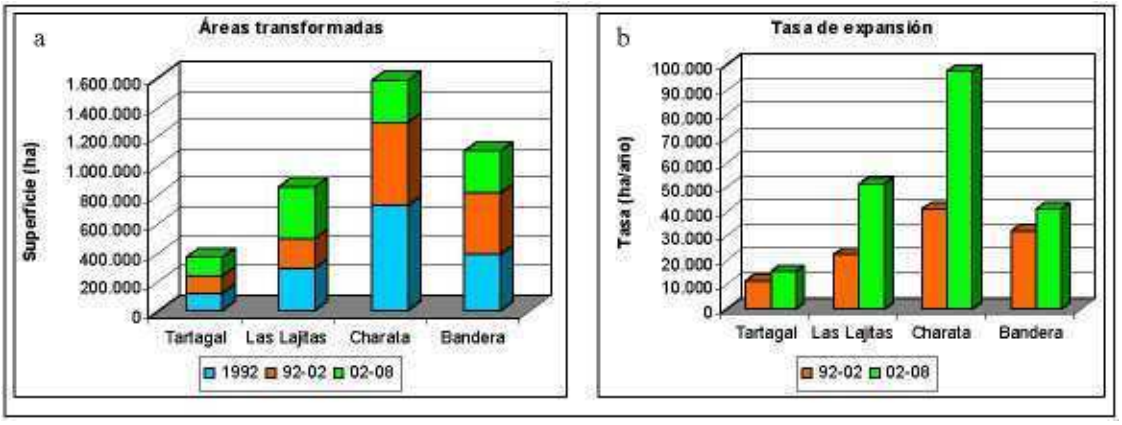


Figura 4. a. Áreas transformadas en los núcleos “Tartagal”, “Las Lajitas”, “Charata” y “Bandera”, en el año 1992, y su expansión durante los períodos 19922002 y 20022008; b. Tasa de expansión anual de las áreas agropecuarias (ha/año).

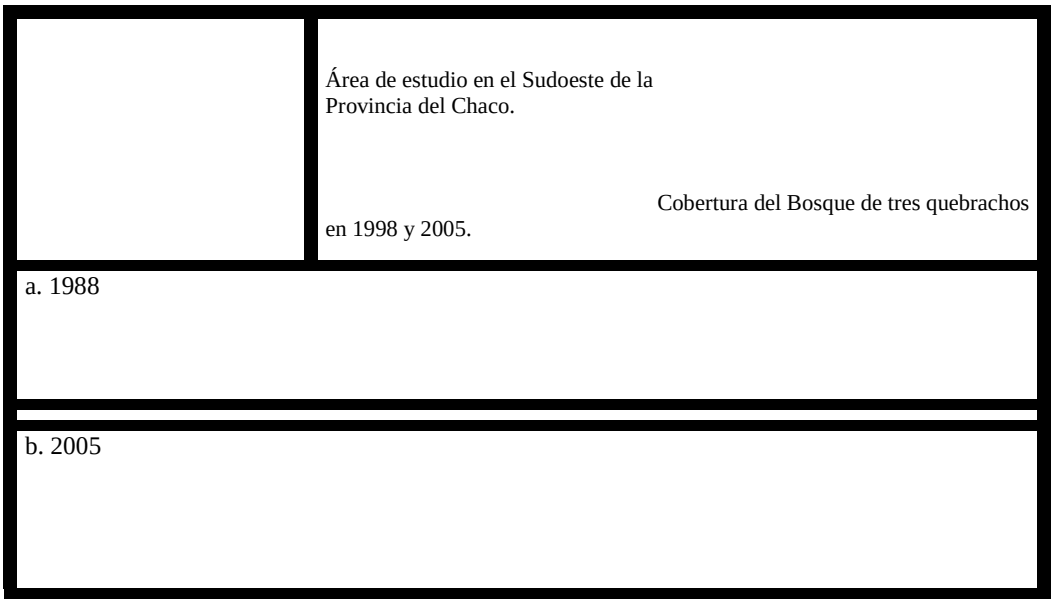


Figura 5. Cobertura del Bosque de tres quebrachos en el área de estudio en los cortes temporales: a. 1988; y b. 2005. Se divide el área en dos, este y oeste (línea), para un análisis posterior de los distintos factores que afectaron cada zona.

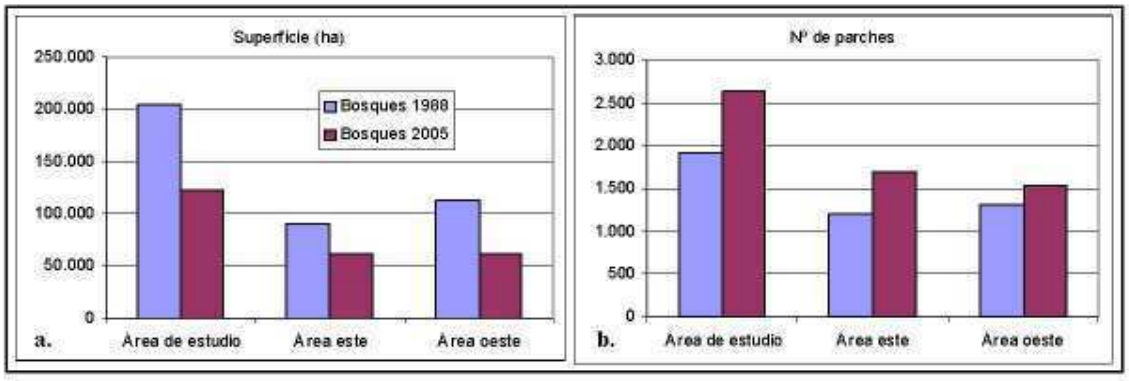


Figura 6. Bosque de tres quebrachos en el área de estudio y sectores este y oeste, para los años 1988 y 2005. a. Superficie de bosque; b. Número de fragmentos.

a. Sector Este, 1988

b. Sector Este, 2005

c. Sector Oeste, 1988

d. Sector Oeste, 2005

Figura 7. Detalle de la cobertura del Bosque de tres quebrachos para los años 1988 y 2005: a y b. Sector este; c y d. Sector oeste.

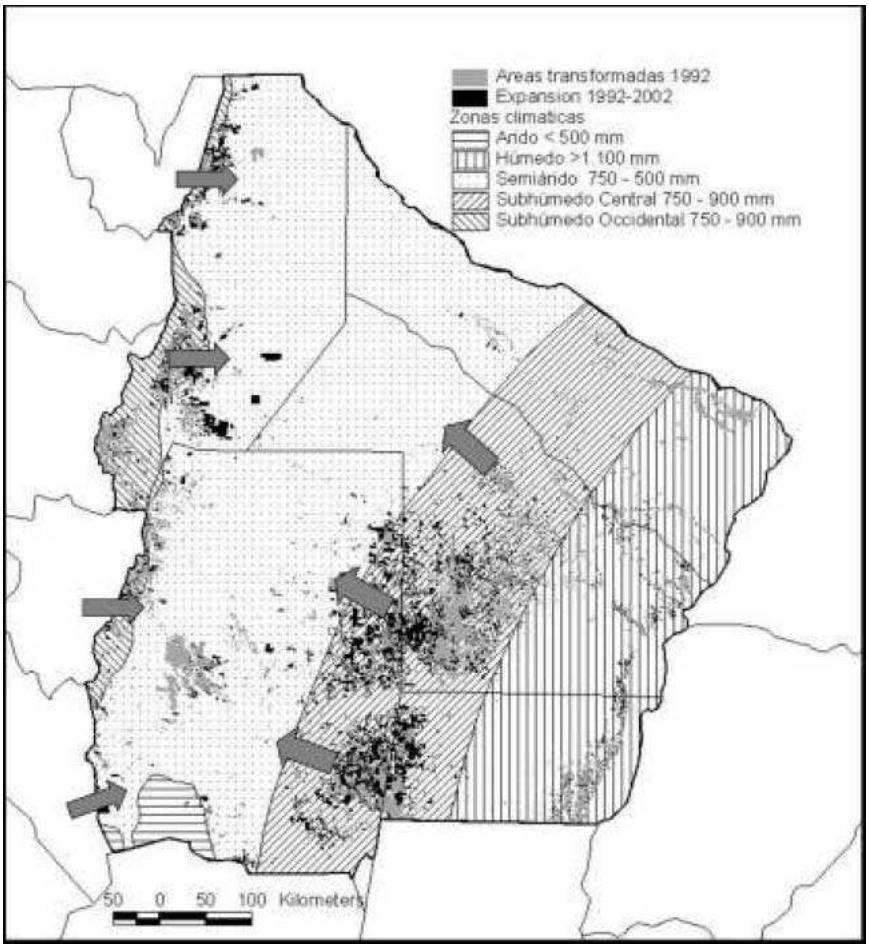


Figura 8. Fuerza de presión de la expansión agrícola actual y la proyectada al año 2020. Las flechas ilustran la presión que sufrirán las fajas de contacto entre el Semiárido y el Subhúmedo Occidental y Central, respectivamente, debido al avance de la frontera agropecuaria. El mayor grosor de las flechas en el SemiáridoSubhúmedo Central es representativo de la mayor expansión estimada para dicha faja, en donde existe una mayor disponibilidad de tierras con potencial agrícola.

Capítulo 12

La importancia de las buenas prácticas agrícolas en la mitigación del daño ambiental.

Santiago Lorenzatti

1. La historia de las labranzas agrícolas y su relación con el ambiente

La historia de la agricultura es la historia de la labranza. El hombre, mayoritariamente, a lo largo de su historia agrícola utilizó a las labranzas con arado como una herramienta indispensable para la obtención de alimentos. La arada permitía preparar el suelo (refinarlo y despoblarlo de malezas) para poder implantar un cultivo. Posteriormente, con otras labores culturales -las realizadas durante el período de establecimiento y crecimiento del cultivo- se buscaba controlar las malezas y estimular a la mineralización de la materia orgánica para la liberación de nutrientes que eran aprovechados por el cultivo. A ese proceso se lo ha llamado agricultura convencional.

La agricultura convencional, basada en las labranzas de los suelos usando el arado, fue la tecnología principal que la agricultura europea aplicó desde sus inicios, hace más de diez mil años. En las Américas y en África otros métodos de hacer agricultura evolucionaron, métodos que no utilizaban el arado ya que no disponían de animales de tiro. Hace quinientos años con la expansión de la civilización Europea al resto del mundo, se adoptaron en todo el mundo las labranzas europeas basadas en el uso del arado. Actualmente, la mayor proporción de la agricultura mundial sigue realizándose con el arado como eje; proceso que en los últimos 50 a 100 años se vio intensificado de la mano de la incorporación de tractores de potencia creciente, herramientas de labranzas y demás implementos.

Bajo esta concepción de la agricultura, la larada es vista como una pieza clave e ineludible a la hora de producir granos y forrajes. El paquete tecnológico reinante incluye prácticas como arar, rastrear, y quemar los residuos, dejando el suelo totalmente pulverizado (Pereira, 2002). Sin embargo, y aún reconociendo que sirvió para alimentar a la humanidad en el pasado, este tipo de agricultura que llamaremos convencional -por vía de la erosión de los suelos- y por la aplicación de un criterio de explotación, minero o extractivo de los recursos, en muchos casos hizo llegar a extremos de deterioro de

magnitud escalofriante: “perder más de diez toneladas de suelo por tonelada de grano producido”; evidentemente, un “costo” que la humanidad toda no podía, y menos aún no puede ni podrá seguir pagando (Peiretti, 2004).

Bajo este análisis aparece en forma difusa el concepto de externalidad negativa de la agricultura convencional reciente sobre el ambiente y la sociedad. Es una externalidad porque el efecto degradativo no es asumido en forma directa por ningún actor de la sociedad; es decir que el efecto del laboreo sobre el ambiente no tiene una cuantificación económica que sea puntualmente incorporada como costo a la contabilidad de algún actor de la sociedad. Y es negativa ya que es un proceso que genera perjuicios sobre el ambiente – con principal impacto en el recurso suelo - , y por ende sobre la sociedad en su conjunto.

