

## Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes

MARTÍN OESTERHELD ✉

IFEVA, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires - CONICET, Buenos Aires, Argentina.

**RESUMEN.** La necesidad de mantener las propiedades de los ecosistemas dentro de ciertos rangos de variación antecede largamente al concepto de sustentabilidad. Sin embargo, la actividad agropecuaria argentina ha crecido y se ha transformado notablemente en los últimos 20 años, lo cual aumenta el interés por el impacto que puede tener sobre los ecosistemas. La tecnología de producción de cultivos ha cambiado de manera significativa, y este crecimiento tecnológico fue acompañado por una expansión notable de la frontera agrícola hacia diversas zonas extra-pampeanas y por una agriculturización del sistema de rotación agrícola-ganadera en la región pampeana, con el consiguiente corrimiento e intensificación de la actividad ganadera hacia zonas marginales y hacia ambientes confinados. El objetivo de este artículo es desarrollar algunos elementos básicos de la Ecología que atañen al problema de la sustentabilidad de los ecosistemas agropecuarios y llamar la atención sobre los problemas ambientales más relevantes de Argentina. La estabilidad del funcionamiento de un ecosistema aumenta con su diversidad a diferentes escalas desde el stand hasta el paisaje y la región. A este comportamiento de los ecosistemas se lo conoce como "efecto portfolio" por su similitud con el comportamiento de estrategias de inversión, pero las interacciones entre los componentes de la diversidad pueden modificar la relación entre diversidad y estabilidad. Los ecosistemas se encuentran conectados regionalmente por diversos mecanismos que incluyen el transporte de materiales y energía por largas distancias y el movimiento migratorio y de dispersión de organismos. Como resultado, es frecuente que lo que suceda en un ecosistema repercuta en otro. Muchos efectos ambientales de la actividad agropecuaria son poco significativos a escala de predio, pero, sumados, pueden tener repercusiones en otros ecosistemas como lagunas o estuarios, o en componentes de índole regional o global como el agua subsuperficial o la atmósfera. En un agroecosistema, el manejo procura conducir la energía solar hacia la obtención de ciertos productos vegetales o animales. La energía de subsidio que aportan los agricultores en los sistemas extensivos tecnificados es relativamente pequeña en comparación con los ingresos de energía solar, pero al mismo tiempo es una proporción importante de la energía que se obtiene en el producto. Los agroecosistemas muestran una gran heterogeneidad ambiental y dinámicas estacionales e interanuales muy complejas. Si bien los técnicos y los productores perciben y atienden con mucha atención gran parte de esta variación, su naturaleza compleja frecuentemente resulta en que algunos aspectos clave pasen desapercibidos o no reciban un tratamiento adecuado. Esta complejidad con frecuencia radica en las diferencias de escalas espaciales y temporales con las que suceden fenómenos relevantes. Los problemas ambientales potenciales ligados a la actividad agropecuaria argentina son muy numerosos y de diversa índole. Una consulta informal entre colegas arrojó respuestas bastante coincidentes en destacar a la contaminación por uso de fertilizantes y plaguicidas y por residuos animales (en el caso de producción animal confinada a espacios reducidos) como los principales problemas. También coincidieron en la preocupación por diversas manifestaciones de degradación del suelo, como pérdida de materia orgánica, nutrientes y erosión, y por la pérdida de diversidad.

[Palabras clave: sustentabilidad, escala, flujo de energía, diversidad, estabilidad, contaminación]

✉ IFEVA, Fac. de Agronomía, Univ. de Buenos Aires - CONICET, Av. San Martín 4453, (1417) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.  
oesterhe@agro.uba.ar

Recibido: 9 de abril de 2008; Fin de arbitraje: 10 de septiembre de 2008; Revisión recibida: 12 de septiembre de 2008; Aceptado: 12 de septiembre de 2008.  
En este trabajo Martín Aguiar actuó como editor.

**ABSTRACT. Impact of agriculture on ecosystems. Ecological basis and most relevant problems in Argentina:** The need for maintaining the properties of the ecosystems within certain ranks of variation precedes the concept of sustainability. Argentine farming activity has remarkably grown and transformed in the last 20 years. The technology of production has significantly changed and this technological growth was accompanied by a remarkable expansion of the agricultural border towards diverse extrapampean zones and by an increase of the agricultural component of the agricultural-cattle rotation in the Pampean region, with the consequent movement and intensification of the cattle activity towards marginal zones and confined systems. The objective of this article is to develop some basic elements of Ecology that concern to the problem of the sustainability of farming ecosystems and to call the attention on the most relevant environmental problems of agriculture in Argentina. The stability of the operation of an ecosystem increases with its diversity. This behavior of the ecosystems is known as "portfolio effect" for its similarity with the behavior of investment strategies. The ecosystems are regionally connected by diverse mechanisms that include the transport of materials and energy through long distances and the migratory movement and dispersion of organisms. As a frequent result, what happens in an ecosystem bears consequences on another one. Many environmental effects of the farming activity are little significant at the farm scale, but, when added, they can have repercussions in other ecosystems, like lagoons or estuaries, or in components of regional or global nature like underground water or the atmosphere. In agroecosystems, management attempts to lead solar energy towards certain plant or animal products. The energy of subsidy contributed by the farmers in extensive systems is relatively small in comparison to the income of solar energy, but at the same time it is an important proportion of the energy obtained in the product. Agroecosystems show large environmental heterogeneity and complex seasonal and interannual dynamics. Although part of this variation is perceived and taken care of with much attention by technicians and farmers, its complex nature frequently results in some aspects being unnoticed or not receiving suitable treatment. The potential environmental problems related to the Argentine farming activity are very numerous and of diverse nature. An informal consultation among colleagues threw quite coincident answers emphasizing the contamination by fertilizers, pesticides, and waste material from confined animal production systems as the main problems. Also they were worried by diverse manifestations of soil degradation, such as loss of organic matter and nutrients, soil erosion, and the loss of diversity at different scales.

[Keywords: sustainability, scale, energy flow, diversity, stability, pollution]

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de mantener las propiedades de los ecosistemas dentro de ciertos rangos de variación y el importante papel de la ciencia ecológica en este sentido anteceden largamente al concepto de sustentabilidad. En un trabajo clásico, que resumía más de medio siglo de investigación sobre la dinámica de los ecosistemas, E. P. Odum (1969) afirmó que "la comprensión de la sucesión ecológica provee la base para resolver los conflictos entre el hombre y la naturaleza" y que un análisis de la dinámica de los sistemas ecológicos provee "una aproximación a la solución del dilema central planteado por la pregunta «¿cómo determinar cuándo estamos extrayendo demasiado de algo bueno?»". Desde muy temprano, los conocimientos ecológicos resultaron útiles para la agricultura porque contribuyeron tanto

a maximizar los beneficios como a mitigar los efectos no deseados. En 1903, Spalding notó que "muchos de nuestros estados se enfrentan con problemas particularmente agudos de necesidad de reforestación. La tierra que sirvió de fuente de riqueza carece ahora de valor salvo que sea reforestada... hay una necesidad imperativa de la luz que pueden aportar los estudios de la sucesión de las comunidades vegetales". Durante las últimas décadas, el conflicto hombre-naturaleza del que hablaba E. P. Odum y las necesidades de restauración de las que hablaba Spalding se han intensificado y globalizado. La sustentabilidad ambiental es más necesaria que nunca, y la Ecología parece particularmente llamada -entre las ciencias- a proveerle el marco teórico.

Argentina no es una excepción en este sentido; su actividad agropecuaria ha crecido y se ha transformado de manera notable en los

últimos 20 años (Bernardos et al. 2001; Oesterheld 2005; Satorre 2005; Paruelo et al. 2005; Reboratti 2005). La tecnología de producción de cultivos ha cambiado significativamente. Primero, entre 1980 y 1990 se expandió aceleradamente la técnica de siembra directa en reemplazo de la labranza convencional; luego, la producción se intensificó mediante un uso mayor de agroquímicos, fundamentalmente fertilizantes; más tarde se incorporaron cultivos transgénicos (ver de la Fuente & Suárez 2008); y, más recientemente, se empezó a difundir el manejo diferencial por ambientes, también llamado "agricultura de precisión" (Satorre 2005). Este crecimiento tecnológico fue acompañado por una expansión notable de la frontera agrícola hacia diversas zonas extra-pampeanas y por una agriculturización del sistema de rotación agrícola-ganadera en la región pampeana, con el consiguiente corrimiento e intensificación de la actividad ganadera hacia zonas marginales (Paruelo et al. 2005) y hacia ambientes confinados, conocidos como "feedlots" o engorde a corral (ver Herrero & Gil 2008).