En línea con esta concepción Manoel Enrique Pereira, un reconocido pionero brasileño de la agricultura de conservación a nivel mundial, define al fenómeno de degradación asociado a la práctica de la agricultura basada en labranzas con arado, como “el cáncer del suelo”; en alusión al carácter sistemáticamente destructivo del fenómeno sobre los recursos naturales, principalmente el suelo; y por la forma “traicionera” en que se manifiesta, dejando las áreas de producción con sus medias productivas cada vez menores; causando daños incalculables que no son percibidos (Pereira, 2002). Lo que Pereira destaca con estas definiciones es el daño sistemático, progresivo, y poco evidente –al menos en las instancias iniciales del deterioro - que el sistema de agricultura convencional causa sobre el ambiente.

Además, en la lógica del paradigma de la labranza convencional los problemas que provoca son generalmente resueltos con más labranzas, entrando en un círculo vicioso que va agravando la situación. Por ejemplo, la preparación de la cama de siembra de un cultivo – esto es el estado superficial ideal que un suelo que va a sembrarse debe tener – en un sistema en convencional implica el refinamiento vía laboreos. Sólo así la sembradora convencional podrá realizar una eficiente tarea de de siembra, facilitando la implantación posterior. Sin embargo, ese refinamiento
– con ruptura de agregados - hace que el suelo quede susceptible a la erosión y compactación superficial, lo cual ocurre en caso de registrarse en torno a la siembra una

lluvia. La solución de este problema es una nueva labranza que rompe ese encostramiento superficial, pero al mismo tiempo agudiza la susceptibilidad a la erosión y disminuye la estabilidad estructural del suelo. Queda claro, que el sistema de agricultura convencional no ofrece una solución sustentable ambientalmente a los problemas que ella misma genera.

Solbrig (2004) hace un abordaje más amplio de la temática resaltando el impacto que la llamada "Revolución verde", asociada a las labranzas con arado, tuvo sobre el ambiente. La intensificación de la agricultura de la mano de la "revolución verde" incluyó el uso de genotipos de cereales especialmente adaptados, fertilizantes químicos nitrogenados; incorporación de maquinaria de mayor potencia, sobre todo tractores; uso de agroquímicos para combatir malezas y pestes (Solbrig, 2004). Estas tecnologías que fueron adaptadas en varias partes del mundo han sido muy exitosas en aumentar la producción agrícola al nivel mundial, que ha crecido a una tasa de algo más que 2,2 % anual entre 1960 y 2000 (Fernandez Alés y Solbrig, 2002), y de esa manera ayudó, al menos considerando las cifras totales, a alimentar a la población mundial que se duplicó durante ese período. Para Solbrig las tecnologías originales de la revolución verde no fueron sostenibles debido al impacto negativo de ellas sobre el eje ecológico y el eje social. Las tecnologías de la revolución verde, asociadas a la agricultura convencional, incrementaron la erosión de los suelos, llevaron a la contaminación de acuíferos, redujeron la biodiversidad en las zonas en que se aplicó, sobre todo la biodiversidad de organismos del suelo y de insectos benéficos, y llevó al desempleo rural (Solbrig, 2004). El efecto de la agricultura intensiva sobre el eje social de la sustentabilidad no es tan grave en países desarrollados que no poseen una población campesina minifundista; en esos países el problema principal es el efecto negativo sobre el eje ecológico. En tanto, que en países subdesarrollados el impacto se hace sentir en ambos ejes (Solbrig, 2004).

Bajo esta óptica, y analizando a Argentina, se puede afirmar que si bien este país no es una nación desarrollada, sí posee una agricultura bien desarrollada; destacando que nunca ha habido una población campesina minifundista clásica, especialmente en la zonas donde más se intensificó la agricultura. En consecuencia, el problema principal que afectó al país ha sido el impacto ambiental, tanto de la agricultura extensiva anterior a 1970 como

en la fase de intensificación (Solbrig, 2004). Dentro del eje ambiental, el problema principal ha sido la erosión de los suelos (Senigalessi, 1991; Casas, 1998) que se remontan a la década del 1940; y en menor escala hay evidencias de cierta contaminación de aguas (Costa et al. 1996; Jergentz 2004). Está claro que el impacto de la llamada revolución verde – bajo el paradigma de las labranzas - afectó en Argentina principalmente al eje ecológico, causando – al igual que otros lugares del mundo - degradación principalmente edáfica.

2. Hacia una nueva agricultura que maximice la productividad y la conservación del ambiente.

Analizando la actual encrucijada en que se encuentra la Humanidad entre la necesidad de aumentar en lo inmediato la producción de alimentos en cantidad y calidad, y la imperiosa necesidad de hacerlo sin destruir el ambiente, resulta evidente la importancia de diseñar y ejecutar un modelo agrícola que contemple ambos aspectos. Para ello, resulta fundamental aprender de las experiencias del pasado para no repetir viejos errores, y al mismo tiempo apoyarse en la ciencia y la capacidad de innovación para encontrar nuevas alternativa superadoras.

Conceptualmente, nace una nueva formar de hacer agricultura; aquella basada en la interpretación de la real y amplia oferta ambiental que cada país, región, o paisaje posee; y la adecuación de una estrategia productiva que maximice el uso eficiente de esos recursos disponibles; incorporando aquellos insumos externos limitantes, de manera de maximizar la producción sustentable. En términos energéticos esta nueva agricultura tiende a maximizar la eficiencia de transformación de la energía disponible - ofrecida por los recursos naturales y los insumos externos-y su “almacenamiento” en forma de alimentos, y más recientemente en biocombustibles.

Se trata de una nueva agricultura, basada en la incorporación de los conocimientos que la ciencia genera; principalmente en lo que a ecología, ecofisiología, genética, nutrición y protección de adversidades bióticas y abióticas respecta. Es la nueva agricultura biológica.

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA´s) y la Agricultura Biológica

Es en este contexto, de una Agricultura Biológica, donde las buenas prácticas agrícolas (BPA´s) adquieren real importancia; ya que son las herramientas que permiten adaptar y ejecutar los nuevos conocimientos y avances tecnológicos al terreno de la producción agrícola de alimentos.

El concepto de BPA´s nace como respuesta a problemas de falta de inocuidad y falta de sostenibilidad en la producción de alimentos. Sin embargo las BPA´s en la actualidad más que un atributo, son un componente de competitividad, que puede permite al productor rural diferenciar su producto de los demás oferentes, con todas las implicancias económicas que ello supone: mayor calidad, acceso a nuevos mercados, consolidación de los mercados actuales, y reducción de costos, entre otros.

La FAO define a las BPA´s como "la aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios innocuos y saludables, a la vez que se procuran la viabilidad económica y la estabilidad social". La aplicación de las BPA´s implica el conocimiento, la comprensión, la planificación y mensura, registro y gestión orientados al logro de objetivos sociales, ambientales y productivos específicos. Las BPA´s constituyen una herramienta cuyo uso persigue la sustentabilidad ambiental, económica y social de los sistemas productivos agropecuarios, lo cual debe traducirse en la obtención de productos alimenticios y no alimenticios más inocuos y saludables; en un marco de minimización del daño ambiental. O mejor aún, conservando y aún mejorando muchos parámetros y atributos de los recursos naturales involucrados en el proceso productivo; en el caso de la agricultura, principalmente el suelo. Todo ello, sin resentir los rendimientos de los cultivos; por el contrario, teniendo como objetivo su aumento permanente a partir de la incorporación de conocimientos.

Más allá de las definiciones, en el terreno real y considerando a la producción agropecuaria comercial, no es común abordar el tema de las BPA´s desde la óptica de la gestión ambiental y de cómo se afectan los recursos naturales involucrados. Por el contrario, la mayoría de los protocolos y normativas hacen hincapié en la inocuidad y salubridad del producto para el hombre; relegando a segundo plano el impacto de esas

prácticas sobre el ambiente. Por lo tanto, uno de los principales desafíos que actualmente enfrenta la implementación de BPA´s es la profundización del conocimiento y aplicación de prácticas que realmente tengan un impacto negativo mínimo sobre el ambiente; o mejor aún permitan mantener o mejorar muchos atributos de los recursos naturales involucrados en el proceso de producción.

Por otra parte, en el terreno de los agronegocios la implementación de protocolos que contengan a las BPA´s constituyen un desafío y una oportunidad; ya que de su cumplimiento puede que dependa la entrada de sus productos agropecuarios a los mercados con mayor sensibilidad ambiental y creciente exigencia en calidad. O mejor aún, la implementación y certificación de BPA´s de manera proactiva puede generar oportunidades de negocio con agregado y captura de valor. En este sentido, es necesario que los productores agropecuarios comiencen a interiorizarse y capacitarse en estos conceptos, y actúen proactivamente generando sistemas productivos certificables que respondan a las exigencias de inocuidad y salubridad de los productos, y principalmente de una gestión ambiental responsable. Todo ello en un marco de productividad y rendimientos crecientes. Así se estarán alineando los objetivos de incrementar la producción de alimentos y conservar simultáneamente el ambiente, comenzando a dar respuesta al principal desafío que hoy enfrenta la Humanidad.

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA´s).

Dentro de la producción agropecuaria, los cultivos agrícolas representan una importante proporción desde el punto de vista del uso de la tierra, y de su importancia económica. A continuación se presentan un listado de BPA´s para la producción agrícola que de adoptarse de manera masiva, se espera que ayuden a logar una producción ambientalmente mucho más sustentable, y se acerquen al concepto de Agricultura Biológica. Al respecto, ya existen experiencias prácticas en este sentido, y más aún en Argentina, país que tiene un importante cúmulo de productores que vienen implementando en sus campos estos conceptos. Las BPA´s en cuestión son:

- Siembra directa.
- Rotación de cultivos.
- Manejo de manejo integrado de plagas.
- Manejo racional de la nutrición vegetal y la fertilización edáfica.

La siembra directa

Si bien la historia de la agricultura occidental es la historia de la labranza con arado, existen quienes se animaron a desafiar el paradigma reinante, y proponer una nueva agricultura que tenga como eje la no remoción del suelo. A este nuevo modelo productivo se lo conoce como labranza cero, no labranza (no-till o no-tillage, en inglés) o simplemente siembra directa. Esta última denominación es la más conocida y difundida en Argentina. La siembra directa consiste en la implantación de los cultivos sin el uso previo ni posterior de labranzas, mediante la utilización de equipos de siembras que deben tener la capacidad de poder cortar la cobertura superficial del suelo, abrir una pequeña línea de siembra, depositar la semilla en su interior y cerrar el surco abierto. El control de malezas se realiza mediante el ajuste de las rotaciones y la intervención química en momentos específicos. A su vez, dado que no hay laboreo de suelos, y por ende no hay pulsos violentos de mineralización, la estrategia de fertilización debe necesariamente cambiar y adecuarse a las nuevas condiciones edáficas.

Más allá de esta definición, el concepto de siembra directa toma diferentes acepciones o interpretaciones, aún dentro de países referentes o líderes a nivel mundial según su nivel de adopción, como Argentina y Brasil. Por un lado, están quienes la perciben estrictamente como ausencia de laboreo. Es un criterio simple y sencillo que considera siembra directa a toda situación de cultivo que haya sido establecido sin remoción previa del suelo; sin importar otros atributos (como la presencia o no de cobertura de suelo) o la duración en el tiempo de la condición de no-laboreo. Por ejemplo, es común encontrar productores que realizan cultivos de invierno con preparación de la cama de siembra mediante laboreos convencionales, y que luego optan por sembrar el cultivo estival (dentro del mismo año productivo) sin remoción de suelo; sembrando “directamente”. Luego cuando retornan nuevamente al cultivo invernal optan por implantarlo en labranza convencional; es decir labrando el suelo. En este caso, no hay una continuidad temporal de la condición de la condición de no-remoción. Se trata de una visión simplista y cortoplacista del concepto de siembra directa, que la toma estrictamente como una herramienta puntal y ocasional para el logro de una tarea de siembra en tiempo y forma.

Otro ejemplo dentro de esta visión simple de siembra directa es aquella que se da en productores que si bien respetan la continuidad temporal de la condición de no-laboreo, lo hacen como único criterio. El caso más conocido, es el de productores que realizan monocultivo (principalmente de soja) sembrado "directamente" casi de manera indefinida. Bajo esta lógica, si bien se cumple la condición de no disturbar el suelo, este queda la mayor parte del tiempo desnudo, con escasa cobertura, y por ende con muy baja protección frente a la acción erosiva del viento o la lluvia. Por otro lado, la ausencia de sistemas de raíces de diferentes arquitectura (ya que sólo se siembra un mismo cultivo) no favorece que el suelo recomponga su porosidad. La consecuencia final, es un suelo menos poroso, con un deficiente drenaje; más todos los aspectos negativos que se suman a la falta de cobertura.