El objetivo de este artículo es desarrollar algunos elementos básicos de la Ecología que atañen al problema de la sustentabilidad de los ecosistemas agropecuarios y llamar la atención sobre los problemas ambientales más relevantes de Argentina. El tratamiento, obviamente, no puede ser exhaustivo. En la literatura citada se incluyen varias referencias de consulta para ampliar y profundizar el tema.

## ELEMENTOS BÁSICOS DE LA ECOLOGÍA

### *Diversidad y estabilidad*

La estabilidad del funcionamiento de un ecosistema aumenta con su diversidad (McNaughton 1977; Tilman et al. 2006). Si bien este es un tema controvertido y bajo investigación, en muchas situaciones una mayor diversidad conduce a una mayor estabilidad de los ecosistemas ante perturbaciones como sequías o cambios en el suelo. Este comportamiento de los ecosistemas es conocido como "efecto portfolio" por su similitud con el

comportamiento de estrategias de inversión (Doak et al. 1998). Si se consideran situaciones con diferente diversidad, como por ejemplo agroecosistemas con distinto número de actividades productivas o comunidades con distinto número de especies (llamaré "entidades" a estos componentes de la diversidad), se puede demostrar que en el caso de que cada entidad se comporte de manera independiente de la otra, la mayor diversificación conduce a una mayor estabilidad del funcionamiento del sistema en su conjunto, simplemente por una cuestión matemática (Figura 1). Si, además, las distintas entidades no se comportan de manera independiente sino que muestran una relación negativa (i.e., "cuando a una le va bien a la otra le va mal"), el efecto positivo de la diversidad sobre la estabilidad del funcionamiento general es todavía mayor. En cambio, cuando todas las entidades que componen el sistema están correlacionadas positivamente, no hay efecto de la diversidad sobre la estabilidad. Si bien algunos modelos matemáticos que incluyen una trama particular de interacciones entre entidades predicen una menor estabilidad con mayor diversidad, las evidencias empíricas muestran mucho más frecuentemente relaciones positivas entre diversidad y estabilidad (McNaughton 1988). Estas relaciones son obviamente cruciales para la agricultura y han sido discutidas frecuentemente (e.g., Viglizzo & Roberto 1989; Sulc & Tracy 2007).

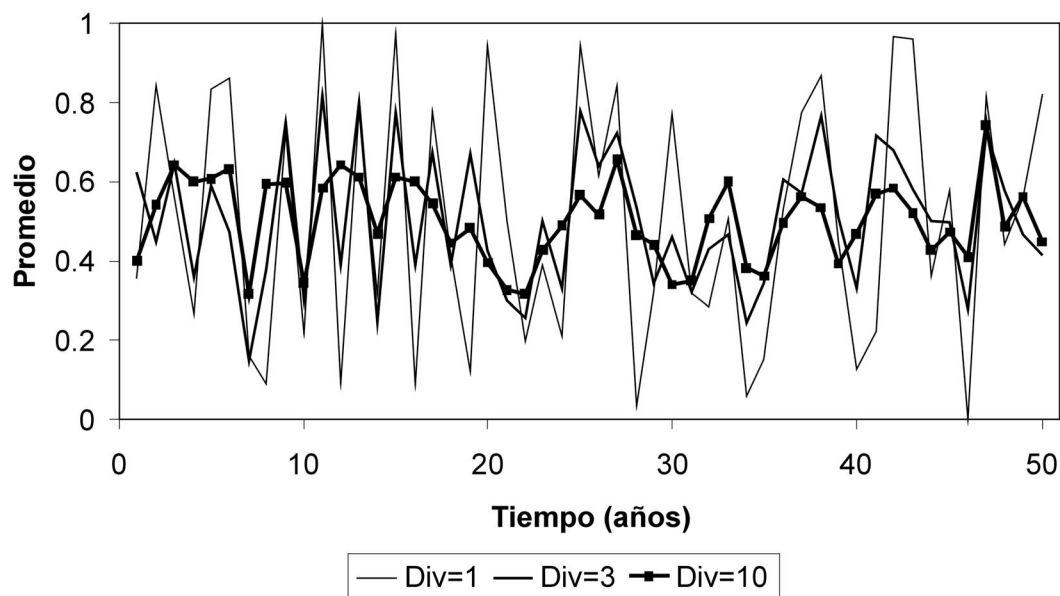
### *Estados alternativos, umbrales, histéresis*

Los agroecosistemas frecuentemente cambian de manera gradual ante variaciones, a su vez graduales, del tipo y grado de explotación agropecuaria a la que están sometidos. Quienes manejan estos sistemas están familiarizados con este tipo de cambios cuya marcha gradual transmite la idea de que está bajo control. Este cambio gradual sugiere, por un lado, que es relativamente fácil predecir si el sistema está cerca o lejos de un estado indeseable, y, por otro lado, que ante la cercanía de un estado indeseable se pueden revertir los efectos acumulados y retrotraer el sistema a su estado anterior solamente mediante la interrupción de lo que se estaba haciendo. Sin embargo, los ecosistemas no

suelen responder de esta manera (Figura 2; Scheffer et al. 2001): después de décadas de cambios graduales, pueden presentar saltos, a veces inexplicables, hacia un estado cualitativamente diferente. No está muy claro qué dispara estos cambios bruscos, pero se piensa que detrás de los cambios graduales de largo plazo se esconde una pérdida de resiliencia o capacidad del ecosistema de tolerar eventos poco frecuentes de cierta intensidad. Como resultado, el sistema cambia inesperadamente de estado ante un evento, como una sequía, una inundación, un incendio o la invasión de una maleza, que en circunstancias previas no había tenido tal efecto. Una vez que sucede algo así, el regreso a la situación anterior no se produce necesariamente por el mismo camino. Esto se denomina histéresis. Como consecuencia, aún cuando se restablezcan todas las condiciones (e.g., eliminar el pastoreo que causó el problema), el sistema no vuelve

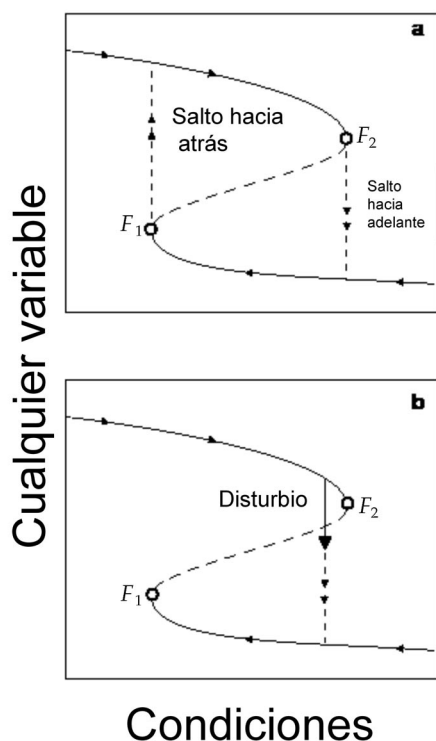
al estado anterior o requiere de una combinación muy especial de eventos para hacerlo. En términos más generales, puede decirse que la "regla de tres simple" no parece ser una buena herramienta para estimar el comportamiento de los ecosistemas frente a diferentes valores que toman variables de control.