Generalmente estas visiones simplistas y cortoplacistas sólo ven las ventajas operativas o económicas de la siembra directa; ya que por un lado reducen la cantidad de tareas agrícolas – comparado con labranza convencional – y a sú vez el costo que es significativamente menor.

En consecuencia, se puede afirmar que la simplificación de la siembra directa al extremo de percibirla exclusivamente como "ausencia de labranzas" ha llevado, en algunas circunstancias, a errores conceptuales en el manejo de sistemas productivos. En una aproximación por explicar este comportamiento cortoplacista, Romagnoli (2003) afirma que "*pareciera ser que las reglas del mercado imponen un comportamiento empresario en función a los resultados inmediatos, basados en la ecuación costo-beneficios y simultáneamente, alejan al productor del análisis encuadrado en la lógica de la sustentabilidad para lograr beneficios permanentes a través del tiempo. Tal vez, parte de la explicación esté dada porque los tiempos de los procesos biológicos, muchas veces desconocidos y otras subestimados, son diferentes respecto de las necesidades cotidianas del hombre, que, cada vez más acelerado presiona sobre el ecosistema desplazando la banda de equilibrio a un nuevo punto, seguramente de mayor fragilidad*" (Romagnoli, 2003). Retomando los conceptos de Romagnoli se puede conceptualizar que esta conducta observada es un ejemplo de la crisis de compatibilización entre objetivos económicos y ambientales. Coincidente con esta línea de pensamiento, Trucco (2004) destaca que "*concebida como herramienta puntual, la siembra directa no es suficiente para tener*

adquirir el rótulo de agricultura productiva y sustentable".

La existencia de visiones simplificadoras de la siembra directa, también ha llevado a que desde instituciones públicas y privadas –estas últimas conformadas por asociaciones de productores como Aapresid[1]-no sólo se plantee el objetivo de incrementar la superficie bajo siembra directa, sino el hacerlo bajo una visión holística, sistémica e integral, asumiendo la necesaria interpretación de los procesos biológicos, los cuales necesariamente son complejos. En este sentido, Aapresid – ONG que nuclea a productores pioneros en adopción y difusión de la siembra directa en Argentina - se plantea como próximo objetivo extender "*el concepto que no alcanza con dejar de arar, y que esto solo es la llave para ingresar a un sistema de producción que necesariamente implica comprender las causas y efectos de los procesos biológicos asociados a la producción agropecuaria*". Para sus directivos y asociados, la solución no pasa por establecer un esquema dirigista en el uso y explotación de la tierra, sino por dar a conocer a los actores del mercado las causas y consecuencias del mal uso de la tierra, y especialmente a sus propietarios que son los que en primera instancia van sufrir el efecto económico por la perdida de capital (Romagnoli, 2003).

Así se llega al un concepto más amplio, sistémico y biológico de la siembra. Se trata de concebir a la siembra directa como un "sistema" productivo, basado en la ausencia de labranzas y en el mantenimiento permanente de los suelos cubiertos por los rastrojos y cultivos. El hecho de percibirla como sistema deja claramente explicitado la existencia de muchos más componentes y sus interacciones, que la simple condición de no laboreo. Por otro lado, agrega una segunda condición que es la presencia permanente de un suelo cubierto. Algo que en apariencia pareciera tan simple, solo se alcanza si a la condición de no laboreo se la acompaña de otras BPA´s como la rotación de cultivos con una ajustada diversidad e intensidad, y un manejo nutricional –vía reposición de nutrientes– que permita mantener en el tiempo la productividad de los suelos.

[1] AAPRESID: Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa

Cambios en las propiedades edáficas por la adopción de la siembra directa como sistema

Existen números estudios e investigaciones sobre el impacto de implementar un "sistema" de siembra directa sobre las principales características edáficas. Sin intentar hacer un abordaje académicos del tema, en este apartado se explica en un lenguaje sencillo los cambios que ocurren en un suelo con varios años de siembra directa. Se aclara que dichas modificaciones sólo suceden cuando la no remoción se realiza en un marco de rotación de cultivos (con ajustada diversidad e intensidad) y una adecuado manejo de la nutrición vegetal y fertilización del suelo. Por el contrario, el aplicar la siembra directa con una visión simplista, cortoplacista, o como práctica eventual no permite acceder a estos beneficios.

En primer lugar, la implementación continua del sistema de siembra directa tiene como consecuencia el aumento en un volumen superficial del suelo de los tenores de materia orgánica. Según Moraes Sá (1999) en siembra directa deja de existir la capa arable dando lugar a otra capa enriquecida con residuos orgánicos, alterando la dinámica de la materia orgánica y el ciclado de nutrientes. Específicamente, la no roturación del suelo sumado al retorno de los rastrojos estimula a la formación de un volumen superficial de suelo enriquecido en materia orgánica. Es decir, que existe una estratificación de ese "plus" de materia orgánica, ubicada mayormente entre los 5 a 10 centímetros de profundidad, diluyéndose el efecto a mayor profundidad. Un dato no menor es que la contribución de los rastrojos es mayor en las fracciones más oxidables de la materia orgánica (también llamada materia orgánica joven o lábel); es decir, aquella que frente a un factor externo que favorezca una oxigenación violenta del suelo se pierde rápidamente.

En segundo lugar, el tipo de labranza ha demostrado tener un gran efecto sobre la distribución de los residuos y nutrientes en el suelo. Específicamente, la implementación de la siembra directa tiende a mejorar las propiedades biológicas, químicas y bioquímicas de los suelos, y cambia la composición, distribución y actividades de las comunidades microbianas (Montero y Sagardoy, 2001). Estos trabajos demuestran que bajo condiciones de siembra directa y rotación de cultivos existe un efecto positivo sobre la microbiología del suelo superficial. Específicamente

hay un aporte adecuado en cantidad y calidad de residuos orgánicos, que además de promover aumentos en los contenidos de materia orgánica, estimulan a aumentos significativos de los niveles de carbono de la biomasa microbiana. A ello se suma que los suelos con mayor antigüedad en siembra liberan menores niveles de dióxido de carbono. Esto sugiere una protección de la materia orgánica contra el ataque microbiano, favoreciendo el secuestro de carbono en el suelo (Montero y Sagardoy, 2001).

Finalmente, el mayor, más rápido, y evidente impacto de la adopción de la siembra directa sobre las propiedades del suelo se da en la porosidad edáfica. Según Gil (2001), de todas las propiedades del suelo, la porosidad es tal vez la más fácil, frecuente y ampliamente alterada por las operaciones de labranza o manejo sin laboreo. De aquí se desprende entonces, que el conocimiento del funcionamiento estructural del suelo, y de cómo se puede alterar y modificar es de altísima importancia en sistemas agropecuarios. En el caso específico de la siembra directa, la no remoción, la descomposición de raíces y la deposición de residuos orgánicos en superficie favorece a la regeneración permanente de poros estables. A ello se suma la acción de lombrices, gusanos e insectos en general con la construcción de galerías. Estos macroporos –a diferencia de los generados por la labranza– son continuos, menos tortuosos y más estables; siendo responsables del rápido ingreso y movimiento del agua en el suelo, de favorecer su aireación y de brindar un hábitat favorable para el crecimiento de las raíces.

Esta mejora en las propiedades físicas del suelo, sumado a la presencia de cobertura en superficie permite hacer un uso más eficiente del agua, un bien cada vez más preciado. Específicamente, un suelo con cobertura y sin remoción disminuye la escorrentía superficial y los riesgos de erosión asociados, lo cual da más tiempo para que el agua ingrese al perfil del suelo. Sumado a ello, la macroporosidad generada permite un rápido drenaje (en función a la textura de cada suelo) facilitando el almacenaje en todo el volumen de suelo explorable por las raíces de los cultivos. Finalmente, la presencia de cobertura disminuye las pérdidas de agua por evaporación directa, y protege a la estructura del suelo del impacto de las gotas de lluvia. Todo redunda en más agua disponible para los cultivos y menos pérdidas; en síntesis un uso más eficiente del recurso generalmente más escaso, el

agua.

No menos importante es el aporte que la siembra directa hace en la creación y captura de valor en términos económicos. Específicamente, la adopción de este sistema de producción – visto con un enfoque amplio y sistémico – permite subir los pisos de rendimientos mínimos (brindando mayor estabilidad en la producción), y a la vez permite subir los rendimientos máximos (aprovechando los años con mejores precipitaciones). Todo ello, en un contexto de disminución o mantenimiento de los costos productivos, comparado con sistemas en convencional. El resultado final es una mayor rentabilidad para las empresas que adopten esta tecnología. Todos estos resultados quedan finalmente evidenciados en el aumento del PBI agropecuario (Gráfico 1); dando evidencia de la creación de valor económico de la siembra directa como sistema; aclarando que junto al crecimiento de la superficie en siembra directa se produjo la aparición de otras innovaciones incluidas mayoritariamente en este sistema que apalancan este efecto (Gráfico 2).

Siembra directa como herramientas versus como sistema: Ejemplos teóricos.

Para una mejor compresión de estos conceptos resulta interesante analizar algunos ejemplos. El primer caso propuesto es analizar a un productor que realiza monocultivo de soja. Como quedó explicitado en párrafos anteriores, sólo cumple con la condición de no arar, pero tendrá un suelo desnudo, sin cobertura, y con deficiente drenaje producto de una disminución de la porosidad. El hecho de tener un único cultivo por año, de escasa cantidad de aporte de rastrojos hace que el suelo tenga una cobertura muy baja. Sumado a ello, la calidad de ese rastrojo (dada principalmente por su relación C/N) hace que su duración temporal sea baja. En consecuencia, la mayor parte del año, el nivel de cobertura de suelo estará por debajo del 50%. Por otro lado, las raíces de este monocultivo siempre explorar el mismo volumen de suelo y generan por su descomposición un único tipo de poro. La combinación de baja cobertura superficial y escasa capacidad de regeneración de poros hace que el ingreso y drenaje del agua sea deficiente.

Ahora, si ese campo ingresa a un esquema de rotación, con inclusión de trigo y cebada en invierno y maíz y soja en verano, se puede aspirar a revertir la situación negativa

descripta. Por un lado, al incluir gramíneas (trigo, cebada y maíz) y aumentar la frecuencia de cultivos, el volumen de rastrojo aportado crece sustancialmente; tratándose, además, de un rastrojo de menor velocidad de descomposición dada su alto contenido en lignina e hidratos de carbonos estructurales. La consecuencia, será una mayor cobertura del suelo y más duradera. Sumado a ello, los sistemas radiculares de las gramíneas son muy abundantes y en cabellera, a lo que se suma la capacidad exploratoria en profundidad diferencial de cada especie. Al ir descomponiéndose las raíces van reconstituyendo la porosidad perdida, lo cual mejora el drenaje del agua y redunda en un mejor ambiente para el desarrollo de los cultivos siguientes. Finalmente, para que las gramíneas produzcan granos y rastrojos (incluidas las raíces) de manera importante, es necesario ajustar la estrategia de fertilización, de manera de aportar y reponer los nutrientes que se extraen todos los año con los granos. Se entra así en un círculo virtuoso de mayores rendimientos y mejora de la fertilidad edáfica perdida. Y en definitiva, sólo así se accede a los beneficios del sistema de siembra directa; quedando en claro que no basta con no labrar el suelo, sino que también hay que mantenerlo cubierto. Y para ello es fundamental, acompañar al no laboreo con prácticas como la rotación de cultivos y el manejo de la nutrición de cultivos y del suelo.

Otro ejemplo que ayuda a comprender la complejidad del sistema consiste en analizar el impacto de realizar un laboreo ocasional o de salirse del esquema de rotaciones. Si se retorna a una situación de monocultivo sin remoción, poco a poco caerá la cobertura, y el suelo vuelve a estar desnudo expuesto a la erosión hídrica y eólica. A ello se suma que el volumen de raíces aportadas anualmente cae y se empieza a perder porosidad en el suelo, disminuyendo el drenaje. Pierde el ambiente y pierde la producción. Otra situación semejante se da, si por algún motivo se vuelve a introducir la arada como componente del sistema productivo, por más ocasional que sea. Si algunos de los cultivos de la secuencia reciben recurrentemente la preparación de la cama de siembra vía el refinamiento del suelo por labranzas convencionales, se desencadena el siguiente proceso:

a) Luego de cada labranza se producirá una oxigenación violenta del suelo que estimulará la mineralización de la materia orgánica. Como una importante proporción es lábil rápidamente se oxidará, dando como resultado una disminución de los tenores

de materia orgánica en el suelo.

b) La cobertura aportada por los rastrojos disminuirá drásticamente con los perjuicios en protección del suelo, al igual que su efecto sobre el mantenimiento de la humedad.

c) El sistema de macroporos continuos que habían sido generados por la actividad de raíces, lombrices e insectos son destruidos (producto de cada arada) y reemplazados por espacios no continuos e inestables ocasionados por las labranzas con consecuencias negativas sobre la dinámica de ingreso y movimiento de agua en el suelo.

d) Se afectará marcadamente la estabilidad del ambiente edáfico, con variaciones bruscas de temperatura, humedad y oxígeno, lo cual afectará a las poblaciones de microorganismos del suelo.

Y lo peor, es que toda la ganancia en materia orgánica, porosidad, estabilidad estructural, y biodiversidad edáfica que se había logrado con años de implementar un sistema de siembra directa se derrumba rápidamente y costará varios años recuperarla.

Esta descripción y análisis dan una rápida pero clara idea de los beneficios de utilizar a la siembra directa, no como práctica eventual o con visión simplista, sino con un enfoque sistémico.

El “sistema de siembra directa” puso en marcha un nuevo paradigma en la agricultura, que promete ayudar a superar el problema de la erosión y degradación de los suelos. Al estado del conocimiento actual, se vislumbra como la alternativa productiva que mejor conjuga los intereses-muchas veces contrapuestos – de alcanzar una producción económicamente rentable para las empresas, ambientalmente sustentable, y socialmente aceptada. Sin embargo, se accederá a todos los beneficios siempre que se comprenda la complejidad de los agroecosistemas en los que el productor trabaja, y se respeten los tiempos de los ciclos biológicos por sobre las urgencias que exige la rentabilidad inmediata.

Adopción mundial de siembra directa.

Se estima que la siembra directa -considerando todas sus acepciones- se realiza en

más de 90 millones de hectáreas a nivel mundial. Aproximadamente, el 45 por ciento de esta tecnología se practica en América Latina, el 41 por ciento en los Estados Unidos y Canadá, el 10 por ciento en Australia y el 3,6 por ciento en el resto del mundo, incluido Europa, África y Asia (Derpsch y Benites, 2004).

A pesar de ser el país con mayor superficie en siembra directa, es interesante notar que en Estados Unidos este sistema apenas cubre el 21 por ciento del área agrícola cultivada. En Brasil, la SD representa aproximadamente el 50 por ciento, y en Argentina y Paraguay el 60 por ciento o más. Es interesante destacar que en más del 90 por ciento del área cultivada en SD en Brasil, Argentina, Bolivia, Paraguay y Australia, se la realiza de manera permanente; es decir, sin la presencia ocasional de labranzas. En tanto, que ello ocurre sólo en el 25 por ciento de la superficie en SD de Estados Unidos (Derpsch y Benites, 2004).

En América del Sur, se puede afirmar que la SD es la tecnología más importante adoptada en el MERCOSUR ya que a inicios de la década de 1970 el área en SD era irrelevante, y el 1999 ya era usada en 20 millones de hectáreas (Ekboir, 2001). En Argentina las últimas estimaciones sobre superficie en siembra directa arroja un total de 18 millones de hectáreas (Aapresid, 2007. Comunicación personal). Es decir, que el 25% de la siembra directa mundial se encuentra en Argentina. Para Javier Ekboir (2001) en Argentina durante la década del 90 se produjeron cambios en que facilitaron la difusión de la siembra directa. Específicamente, a partir de 1993 se dieron 4 factores que contribuyeron a este fenómeno: el paquete tecnológico (maquinaria, herbicidas, y fertilizantes) estaba finalmente adaptado a las condiciones imperantes en la región pampeana; el precio del glifosato – insumo estratégico para la siembra directa - cayó de 40 dólares a comienzo de los 80 a menos de 10 dólares por litro de producto formulado en 1992; Aapresid desarrolló un programa de difusión muy eficiente, y las condiciones económicas luego del paquete de estabilización redujeron los márgenes de ganancia de los productores agropecuarios, forzándoles a adoptar tecnologías más eficientes (Ekboir, 2001). Así la superficie en siembra directa paso de unas pocas hectáreas a fines de los ´70 a mas de 16 millones en 2003 (Tabla 1).

Sin embargo, las estadísticas argentinas pueden ser un tanto engañosas.

Específicamente de las 18 millones de hectáreas contabilizadas como “siembra directa”, algo más del 50 por ciento corresponde a hectáreas cultivadas bajo una visión simplista, que solo la toma como una herramienta tecnológica puntual (Romagnoli, 2005; comunicación personal). De allí que instituciones como Aapresid y el INTA se esfuerzan por difundir no sólo la siembra directa sino el conjunto de BPA´s asociadas que debe realizarse para acceder a planteos sustentables.

La rotación de cultivos

Otra de las BPA´s de conocido efecto positivo sobre la conservación del ambiente y el aumento de la productividad es la rotación de cultivos. Se entiende por rotación a la alternancia de diferentes cultivos en el tiempo y el espacio; esto es cambiar diferentes especies vegetales en un mismo lote a través de los años, y a la vez cultivar diferentes especies en distintos lotes de un establecimiento productivo durante la misma campaña.

El realizar rotación de cultivos, implica una planificación de la secuencia a implantar en cada ambiente en particular. Por lo tanto, deberán considerarse no solo objetivos inmediatos, sino además otros de largo plazo; de manera que la secuencia de cultivos produzca efectos favorables en el sistema, proporcionando mayor estabilidad de producción, aumento de la capacidad productiva del suelo y el consecuente aumento de la rentabilidad en el sistema agrícola como un todo.

Así diseñada y ejecutada la rotación de cultivos presenta ventajas desde el punto de vista agronómico y empresarial. Específicamente, permite una diversificación de los riesgos productivos, ya que las condiciones ambientales pueden ser desfavorables para un cultivo, pero es poco probable que lo sea para los demás cultivos integrantes en la rotación, que están sembrados en otros lotes. Se logra así disminuir el riesgo medio de la actividad, máxime si ello se combina con estrategias de coberturas de precio y climáticas (Lorenzatti et al, 2003).

Según Calegari (1998) los esquemas rotacionales dependen de la región en cuestión, del tipo de suelo y clima, del manejo realizado, de las características de los lotes y de la infraestructura de la propiedad. Por ejemplo, en áreas caracterizadas por bajos tenores de materia orgánica la rotación de cultivos podría apuntar a la mayor adición de compuestos

que presenten cadenas carbonadas más complejas, con mayores tenores de lignina, celulosa y hemicelulosa, para aumentar esos niveles. Al mismo tiempo los cultivos seleccionados tendrán que adaptarse a las condiciones específicas de fertilidad de cada lote. Otra situación puede darse cuando el suelo presenta un elevado índice de desagregación de las partículas. En esta situación podría priorizarse la inclusión de gramíneas en la rotación, cuyo sistema de raíces fasciculadas promueve mayor agregación y estructuración del perfil. Del mismo modo, ambientes con problemas de compactación leve o media deberán recibir alternadamente plantas con raíces pivotantes con potencial de descompactación y otras con en cabellera, para revertir rápidamente la situación adversa (Calegari, 1998). Estos ejemplos sirven para ilustrar que la secuencia de cultivos es una excelente herramienta de manejo que puede utilizarse con el propósitos específico para revertir situaciones adversas o bien para mejorar o mantener la productividad del recurso suelo.

Otra de las ventajas agronómicas de la alternancia (espacial y temporal) de cultivos es el efecto inhibitorio sobre muchos patógenos. Es decir, que el agente causal de enfermedad al no encontrar el hospedante adecuado (planta a la cual infectar) ve interrumpido su ciclo y no tiene oportunidad de prosperar, disminuyendo la cantidad de inóculo presente en el lote. Con las malezas y los insectos ocurre algo similar. Al ir modificando anualmente el ambiente estos organismos no encuentran un nicho estable que permita un aumento importante de su densidad poblacional. En consecuencia, malezas y plagas se mantienen en niveles que no comprometen el éxito del cultivo con un manejo integrado. Ello se debe complementar con el concepto de rotación y mezcla de principios activos de diferente mecanismo de acción tanto en herbicidas como en insecticidas (Lorenzatti et al, 2003).

Desde el punto de vista de la fertilidad química de los suelos, las rotaciones hacen un uso balanceado de nutrientes, comparado con el monocultivo, evitando desequilibrios químicos de importancia. Si ello se complementa con una fertilización que contemple las diferentes necesidades de cada cultivo, habrá respuestas económicas favorables y se mantendrá el potencial productivo de los suelos.

Las rotaciones también influyen en las condiciones físicas y bioquímicas del suelo. En el aspecto físico, los distintos sistemas radiculares de los cultivos exploran diferentes

estratos del perfil, permitiendo una colonización del suelo con raíces, de diferente arquitectura. Debido a esto, cada tipo de raíz genera una clase determinada de poros, los cuales según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso del agua al perfil, almacenamiento, o funciones mixtas. Al descomponerse las raíces por actividad de los microorganismos quedan formados poros, los cuales presentan estabilidad y continuidad espacial, favoreciendo una buena dinámica de aire y agua (Lorenzatti et al, 2003). Respecto a los aspectos bioquímicos, la rotación de cultivos favorece obtener un balance neutro o positivo de carbono, comparado con el monocultivo.

En el plano biológico las ventajas de la rotación de cultivos son también evidentes. Específicamente, en los primeros centímetros del suelo existe una gran actividad y diversidad biológica responsable en buena parte de la mineralización, formación y reciclado de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes. La rotación de cultivos con los diferentes aportes en cantidad y calidad de rastrojo brinda el sustrato del cual se nutrirán los microorganismos, haciendo que exista un equilibrio de sus poblaciones similar a lo que ocurre en ambientes naturales; aunque con predominio de otras especies adaptadas a los agroecosistemas.

Ajuste de la intensidad de la rotación. Otro aspecto importante al plantear la rotación es ajustar su intensidad a la realidad climática y productiva de cada zona, principalmente a la disponibilidad de agua. La intensidad hace referencia a la cantidad de cultivos en un período de tiempo. La rotación será más intensa cuantos más cultivos se realicen en un número determinado de años. Hay que encontrar la intensidad adecuada, ya que si la misma es baja se estarán desaprovechando oportunidades de obtener mayor rentabilidad y no se utilizaría toda el agua almacenada. Por el contrario, si la intensidad es excesiva los riesgos productivos serán altos, ya que para las condiciones promedio de la zona el agua no será suficiente para obtener altas producciones en todos los cultivos (Lorenzatti et al, 2003). En definitiva, la intensidad de rotación es la herramienta para ajustar la secuencia de cultivos a la oferta ambiental. Un buen ajuste de la intensidad de rotación permite ser eficientes en el uso de recursos, maximizando la producción en función a la oferta ambienta; lo cual también es esperable que redunde en mejores resultados económicos para la empresa.

Por ejemplo, para la región de Monte Buey (sudeste de Córdoba), Romagnoli

(comunicación personal) comparó dos esquemas rotacionales, estándar e intensivo, incorporando un factor extra de análisis: el manejo de la nutrición. Específicamente, evaluó una rotación típica trigo/soja-maíz-soja de primera, versus una rotación intensiva basada en dobles cultivos anuales incluyen trigo y cebada en invierno, en combinación con cultivos de segunda como sorgo, maíz, girasol y soja. Mientras la rotación estándar tiene una intensidad de 1,33 (resultando de dividir cuatro cultivos en tres años), la intensiva tiene una intensidad igual a 2 (dos cultivos por año). A su vez cada rotación posee diferentes tratamientos de fertilización con N, P, S, Ca, Mg y micronutrientes. Luego de 9 años, la rotación estándar (con 11 cultivos realizados) sin fertilización tuvo una producción promedio anual de 5500 kg/ha; en tanto que la fertilizada ascendió a 8800 kg/ha. Pero lo más impactante es el efecto de la intensificación de la rotación. Así, mientras la rotación intensiva (14 cultivos en 9 años) sin fertilizar tuvo producciones promedio anuales de 5000 kg/ha; el tratamiento con fertilización completa tuvo rendimientos de 10.000 kg/ha. Es decir, el doble de la rotación estándar sin fertilizar y 12% más que la rotación estándar fertilizada. A lo que hay que sumar un impacto positivo sobre el recurso suelos por aumento de materia orgánica. Queda en claro que rotación y fertilización son herramientas que permiten aumentar la productividad y conservar el ambiente.