Los efectos del pastoreo sobre la vegetación ejemplifican estos fenómenos (van de Koppel et al. 1997). Los aumentos de intensidad de pastoreo, como los producidos por aumentos directos en sistemas ganaderos o por aumentos naturales, como el caso de la población de gansos en la Bahía de Hudson, suelen reducir la biomasa vegetal. Mecanismos compensatorios de las plantas (McNaughton 1979) y demoras en las poblaciones animales en percibir la disminución de productividad primaria (Owen-Smith 2006) pueden hacer que estos cambios graduales de biomasa pasen inadvertidos. Sin



**Figura 1.** Marcha del promedio de una, tres o diez variables aleatorias independientes, cada una con similar promedio y desvío. Cada caso se asemejaría a una comunidad con una, tres o diez especies de comportamiento independiente. El promedio de las diez variables, que podría simular por ejemplo una comunidad compuesta por diez especies, es menos variable en el tiempo que la situación con una o tres "especies".

**Figure 1.** Changes of the average of one, three, or ten independent random variables, each with similar average and standard deviation. Each case resembles a community with one, three or ten independent species. The average of ten variables, which corresponds to a ten-species community, is less variable than with one or three "species".



**Figura 2.** Comportamiento de una variable ante un cambio gradual de las condiciones ambientales. En el panel a, el cambio gradual del ambiente modifica gradualmente al sistema hasta que, llegado a un punto  $F_2$ , un pequeño cambio de las condiciones ambientales induce un salto catastrófico de la variable a un nuevo estado; si las condiciones ambientales son restauradas el sistema muestra histéresis y la variable permanece cercana a los nuevos valores hasta que se llega a un punto  $F_1$  y el sistema vuelve a su estado original. En el panel b, una perturbación cambia drásticamente al sistema en condiciones ambientales menos rigurosas que en el punto  $F_2$ . Tomado de Scheffer et al. (2001).

**Figure 2.** Response of a variable to a gradual change of environmental conditions. In panel a the gradual change of environmental conditions modifies the system until it reaches  $F_2$ , where a small change in environmental conditions induces a catastrophic shift of the variable to a new state; if environmental conditions are restored, the system shows hysteresis and the variable remains close to the new values until it reaches  $F_1$ , where it returns to its original state. In panel b a disturbance drastically changes the system under environmental conditions less stringent than at the  $F_2$  point. From Scheffer et al. (2001).

embargo, la biomasa vegetal influye sobre procesos a nivel del suelo y aumenta, según el caso, la erosión o el nivel de salinidad que, a su vez, reducen la productividad (Figura 3; Srivastava & Jefferies 1996). Una vez que estos cambios han ocurrido, la interrupción del pastoreo no retrotrae el sistema a la situación anterior (Westoby et al. 1989).

#### *Efectos alejados de la fuente*

Los ecosistemas se encuentran conectados regionalmente por diversos mecanismos que incluyen el transporte de materiales y energía por largas distancias y el movimiento migratorio y de dispersión de organismos. Como resultado, es frecuente que lo que suceda en un ecosistema repercuta en otro (Turner et al. 2001). Esta complejidad de interacciones ha sido muchas veces exagerada, como en la ya célebre afirmación de que el aletear de una mariposa puede tener consecuencias drásticas en otro continente, pero también ignorada. Así, muchos efectos ambientales de la actividad agropecuaria son poco significativos a escala de predio, pero, sumados, pueden tener repercusiones en otros ecosistemas como lagunas o estuarios, o en componentes de índole regional o global como el agua subsuperficial o la atmósfera (Giampietro 1999). Estas consecuencias suelen pasar inadvertidas para el productor individual, o ser de magnitud y complejidad tales que el productor considera que poco puede hacer al respecto.

Un ejemplo de este problema es el efecto del agregado de fertilizantes. La exportación de productos fuera del ecosistema (venta de granos y animales, por ejemplo) genera un desbalance de nutrientes. Para mantener o aumentar los niveles de fertilidad edáfica se apela al agregado de nutrientes por la vía de la fertilización. Inclusive, las empresas fabricantes de fertilizantes apelan a la naturaleza conservacionista de la práctica de la fertilización debido a que mediante ella se "devuelven a la tierra" los nutrientes perdidos. Si bien esto es un buen llamado de atención a los productores, reponer los nutrientes perdidos mediante fertilizantes sin ocasionar otros problemas ambientales es un desafío tecnológico de proporciones. Sólo