Cultivos de cobertura. Dentro del tema rotación de cultivos, resulta clave mencionar a los cultivos de cobertura y a los intercultivos como dos expresiones tecnológicas que han retomado una dimensión importante en muchos planteos tecnológicamente de avanzada en el campo argentino.

En el caso específico de los cultivos de cobertura, se trata de cultivos que se siembran en una ventana de tiempo y espacio, normalmente no ocupado por otro cultivo de cosecha. El CC no se realiza con el objetivo de obtener granos; por el contrario, su inclusión apunta a mejorar condiciones edáficas, esperando que ello redunde en mejores condiciones y rendimientos para los cultivos siguientes en la rotación. Al respecto, un interesante caso es el conducido por Rodolfo Gil especialista del INTA Castelar en ambientes del norte argentino, puntualmente en el Chaco semiárido y Formosa. Esa vasta región del país se caracteriza por tener una evapotranspiración potencial alta, lo cual hace que sea una zona semiárida a pesar de llover 800 milímetros; con una evapotranspiración potencial anual superior a los 1500 milímetros. El desafío que se planteó Gil fue el de

aumentar la eficiencia de uso del agua – esto es lograr mayor producción de biomasa por milímetro de agua - en un contexto de sustentabilidad ambiental de la producción; para lo cual la rotación fue la herramienta clave. El planteo rotacional evaluado por Gil apunto a consumir la mayor cantidad de agua disponible, lo cual derrumba viejos conceptos. Por mucho tiempo se sostuvo que para almacenar agua era importante tener largos períodos de barbechos limpios (sin malezas). Bajo este razonamiento durante este período sin cultivos el suelo se iba recargando con las lluvias, llegando con el perfil bien provisto de agua al momento de la siembra del siguiente cultivo. Según Gil (2007; comunicación personal) lo que no se tenía en cuenta era la eficiencia de ese barbecho; o dicho de otra manera, cuanta agua se perdía por evaporación directa durante el barbecho. Según sus experiencias, las eficiencias en la región norte en lotes con siembra directa pero mal rotados – y por ende con poca cobertura – no supera el 20%. Esto significa que se pierden 8 de cada 10 milímetros llovidos. En consecuencia, la estrategia que se plantearon fue transformar esos milímetros improductivos en biomasa, incluyendo cultivos de cobertura (CC) en ventanas de tiempo normalmente desocupadas. Como ventaja adicional, al secar químicamente el CC se mejora la captación e ingreso al suelo del agua de lluvia; y por otro lado, al haber alta cobertura se corta la evaporación. Los resultados muestran que con CC hay más agua para el cultivo siguiente, con iguales o mejores rindes, y principalmente con aumento significativamente mayores de carbono al suelo.

Finalmente, el monitoreo y control continuo de las áreas con rotación de cultivos es fundamental para el propio éxito del sistema. Así las especies a ser incluidas en la rotación deberán ser criteriosamente seleccionadas, de acuerdo con las condiciones ambientales y de cobertura de suelos prevalecientes. Resulta lógico entonces, pensar en secuencias más o menos estables ajustadas a la oferta ambiental, apuntando a maximizar la producción y mantener la productividad del suelo. Sin embargo, ello no debe atar al productor, como si fuese una receta inamovible. Por el contrario, más que establecer una secuencia determinada y mantenerla indefinidamente en el tiempo, es preciso censar y monitorear las condiciones de suelo, a lo largo de los años, para asegurar el éxito de un sistema de rotación de cultivos. Del mismo modo, es importante ir testeando y ajustando nuevas secuencias, inclusión de nuevos cultivos o diferentes ventanas de cultivos, en función a los avances en el conocimiento y en las nuevas oportunidades de negocios.

La rotación de cultivos es una de las principales prácticas agrícolas con beneficios ambientales conocidos y comprobados; siendo deseable que se la incluya en todo listado o guía de BPA´s.

Manejo integrado de plagas (MIP)

El uso de plaguicidas con fines de reducir los daños causados por plagas en la actividad agrícola tuvo un crecimiento exponencial en las últimas décadas, creándose una dependencia casi total en los métodos químicos de protección. Los efectos colaterales negativos del uso desmedido de los plaguicidas están afectando la salud humana en forma de intoxicaciones agudas y crónicas en las poblaciones. Los efectos sobre el ambiente también son serios, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. A partir de la intensificación de las fallas del enfoque unidimensional (control químico) se reconoció que era necesario un enfoque multidimensional con una visión agroecológica del problema. Este nuevo enfoque es representado por el Manejo Integrado de Plagas (MIP), que fue tal vez el primer gran logro en la operacionalización del enfoque sistémico en la producción agropecuaria (Cobbe, 1998).

En este contexto, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED) celebrada en Río de Janeiro en 1992, el MIP fue específicamente mencionado en la Agenda 21, capítulo 14, como forma eficiente para disminuir el efecto negativo de las actividades agrícolas sobre el ambiente, garantizando la continuidad del proceso de producción de alimentos y fibras. Específicamente, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) consiste en: "*la utilización de varias tácticas de manera ecológicamente compatible con el objetivo de mantener poblaciones de artrópodos, patógenos, nematodos, malezas y otras plagas, en niveles por debajo de aquellos que causan daño económico, al mismo tiempo que aseguran protección contra daños al hombre y al ambiente*" (FAO, 1998).

El MIP procura reducir los problemas fitosanitarios a través de la utilización de diversas tácticas, considerando factores económicos, sociales y ambientales, optimizando el control en relación a todo el sistema de producción de una especie cultivada. Las principales tácticas, utilizadas en combinaciones diferentes conforme la

situación de cada cultivo en cada localidad, incluyen los controles genético, filogenético, cultural, biológico, etológico, físico, legal y químico (Cobbe, 1998).

Respecto al usos de plaguicidas (manejo químico) la FAO (2002) sostiene que las "*BPA´s en el uso de plaguicidas incluye los usos recomendados oficialmente o autorizados a nivel nacional, en las condiciones existentes, para combatir las plagas de manera eficaz y confiable. Abarca una variedad de niveles de aplicaciones del plaguicida hasta la concentración más elevada del uso autorizado, aplicada de tal manera que deje el residuo más bajo posible*". Esta definición es por demás importante ya que contiene elementos fundamentales para poder desarrollar recomendaciones de BPA que sean aplicables por los productores.

En primer lugar, en un país como la Argentina donde la producción agropecuaria tiene mucha magnitud e importancia, es imprescindible el desarrollo de un sistema oficial de registro que asegure la calidad, efectividad e inocuidad de los productos fitosanitarios que se aplican sin perder de vista cuestiones fundamentales para la salud humana como son la toxicidad y los límites máximos de residuos tolerables en alimentos, así como la preservación del ambiente (ecotoxicidad).

Lentamente, se está cambiando el concepto de "eliminar" una plaga por el de "mantenerla por debajo del nivel de daño económico". Es imprescindible lograr que se utilicen productos provenientes de empresas reconocidas en el mercado, adecuados para controlar la plaga, maleza o enfermedad problema sin afectar al resto de las especies "no blanco" y realizar monitoreos a campo, previamente a la toma de decisión de aplicar alguna medida de control químico.

Con referencia al control químico convencional, es importante destacar el hecho de que, en los últimos años y, como resultado de los avances logrados en la investigación y el desarrollo de nuevas moléculas, éstas presentan niveles de toxicidad cada vez menores, se los aplica en concentraciones también menores y en lugar de tener un amplio espectro de control son cada vez más específicos, controlando sólo a las plagas objetivo sin afectar al resto.

En el caso de la protección de los consumidores, como resultado de la aplicación,

es fundamental considerar el tiempo de carencia del producto y de cada cultivo. Este es el tiempo mínimo que debe transcurrir entre la última aplicación de un agroquímico y el momento de cosecha, para que el nivel de residuos en los vegetales cosechados esté por debajo de las tolerancias admisibles. Los residuos son partes de un compuesto químico que después de su descomposición o degradación, se pueden encontrar en el suelo, agua, plantas, aire o alimentos. Los límites máximos de residuos admisibles, o tolerancias, son los niveles de residuos máximos permitidos por los organismos y las directivas nacionales e internacionales en los alimentos de consumo humano o animal.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el almacenamiento de los productos fitosanitarios que debe realizarse guardando todas las precauciones de seguridad necesarias como para prevenir efectos indeseados para las personas o para el ambiente. Debe existir algún sistema especializado que permita certificar, en los depósitos de productos fitosanitarios, el cumplimiento de estrictas normas de seguridad basado en estándares internacionales y de procedimientos de emergencias. En Argentina, CASAFE[2] está implementando el programa “Depósito ok”

Es también necesario establecer pautas adecuadas para la realización de un transporte seguro de estas sustancias que son potencialmente peligrosas, contemplando además todos los procedimientos a seguir en caso de accidentes (derrames o incendios).

Especial atención se debe poner en todos los temas relacionados con la salud del trabajador. En aspectos de prevención, es importante tener en cuenta que el peligro potencial de los productos fitosanitarios no desaparece con el uso de los elementos de protección personal, sino que debe ir acompañado de procedimientos de trabajo seguros. La política de prevención requiere del compromiso, capacitación y entrenamiento tanto del nivel gerencial como operativo de la empresa agropecuaria.

[2] CASAFE: Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes

También es importante la protección del ambiente, debiendo tenerse en cuenta que, para su preservación, se debe realizar una correcta calibración de los equipos de aplicación priorizando realizarla en las condiciones ambientales más favorables, así como contemplar el destino y tratamiento de las aguas residuales de una forma segura y ecológica y de la disposición final de los envases vacíos de agroquímicos. En Argentina CASAFE comenzó a implementar con buenos resultados un programa, denominado Agrolimpio, tendiente al reciclado de los envases de agroquímicos, lo cual es un importante avance en esta materia.

Es necesario conseguir una elevada eficiencia en las aplicaciones de productos fitosanitarios en todos aquellos tratamientos realizados a partir de decisiones agronómicas razonadas. Esta exigencia se debe basar en varios aspectos claves como son la minimización las dosis aplicadas por unidad de superficie cultivada, mejorando la distribución sobre el objetivo que se pretende proteger, la limitación de los efectos contaminantes de los tratamientos reduciendo las pérdidas por deposición de productos sobre el suelo o por desplazamiento lateral más allá de la superficie objetivo, acotar el riesgo que pueden representar para el aplicador las operaciones de pulverización, minimizar los niveles de residuos químicos sobre los productos agrícolas mediante la aplicación realizada de acuerdo a las instrucciones del fabricante y la implementación de todas las Buenas Prácticas de Aplicación de fitosanitarios, que engloban a las actuaciones anteriores.

El manejo racional de la nutrición vegetal y la fertilización edáfica

La región pampeana es definida a nivel mundial como una de las regiones más ricas del planeta, en donde se pueden realizar diferentes actividades agrícolas. Sin embargo el proceso de agriculturización que se asoció en un principio a una mecanización intensa, tuvo como consecuencia la pérdida de fertilidad de los suelos Hace veinte años, no se pensaba en reponer los nutrientes del suelo, porque supuestamente alcanzaba con la fertilidad natural de los suelos. La contracara es que en la actualidad hay un aumento en la frecuencia a la respuesta a nutrientes que por aquellas épocas no se pensaba en reponer (Salvagiotti, 2004).

Las altas tasas de exportación de nutrientes han provocado disminuciones dramáticas en los contenidos de materia orgánica y disponibilidad de los diferentes

nutrientes. Un buen método para evaluar la fertilidad química del suelo – y analizar si el manejo que recibe es compatible con su clasificación de recurso renovable - es el balance de nutrientes. Este se estima como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo (García, 2003). En Argentina, existen balances de nutrientes negativos para la Región Pampeana. Específicamente, en el período 1996-2001 se aplicó el 29%, 45%, 1% y 9% del nitrógeno, fósforo, potasio y azufre exportados por los cuatro principales cultivos - maíz, trigo, soja y girasol. Es importante tener en cuenta que este desbalance implica una remoción de nutrientes del suelo por un valor de U$S 1141 millones por año (García, 2003). En consecuencia, cualquier estrategia de fertilización que apunte a ser sustentable debe tener en cuenta el incorporar – al menos – los nutrientes que anualmente son exportados con los granos. Existiendo incluso situación en las cuales, la fertilización no sólo deba contemplar el balance cero de nutrientes, sino el balance positivo en alguno de ellos de manera de recuperar los perdido con años de expoliación de nutrientes del suelo.