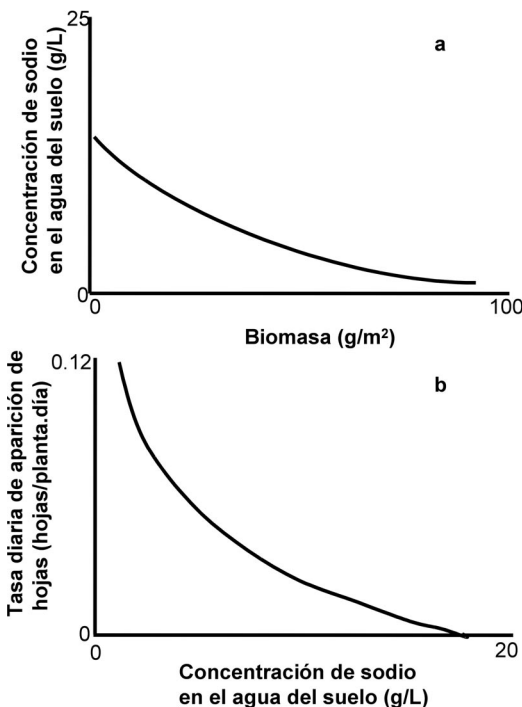
una proporción de los nutrientes agregados queda en el suelo, mientras que otra, según el nutriente en cuestión, se pierde por vía atmosférica, lavado o escurrimiento (ver de la Fuente & Suárez 2008). A nivel regional, aproximadamente 20% del nitrógeno que se aplica como fertilizante se pierde hacia los ríos (Figura 4: Vitousek et al. 1997), con la alteración consecuente de esos ecosistemas. Con distinta magnitud, el nitrógeno también se pierde hacia la atmósfera y hacia las napas. Esto genera problemas de calidad del agua

para consumo humano. El aporte de cada productor es pequeño y, muchas veces, incluso está bien intencionado desde el punto de vista ambiental. Pero las consecuencias "tranqueras afuera" pueden ser graves.

*El flujo de energía y los subsidios aportados por la actividad agropecuaria*

En un agroecosistema, el manejo procura conducir la energía solar hacia la obtención de ciertos productos vegetales o animales. Por ejemplo, en un agroecosistema pastoril se trata de reducir la proporción de productividad primaria que no utilizan los herbívoros mediante el mantenimiento de cargas relativamente altas, de reducir la proporción de energía consumida que no es asimilada mediante la utilización de forrajes de alta digestibilidad, de reducir la respiración de los herbívoros a través de la provisión de sombra y abrigo, y de disminuir el movimiento de los animales o de controlar parásitos y enfermedades.

Casi en su totalidad, estas intervenciones requieren energía, que -de esta manera- se suma en forma de subsidio a la provista por la radiación solar. La elevada productividad de las cosechas y de los rodeos se mantiene, en parte, a través de estos suministros adicionales de energía que tienen lugar a través del cultivo, la irrigación, la fertilización, la selección genética y el control de insectos. Un cultivo de maíz (Figura 5) sirve de ejemplo de flujo de energía a partir de la luz solar (Andrade 1998), al cual se le ha incorporado la energía de subsidio a partir de datos de un cultivo similar en Estados Unidos (Pimentel & Dazhong 1990). Surgen varios elementos dignos de comentar. En primer lugar, llama la atención la magnitud de las pérdidas de radiación, tanto en el paso de absorción como en el de producción primaria. Las pérdidas por radiación no absorbida corresponden a todo el período de barbecho, en el que el cultivo no está presente, y a los períodos de crecimiento y senescencia, en los que el cultivo no llega a absorber toda la radiación incidente. Las pérdidas de energía entre la absorbida y la producción neta son proporcionalmente mayores a la recientemente descrita. Sin embargo, estas