Vista con este enfoque integral la fertilización de los cultivos no solo permitirán un mayor retorno económico en el corto plazo, sino que una planificación racional de la fertilización permitirá ir incrementando el nivel de nutrientes de más difícil reposición (Salvagiotti, 2004), compatible con un producción sustentable.

Fertilización y riesgo de contaminación de napas

La búsqueda permanente de una ajustada estrategia de fertilización no invalida que se tomen las precauciones necesarias para no caer en viejos errores, como lo es la contaminación de napa y acuíferos por un uso excesivo y poco eficiente de fertilizantes. A título de referencia el 40% de los condados en los Estados Unidos contienen niveles altos de nitratos en el agua y en un 10% el nivel es tan alto que el agua ya no se puede tomar (Solbrig, 2002).

En Argentina la contaminación de napas por un manejo ineficiente de la estrategia de fertilización es un tema poco estudiado. Sin embargo, existen reportes de contaminación de napas, principalmente con nitratos. Al respecto, es bueno señalar que el nitrógeno posee diferentes vías de pérdidas del sistema suelo, tales como volatilización, desnitrificación, y

lixiviación; siendo las dos primeras vías de baja magnitud y no explicarían las pérdidas totales de N (García et al, 1999; Sainz Rosas *et al.,* 2001). Es decir que la lixiviación sería el proceso más importante de pérdida de nitrógeno del suelo, con potencial riesgo de contaminación de napas. Al ser un nutriente móvil, el nitrógeno en forma de nitrato, si no es capturado y absorbido por las raíces de los cultivos puede llegar al agua subterránea, denominándose a este proceso lixiviación.

En Pergamino (Buenos Aires), el acuífero pampeano típico de ese partido, está poco contaminado con nitratos pese a estar ubicado en una zona de alta producción de granos (Andriulo *et al.,* 2002). Estos resultados probablemente se deban a las características edafoclimáticas y el sistema de cultivo implementado hasta el momento. Sin embargo, la agricultura intensiva reciente plantea interrogantes con respecto a la contaminación. En Balcarce, al sur de Buenos Aires, Costa et al (2002) encontraron que muchas muestras de agua obtenidas del acuífero freático de la Cuenca Alta del Arroyo El Pantanoso, superaban los límite aceptados de concentración de nitratos en agua para consumo humano, con una marcada variabilidad espacial y temporal. Las áreas con altas concentraciones de nitratos (> 10 mg l^{-1}), generalmente estaban localizadas en zonas agrícolas; en tanto que las menores lo hacían donde predominaba una ganadería extensiva (Costa *et al.,* 2002).

Analizando una región semiárida como La Pampa, Montoya *et al.(* 1999) realizaron diferentes estudios concluyendo que la fertilización con urea en altas dosis provocó aumentos de concentración de nitratos en las capas más profundas del perfil. Estos elevados contenidos de nitratos durante el barbecho podrían lixiviarse y atravesar la tosca por grietas, principalmente si se registran altas precipitaciones.

En 2003, Rimsky-Korsakov *et al.* encontraron que la cantidad de nitrato lavado fue similar en los suelos de Alberti (Hapludol típico) y Pergamino (Argiudol típico), y dependiente del régimen de lluvias y del rendimiento del cultivo; sin detectar efecto del riego complementario al cultivo. Los autores suponen que este proceso podría no ser continuo en el tiempo, sino que durante periodos secos hay acumulación de nitrato en el perfil y luego podría perderse durante los periodos húmedos. Finalmente, en el norte del país, específicamente en Santiago del Estero, Angella et al (2000) encontraron que la concentración de nitrato en el agua freática se mantuvo por encima del máximo aceptable

por el Código Alimentario Argentino (45 mg l^{-1} NO_3) durante toda la campaña del cultivo de algodón fertilizado y bajo riego.

Ahora bien, para que suceda el proceso de lixiviación de nitratos causante de la contaminación de acuíferos deben ocurrir dos condiciones simultáneamente, como son: la presencia de nitratos en la solución del suelo, y una cantidad suficiente de agua capaz de arrastrarlos hasta la profundidad de la napa. La presencia de nitratos puede darse tanto por el natural proceso de mineralización de la materia orgánica, como por el agregado de fertilizantes nitrogenados. A su vez existen factores como la permeabilidad y profundidad efectiva del suelo, su contenido de materia orgánica, el tipo e intensidad de laboreo, y el régimen de precipitaciones y riego que influyen sobre este proceso. Al respecto, suelos de textura gruesa, profundos y bien drenados, ubicados en zonas lluviosas tendrán más riesgo potencial de lixiviación. En el caso de la siembra directa, algunos trabajos indican que la presencia de canales (macroporos) estabilizados se convierten en espacios de flujo preferencial que pueden transportar la solución del suelo hasta la napa. A ello se suma la mayor disponibilidad de agua, por mejor captura y su mejor circulación.

Sin embargo, estos factores adversos pueden disminuirse con prácticas de manejo adecuadas. Específicamente, resulta muy apropiado tanto para la productividad de un cultivo, la eficiencia en el uso del recurso (en este caso nitrógeno) y el menor riesgo de contaminación, el hacer coincidir los momentos de mayor aporte de nitratos a la solución del suelo, con los de mayor consumo por parte del cultivo. De esta manera, se disminuye drásticamente la cantidad de nitratos disponibles libres en la solución del suelo, que potencialmente se pueden lixiviar. En tal sentido, prácticas como la fertilización en cuarta a sexta hoja en maíz son preferidas a la fertilización nitrogenada en presiembra o siembra. Del mismo modo, largos períodos de barbechos, más aún si el antecesor es un cultivo con rastrojos de baja relación C/N, favorecen la presencia de altas concentraciones de nitratos con riesgo de lixiviación. En este último caso, el ajustar la intensidad de rotación, con un cultivo más (ya sea para cosecha o CC) es una adecuada herramienta. Una vez más, resulta claro que la clave pasa por interpretar la oferta ambiental – sumada a la oferta externa vía insumos – y sincronizar la utilización de esos recursos. Tener agua y nitratos disponibles no está mal; lo perjudicial es no utilizarlos con los cultivos - convirtiéndolos en materia seca –

y dejar que se pierdan, con el riesgo adicional de la contaminación de napas, en el caso del nitrógeno. En consecuencia, una BPA´s resulta en ajustar oferta y demanda de nitrógeno de manera de maximizar la producción y minimizar los riesgos de contaminación. Al respecto, el ajuste de la rotación, y la estrategia de fertilización (principalmente el momento) resultan en factores críticos a considerar.

La importancia de la fijación biológica en el manejo nutricional

La incorporación de un plan racional de fertilización – que contemple no sólo la cantidad de nutrientes a aplicar, sino también su uso eficiente por los cultivos- en cada unidad de producción, es un desafío que deberá ser cumplido para acceder a una producción ambientalmente sustentable. Dentro de este contexto de manejo de la nutrición, está recobrando importancia en los últimos tiempos, la investigación y las prácticas a campo que en materia de fijación biológica de nitrógeno se están realizando. Por un lado, las investigaciones apuntan a mejorar la eficiencia de fijación de bacterias que asociadas a las leguminosas fijen nitrógeno del aire y lo incorporen en la biomasa vegetal. De esa manera, el nitrógeno del aire pasa a ser parte del pool nitrógeno orgánico del suelo, al descomponerse los rastrojos. En el terreno de la aplicación agronómica, varios productores de avanzada, están incorporando en sus esquemas rotacionales cultivos de cobertura de leguminosas, con el objetivo no solo de crear biomasa, favoreciendo el aporte de carbono y la cobertura del suelo, sino, principalmente, para fijar nitrógeno atmosférico e incorporarlo al suelo vía descomposición de residuos aéreos y subterráneos.

En tal sentido, el cultivo de vicia es una alternativa que apunta a consolidarse como antecesor de gramíneas estivales (principalmente maíz), reduciendo el aporte de nitrógeno vía fertilizantes sin que se resienta el rendimiento. Si bien se está en etapas de ajuste de esta tecnología, la misma apunta a consolidarse; ya que tiene la doble ventaja de disminuir los costos productivos sin resentir los ingresos, y por otro lado, bajar los niveles de fertilización disminuyendo los riesgos ambientales. Experiencias realizadas por Aapresid en zona núcleo muestran valores de producción de materia seca de entre 4000 a 6000 kg/ha de MS, con una concentración de nitrógeno entre 5 y 6,9%. Resulta interesante destacar que

este aporte se hace sin resentir la cantidad de agua disponible para el cultivo siguiente en la rotación. Evaluaciones realizadas en Zavalla, sur de Santa Fe, muestran una diferencia de sólo 23 milímetros de agua, en contra del CC de vicia versus el sector sin CC, a la siembra del maíz; lo cual puede considerarse casi despreciable frente al aporte de MS y nitrógeno que se realizó.

Queda evidenciada la existencia de información necesaria para abordar la temática de las BPA´s no solo desde una visión que contemple aspectos relacionados con la inocuidad del producto final como alimento, sino también desde una visión más amplia que incluya la gestión ambiental. En este sentido, sería auspicioso el desarrollo de esta nueva visión complementaria, que iría alineada con la implementación de sistemas de gestión ambiental con foco en los recursos naturales involucrados en la producción agropecuaria.

3. Las buenas prácticas agrícolas y el uso de indicadores de gestión productiva y ambiental: un nuevo abordaje con foco en la gestión del ambiente.

Actualmente existen conocimientos suficientes para confeccionar y utilizar indicadores que actúen como monitores y luces de alarma de las principales propiedades del suelo que se relacionan con su salud, y por ende con la sustentabilidad ambiental de la producción. Varios indicadores de sustentabilidad pueden brindar un panorama del comportamiento comparado de sistemas de producción contrastantes, y hacer inferencias prácticas a partir de ellos (Viglizzo, 2004a). Los indicadores podrían reunirse en una especie de tablero de comandos que le permita al productor o asesor ir monitoreando la evolución del suelo y su salud; pudiendo tener certeza a cerca del impacto del manejo agronómico.

Sumado a ello, existen fundamentos científicos probados que correlacionan valores de indicadores de salud del suelo con prácticas agronómicas. El conocimiento de la evolución de la calidad del suelo con determinadas prácticas agrícolas es necesario para planificar un uso y manejo sustentable del recurso natural suelo (Morón, 2005). Esas prácticas, que poseen un fundamento científico comprobable respecto a su impacto productivo y ambiental debieran ser difundidas mediante esquemas de extensión a los productores. Justamente se trata de las Buenas Prácticas Agrícolas.

Los indicadores

El concepto de sustentabilidad ha ido evolucionando con la sociedad; y con el lo han hecho los indicadores que intentan medirla. Sin embargo, desde hace unos años y con importancia creciente en la actualidad, se evidencia un alto interés en los problemas ambientales asociados a la producción primaria de alimentos, dentro de los cuales se destacan los referentes al recurso suelo (Doran & Parkin, 1994; Bezdicek et al, 1996; Cameron et al 1998). Es decir, que muchos de los indicadores de sustentabilidad ambiental, apuntan a medir la evolución de la salud o calidad edáfica. En este sentido, la calidad edáfica se define como la capacidad que el suelo posee de funcionar dentro de un ecosistema sosteniendo la productividad biológica, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud animal y vegetal (Doran & Parkin, 1994; Doran & Zeiss, 2000). En consecuencia, un sistema de producción agropecuario que quiera ser rentable y sustentable ambientalmente, deberá al menos apuntar a mantener la calidad edáfica.

Cambios en propiedades del suelo como contenido de materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, actividad biológica y capacidad de almacenaje de agua, influyen en forma directa sobre su calidad (Batie et al., 1993). Por lo tanto, puede pensarse en seleccionar indicadores que reflejen cambios en las propiedades del suelo, con el fin de utilizarlos como monitores de la salud o calidad del suelo (AAPRESID, 2005). Resulta evidente, en consecuencia, la necesidad que desde la ciencia se generen estos indicadores y que sean fácilmente interpretables incluso por personas de ámbitos no sólo productivo, sino también político para que sean el basamento de la toma de muchas de sus decisiones respecto al manejo sustentable de los recursos. Productores, asesores agronómicos, organismos crediticios, instituciones certificadoras, y políticos son potenciales usuarios de indicadores que permitan monitorear los cambios en recurso suelo (Morón, 2005). Priorizar parámetros, relacionarlos con las funciones del suelo y fijar valores críticos en los cuales se indique qué suelo y que funciones del ecosistema están siendo dañadas es el excitante desafío de este nuevo campo de la ciencia que está siendo explorado (Morón et al, 2004).

Un indicador de calidad de suelo debe estar basado en conocimiento científico, y no en conjeturas, observaciones o vivencias (AAPRESID, 2005). Además, debe ser una expresión cuantitativa que permita ubicar un problema en relación a sus umbrales críticos

(Viglizzo, 2004 a). Para ser útiles, los indicadores de la calidad del suelo deberían reflejar cambios recientes en su manejo (Montero & Sagardoy, 2001). En términos generales, los indicadores deben tener sensibilidad para detectar cambios, capacidad de integrar objetivos, facilidad de medición e interpretación y ser accesibles a muchos usuarios (Morón, 2005).

En el caso específico de la calidad edáfica, muchos reportes científicos mencionan a la materia orgánica y sus fracciones como al indicador de suelo por excelencia. Del mismo modo, la disponibilidad de nutrientes, la biomasa y actividad microbiana, y parámetros físicos como la tasa de infiltración y lixiviación, la capacidad de almacenaje de agua, y el índice de erosión, tienen el potencial de ser buenos indicadores (AAPRESID, 2005). Recientes reportes científicos están desarrollando nuevos indicadores, que si bien están vinculados con los anteriores, buscan tener mayor sensibilidad frente a los cambios en el manejo productivo (Morón et al, 2004).

La evidencia científica actual muestra que el área de indicadores de calidad de suelo está en activo desarrollo, lo cual reviste gran importancia en el camino del manejo sustentable de los recursos naturales en la producción de alimentos; ya que son los insumos básicos para fundamentar las buenas prácticas de manejo asociadas a la producción.

En Argentina existen diferentes estudios en esta temática; correspondiendo todos a investigaciones realizadas por el sector público. Moscatelli & Sobral (2005), basados en la metodología del Instituto de Calidad de Suelos, del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), están evaluando y seleccionando indicadores de calidad de suelo para distintas series de suelos representativas de la región pampeana. También en Argentina, Viglizzo (2002) ha desarrollado un modelo denominado Agro-Eco-Index para el diagnóstico de la gestión ambiental de establecimientos agropecuarios, el cual propone el uso de once indicadores: consumo de energía fósil, eficiencia en el uso de energía fósil, balance de nitrógeno, balance de fósforo, riesgo de contaminación por nitrógeno, riesgo de contaminación por fósforo, riesgo de contaminación por plaguicidas, riesgo de erosión de suelos, riesgo de intervención de hábitat, cambios en el stock de carbono del suelo, balances de gases de efecto invernadero (Viglizzo, 2002). Por su parte, Casas (2004) describe, en un trabajo publicado en las actas del XII Congreso de AAPRESID, algunos parámetros a ser tenidos en cuenta como indicadores de la calidad del suelo: índice de

erosión; índice de sellado; balance de nutrientes; lixiviación de nutrientes y plaguicidas; y balance de materia orgánica (Casas, 2004).

Queda evidenciado que existen conocimientos suficientes para confeccionar y utilizar indicadores que actúen como los monitores y luces de alarma de las principales propiedades del suelo que se relacionan con su salud, y por ende con la sustentabilidad ambiental de la producción. Varios indicadores de sustentabilidad nos pueden brindar un panorama del comportamiento comparado de sistemas de producción contrastantes, y hacer inferencias prácticas a partir de ellos (Viglizzo, 2004 a). Los indicadores podrían reunirse en una especie de "tablero de comandos" que le permita al productor o asesor ir monitoreando la evolución del suelo y su salud; pudiendo tener certeza a cerca del impacto del manejo agronómico (Lorenzatti, 2005).

Finalmente, Viglizzo (2004 a) aborda el tema de los indicadores de sustentabilidad como instrumento de decisión que también ayudan a explicar o interpretar procesos de acuerdo a la calidad de la gestión ambiental realizada (trazabilidad agro-ecológica). En consecuencia, una empresa rural puede someterse a una auditoría social voluntaria que mejora su imagen ante la sociedad (Viglizzo, 2004 a). Y, en una perspectiva más avanzada, el indicador se puede convertir en una herramienta para certificar productos y procesos, y también para crear marcas o denominaciones de origen; confiriendo al producto un valor comercial extra, actual o potencial. A una escala mayor, los indicadores permiten también inferir la oferta de servicios económicos y ambientales que afectan a toda la sociedad (Viglizzo, 2004 a).

4. La certificación ambiental de la agricultura, como alternativa de resolución del conflicto entre producción y ambiente

La implementación de BPA´s, sumado a la existencia de indicadores capaces de medir su impacto sobre el ambientes, abre una nueva oportunidad: la de de diferenciar positivamente el proceso de producción de alimentos y energía.

En el terreo de los agronegocios, la diferenciación de productos y procesos es una herramienta cada vez más utilizada por las empresas para demostrar y exponer públicamente su compromiso de cumplir con las exigencias de los consumidores. A su vez,

un sistema de gestión de calidad bien implementado – esto es que realmente forme parte de la cultura de la entidad que lo adopte – genera valor por hacer más eficientes los procesos; disminuyendo costos y permitiendo detectar e implementar oportunidades de mejora que redunden en mayor productividad y mejora de la calidad.

Los protocolos y normas – partes constitutivas de sistemas de gestión de calidad - son instrumentos consensuados por las partes interesadas, y que sirven de orientación a los productores u organizaciones empresariales y que además son pasibles de auditorías que permiten realizar un dictamen técnico denominado certificación (Viglizzo, 2004b). La certificación es el reconocimiento explícito de que un sistema, proceso, producto o servicio cumple con los requerimientos de una determinada norma, estándar o protocolo. Este reconocimiento lo realiza una entidad independiente - llamada tercera parte, que en general está acreditada en un organismo de acreditación (Viglizzo, 2004 b).

En esta línea, en Argentina, Aapresid está desarrollando un sistema de gestión de calidad ambiental y productiva en agricultura de conservación (SGC-AC). Se trata de un esquema que brinda herramientas para la realización de una agricultura - dicho en términos amplios, e incluyendo a la ganadería – de manera más precisa y responsable ambiental y productivamente. A través de protocolos de BPA´s e indicadores de calidad de suelos se intenta describir y monitorear las acciones y conductas productivas; permitiendo además certificar el proceso de producción agropecuaria.

El SGC-AC tiene la doble función o utilidad de:

- brindar herramientas para una más profesional gestión agronómica de la producción agropecuaria; ya que a través del registro ordenado de información y el análisis de indicadores de calidad edáfica brinda nueva información que agrega valor a la gestión.
- mostrar al resto de la sociedad como son los procesos de producción de alimentos y su impacto sobre el ambiente; permitiendo capturar el valor de la externalidad positiva que la AC hace sobre el ambiente. Es una manera precisa y estandarizada de someter a los procesos productivos a una auditoría; que es esperable que genere utilidades adicionales -mejores precios o acceso preferencial a mercados- al ser reconocida socialmente.

La certificación ambiental del proceso productivo de siembra directa (como máxima expresión de la agricultura de conservación) intenta ser un mecanismo de información resumida y precisa que sea la base para una mejor gestión agronómica (productiva y ambiental), y a la vez le permita al consumidor conocer las características del proceso productivo, a través de conocimientos de basamento científico que fueron mensurados a campo.

Desde una visión más amplia, y que involucra a la sociedad en su conjunto, la certificación tiene la doble ventaja de: 1) promover la adopción de un sistema productivo superador – comparado con el reinante, basado en labranzas convencionales- y, 2) exponer a las empresas que lo adopten a una auditoria social del proceso de producción de materias primas agropecuarias.

En el plano operativo y de implementación del sistema de certificación propuesto se dan una serie de circunstancias que hacen factible implementar lo en el contexto actual:

1. Internacionalmente, Argentina en general y Aapresid en particular son vistas como referentes en agricultura de conservación y organización innovadora y referente de una nueva agricultura, respectivamente. Ello facilita la interacción con otras organizaciones de Agricultura de Conservación (AC) en el mundo, las cuales orgánica y conjuntamente podrán actuar como difusores mundiales del proyecto; otorgándole proyección global.
2. La siembra directa es un fenómeno de innovación reciente, con gran introducción en el sistema agropecuario argentino. Ello, junto al desarrollo de Aapresid como organización creíble y referente en el plano tecnológico, y al aporte de instituciones públicas (INTA y Universidades) y privadas de prestigio se convierten en el respaldo de imagen necesario para el posicionamiento y liderazgo de un nuevo esquema de certificación en el plano nacional.
3. Argentina es un país en el cual el sector agroalimentario concentra una importante porción de la generación de divisas; con una clara conducta exportadora de agroalimentos. En consecuencia, un sistema de certificación en agricultura, iría en línea con la estrategia del sector - sin que signifique ir en desmedro del desarrollo de otro sector de la economía nacional – ayudando a generar una “Marca País” en el

contexto global.

4. Existen experiencias previas exitosas en la implementación de esquemas de producción relacionados a la producción primaria, lo cual es un antecedente de trascendencia, y asegura un cierto grado de conocimiento en el consumidor respecto a los sistemas de certificación de productos y procesos en actividades primarias, relacionadas con el uso de recursos naturales.
5. Existen tanto los conocimientos científico/técnicos para el uso práctico de BPA´s e indicadores de salud de suelos, desarrollados por organismos de investigación públicos de prestigio reconocido nacional e internacional; como así también aquellos conocimientos de *management* y negocios necesarios para montar el sistema de certificación.
6. A nivel empresarial agropecuario, existen crecientes demandas de conocimientos y tecnologías que permitan hacer una gestión agronómica y ambiental más profesional y menos intuitiva. Específicamente, las empresas tecnológicamente líderes están demandando indicadores de calidad edáfica que le permitan chequear el impacto de sus prácticas de manejo en el recurso suelo.

5. Consideraciones finales

La humanidad, se encuentra hoy en un dilema de dificil solución, entre el fantasma de una hambruna generalizada – como alguna vez lo predijo Malthus – por falta de producción de alimentos en cantidad suficiente, o una destrucción de los recursos naturales necesarios para producirlos. Por un lado, resulta claro que una sobre-explotación de la tierra podría llevar al colapso de las economías mundiales actuales; siendo el crecimiento demográfico el elemento que impulsa esta situación (Solbrig, 2004). Por otro lado, la agricultura extensiva histórica y actualmente estuvo basada mayoritariamente en el paradigma de la labranza; siendo una de sus externalidades negativas la degradación de suelos, evidenciada claramente por la erosión y la pérdida de materia orgánica en la mayor parte de las regiones agrícolas del mundo.

Sin embargo, la agricultura de conservación basada en la implementación de buenas práctica agrícolas ofrecen una alternativa productiva que permite mantener los rendimientos, disminuir los costos, y a la vez impactar sobre el ambiente – principalmente

el sobre el recurso suelo – de una manera menos agresiva. Es decir, que al estado actual del conocimiento existe una nueva agricultura, basada en la interpretación de la oferta ambiental y la adecuación de las estrategias de manejo, como una alternativa real y concreta. Esta nueva agricultura, cada vez más biológica y rica en conocimientos, se vislumbra como la llave para resolver el conflicto.

En este contexto, la certificación ambiental del proceso productivo de siembra directa (como exponente de esta nueva agricultura) intentará ser un mecanismo de información resumida y precisa que sea la base para una mejor gestión agronómica (productiva y ambiental), y a la vez le permita al consumidor conocer las características del proceso productivo, a través de conocimientos de basamento científico que fueron mensurados a campo.

Resulta interesante remarcar que tanto actores públicos como privados pueden y deben trabajar mancomunadamente para que estas BPA´s sean una realidad. Desde los organismos de investigación aportando los avances en conocimientos (tanto a nivel de BPA´s como de indicadores); desde las asociaciones de productores difundiendo y validando a campo estos conceptos y trabajando proactivamente en la implementación de protocolos certificables. Desde la órbita del Estado estimulando mediante exenciones o beneficios impositivos la adopción de estas tecnologías; acompañando en simultáneo a los pequeños productores, principalmente con capacitación e incentivos económicos y crediticios a la adopción de estas BPA´s. Y siendo un poco más ambiciosos entre todos construyendo una Marca País que diferencia los alimentos argentinos por estar realizados bajo procesos productivos ambientalmente responsables.

**La presente publicación constituye la opinión de sus autores en los temas tratados y no necesariamente coincide con la de las entidades que integran el Foro de la Cadena Agroindustrial Argentina.*

Bibliografia

AAPRESID. 2005. El sendero de la calidad. Revista de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa.

Andriulo A.; C. Sasal C. y F. Rimatori. 2002. Impacto del sistema de producción agrícola sobre la calidad y la cantidad del drenaje en el norte de buenos aires. 2do Taller de contaminación por agroquímicos. Pergamino, Buenos Aires Argentina.

Angella, G.; D. Prieto y C. Angueira. 2002. Efecto de la fertilización y el riego sobre la lixiviación de nitratos en Santiago del Estero. 2do Taller de contaminación por agroquímicos. Pergamino, Buenos Aires Argentina.

Batie, S.S., J.W. Gilliam, P.M. Groffman, G.R. Hallberg, N.D. Hamilton, y W.E. Larson, 1993. Soil and water quality: An agenda for agriculture. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Bezdicek, D.C., R.I Papendick y R. Lal. 1996. Introduction: Importance of Soil Quality to Health and Sustainable Land Management. En: Doran, J. W. & Jones, A.J., (eds.) Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication, Number 49: 1-8.

Calegari, A. 1998. Culturas, sucessões e rotações. En: **Sistema plantio direto** - o produtor pergunta a Embrapa responde. Dourados: Embrapa-CPAO: 59-80.

Cameron, K., M. Beare, R. Mclaren, H. Di. 1998.Selecting physical, chemical, and biological indicators of soil quality for degraded or polluted soils. En: CD XVI World Congress of Soil Science, Symposium 37, Montpellier, France.

Casas, R. 1998.Causas y Evidencias de la Degradación de los Suelos en la Región Pampeana. En:
O. T. Solbrigy L. Vainesman (eds.) Hacia una Agricultura productiva y sostenible en la pampa. Buenos Aires: CPIA-DRCLAS: 99-129

Casas, R. 2004.Indicadores de calidad de suelos para una agricultura sustentable. En: Actas del XII Congreso de AAPRESID. Rosario: 123-134.

Cobbe, R. 1998. Capacitación Participativa en el Manejo Integrado de Plagas (MIP): Una Propuesta para América Latina. FAO, Roma.

Costa J.L., H. Massone, E. Suero, M. Vidal y F. Bedmar. 2002. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. Agricultural Water Management.

Costa, J.L., E. Suero, F. Bedmar, E. Bocanegra y E. Martínez. 1996. Contaminación de acuíferos superficiales por lavado de nitratos. INTA Publicación Técnica No. 6.

Derpsch, R. y J.R. Benites. 2004. Agricultura Conservacionista no Mundo. En: CD, XV Reulniao Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Santa Maria, RS, Brasil.

Doran, J.W y M.R. Zeiss. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Applied Soil Ecology 15: 3-11.

Doran, J.W. y T.B. Parkin. 1994. Defining an assesing soil quality. In: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdieck, D.F.; Stewart, B.A. (Editors). 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication Number 35, Chapter 1: 3-21.

Ekboir, J.M. 2001. Sistemas de Innovación y Política Tecnológica: Siembra Directa en MERCOSUR. En: Díaz, R. (ed.), Siembra Directa en el Cono Sur, PROCISUR.

Fernandez Alés, R. y O.T. Solbrig. 2002. Are Famine and Malnutrition, Questions of Supply or Demand? Implications for Environmental Rural Stability. In: O.T. Solbrig, R. Paarlberg, and
F. di Castri, (eds.) Globalization and the Rural Environment..Cambridge, Ma. Harvard University Press: 49-71.

FAO. 1998. Regional Development Partnerships Programme (RDPP).

FAO. 2002. Conservation Agriculture: Case Studies in Latin America and Africa. FAO Soils Bulletin 78. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

García, F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: impacto en rendimientos y calidad de suelos. En: Revista Técnica de AAPRESID: Fertilidad y fertilización en siembra directa: 60-65.

García, F. O., K. P. Fabrizzi, L. Picone y L. Justel. 1999. Volatilización de amonio a partir de fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente bajo siembra directa y labranza convencional en Argentina. En: Actas 14º Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Temuco. Chile: 304

Jergentz, S., H. Mugni, C. Bonetto, y R. Schulz. 2004. Runoff-related endosulfan contamination and aquatic macroinvertebrate response in rural basins near Buenos Aires, Argentina. Archives for Environmental Contamination & Toxicology 46: 345-352.

Lorenzatti, S. y A. Bianchini. 2001. La rotación de cultivos: una herramienta poco utilizada. En: Revista Técnica de AAPRESID: Rotaciones en siembra directa I: 5-8.

Lorenzatti, S. 2005. Tablero de comandos para el suelo. Clarín, Suplemento rural.

Montero F.A. y M.A. Sagardoy. 2001. Estudios microbiológicos en un suelo cultivado con maíz y soja bajo siembra directa. En: Rotación de cultivos en siembra directa. Revista de AAPRESID: 31-34.

Morón, A. 2005. Efecto de las rotaciones y el laboreo en la calidad del suelo. En: Actas del XIII Congreso de AAPRESID, Rosario.

Morón, A., H. Marelli, j. Sawchik, V. Gudelj, C. Galarza y J. Arce. 2004. Indicadores de la calidad del suelo en experimentos de rotaciones de cultivos en Córdoba Argentina. En: XIX Congreso Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná.

Moscatelli, G. y R. Sobral. 2005. Avances en la selección de indicadores de calidad para las series de suelo representativas de la regio pampeana y aplicación de un sistema de información geográfica. En: Seminario Internacional de Indicadores de Calidad de Suelo. Marcos Juárez, Córdoba.

Peiretti, R. 2004. El Modelo Agrícola de CAAPAS: Su adopción actual y potencial dentro del sistema agrícola nacional y mundial. Amenazas y oportunidades dentro del escenario global. En: Actas del XII Congreso de AAPRESID: 57-60.

Pereira, M.H. 2002. Un buen trabajo. En: Actas del X Congreso de AAPRESID, Rosario: 130-137.

Prigogine, Y. 1996. El Fin de las Certidumbres. Ed. Andrés Bello, Santiago, Chile.

Rimsky-Korsakov, E., G. Rubio y R. S. Lavado. 2004. Potential Nitrate Losses under Different Agricultural Practices in the Pampas Region, Argentina. Agric. Water Management, 65:83-94.

Romagnoli, J. 2003. Nuevos desafíos de la siembra directa. En: Revista Técnica de AAPRESID: Rotaciones en siembra directa II: 5-7.

Sá, J.C.M. 1999. Manejo da fertilidade do solo no sistema da plantio direto. En: Siqueira, J., F. Moreira, A. Lopez, L. Guilherme, V. Faquin, A. Furtin Neto, J. Carvalho (Ed.). Soil Fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Lavras: UFLA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: 267-320.

Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría y L.I. Picone. 2001. Denitrification in maize under no-tillage: effect of 296 nitrogen rate and application time. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 1314–1323.

Salvagiotti, F. 2004. El manejo de los nutrientes y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. En: Revista Técnica de AAPRESID: Fertilidad en siembra directa 2004: 75-78.

Senigaglisi, C. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales, particularmente el suelo, en el sector norte de la pampa húmeda. En: Seminario Juicio a Nuestra Agricultura. Buenos Aires: INTA.

Solbrig, O.T. 2002. El impacto ambiental de la agricultura pampeana: reflexiones en relación a la crisis. Rosario: Actas del X Congreso de AAPRESID: 15-20.

Solbrig. O.T. 2004. La agriculturización de la Argentina: Una cuestión de producción, equidad y medioambiente. En: Actas del XII Congreso de AAPRESID: 27-40.

Trucco, V. 2004. Una agricultura que es parte de la solución de las demandas sociales y ambientales. En: Actas del XII Congreso de AAPRESID: 49-56.

Viglizzo, E. 2001. La gestión ambiental de empresas rurales. En: Idia XXI. INTA (ed.): 125-128.

Viglizzo, E., F. Frank, J. Bernards, D.E. Buschiazzo y S. Cabo. 2002. A rapid method for

assesing the environmental performance of comercial farms in the pampas of Argentine. Programa de Gestión Ambiental. INTA.

Viglizzo, E. 2004 a. La sustentabilidad productiva: Evolución del concepto y sus indicadores. En: Actas de la III Jornada Tecnológica CREA – Productividad, Eficiencia y Responsabilidad.

Viglizzo, E. 2004 b. Desarrollo de una metodología compatible con la norma ISO 14000 para la eco-certificación de predios rurales. Programa Nacional de Gestión Ambiental. INTA.

TABLA N° 1: Evolución de la superficie implantada en siembra directa en Argentina para los principales cultivos, desde 1977 hasta 2003. AAPRESID (2004).

Campaña	Soja	Maiz	Trigo	Otros	TOTAL
77/78	5000	0	0	0	**5000**
78/86	2000	0	0	0	**2000**
86/87	6000	0	0	0	**6000**
87/88	22000	1000	1000	0	**24000**
88/89	50000	7000	3000	0	**60000**
89/90	80000	7000	5000	0	**92000**
90/91	280000	10000	10000	0	**300000**
91/92	445000	20000	30000	5000	**500000**
92/93	775000	35000	70000	90000	**970000**
93/94	1350000	100000	180000	180000	**1810000**
94/95	1670000	240000	210000	320000	**2440000**
95/96	2150000	200000	200000	420000	**2970000**
96/97	2859000	266000	260000	559000	**3944000**
97/98	2350000	700000	600000	550000	**4200000**
98/99	3782500	1148000	1267000	1072500	**7270000**
99/00	5016000	1385000	1740000	1109000	**9250000**
00/01	6658800	1494700	2259000	1247500	**11660000**
01/02.	8670000	1723000	3150000	1557000	**15100000**
02/03.	9780000	1930000	2850000	1940000	**16500000**

Gráfico 1: Evaluación del Producto Bruto Intern Agropecuario en Argentina, en el período 1993 – 2005; valores expresado en millones de pesos constantes de 1993. Fuente: Lorenzatti, 2006 (en base a datos del INDEC).

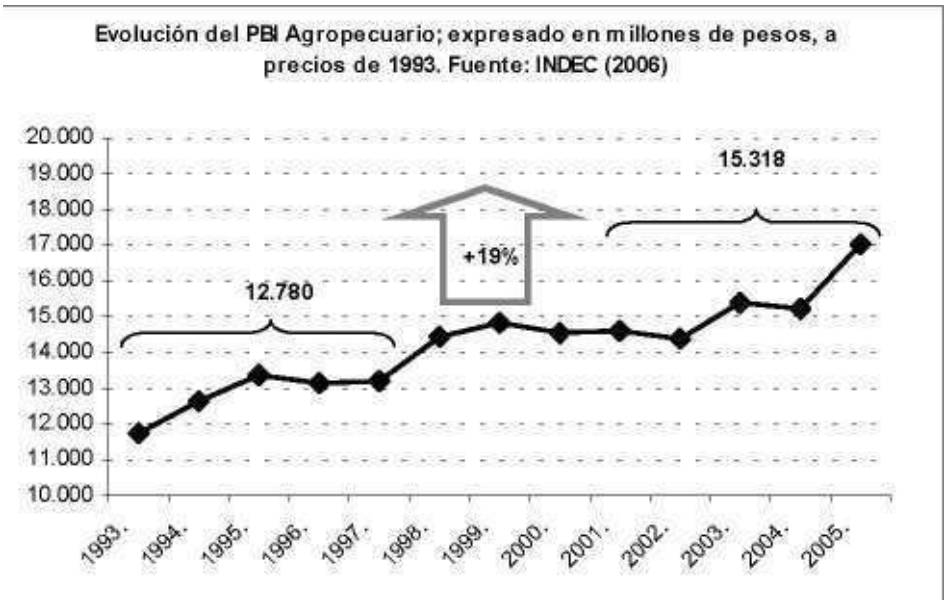


Gráfico 2: Evolución de las principales tecnologías en el sector agrícola argentina en el período 1980-2000. Fuente: Viglizzo, 2006 (Adaptado de Satorre, 2006).