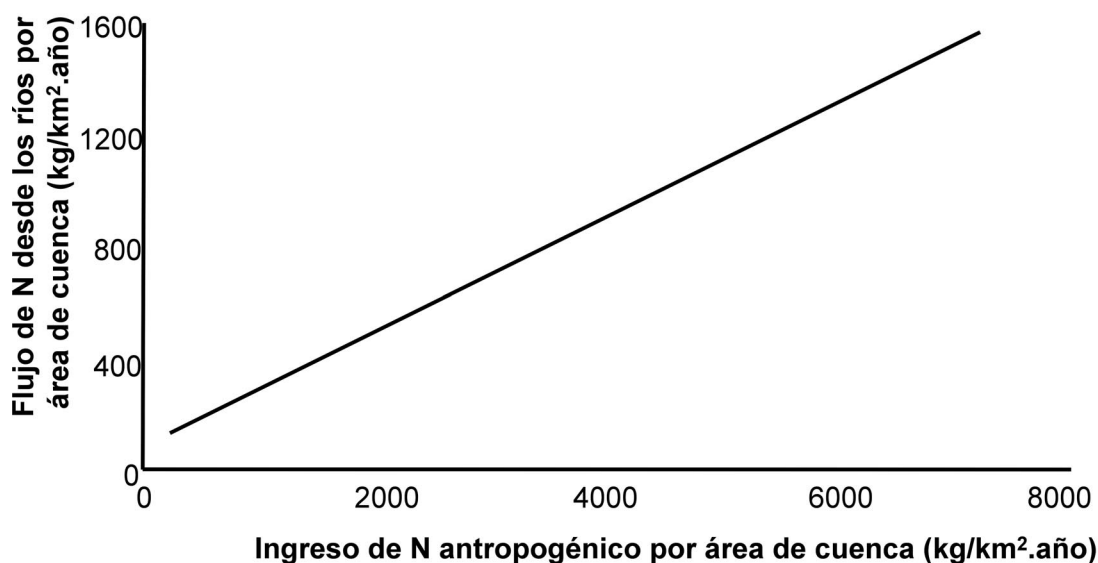
**Figura 3.** (a) Cambios en la concentración de sodio en el agua del suelo ante diferencias de biomasa generadas por pastoreo de gansos en la Bahía de Hudson. (b) Diferencias de crecimiento vegetal, inferido por la tasa de aparición de nuevas hojas, en relación con la concentración de sodio en el suelo. Adaptado de Srivastava & Jefferies (1996) y de van de Koppel et al. (1997).

**Figure 3.** (a) Changes of Na concentration in soil water as a function of different biomass values generated by goose grazing in Hudson Bay. (b) Plant growth, inferred by the rate of leaf emergence, as a function Na concentration in soil water. Adapted from Srivastava and Jefferies (1996), and from van de Koppel et al. (1997).

“pérdidas” representan en buena medida mecanismos importantes de productividad, como la transpiración y respiración del cultivo. En segundo lugar, y como consecuencia de lo anterior, es notable la pequeña proporción de energía obtenida en el grano en relación con la incidente (aproximadamente 1.8% si se toma la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA), ó 0.9% si se toma toda la energía incidente). Finalmente, esta cuantificación resalta la pequeñez de los subsidios de energía en comparación con los ingresos de energía solar (85 vs. 25500), pero -al mismo tiempo- ilustra que ese comparativamente pequeño subsidio transforma lo que de otra manera hubiera sido un sistema natural en uno que produce granos. Visto de otra manera, el subsidio no es pequeño en comparación con lo que se obtiene por la cosecha. Estas dos caras de los subsidios de energía, la de su pequeñez en relación con el aporte de la naturaleza y la de su grandeza en relación con la transformación que logran, deberían ser muy aleccionadoras para quienes manejan los ecosistemas.

*La variabilidad espacial y temporal de los ecosistemas, escalas*

Los agroecosistemas muestran una gran heterogeneidad ambiental y dinámicas estacionales e interanuales muy complejas. Si bien los técnicos y productores perciben y atienden con mucha atención gran parte de esta variación, su naturaleza compleja con frecuencia resulta en que algunos aspectos clave pasen desapercibidos o no reciban un tratamiento adecuado. Esta complejidad radica, de manera frecuente, en las diferencias de escalas espaciales y temporales con las que suceden fenómenos relevantes (Viglizzo et al. 2004). El éxito en el tratamiento de estas variaciones depende de que el observador o manejador se ubique en la escala apropiada, lo cual es difícil de hacer. Es llamativo que frecuentemente los problemas agro-ambientales se traten en un vacío de referencias a la heterogeneidad y a la dinámica temporal con distintas escalas.

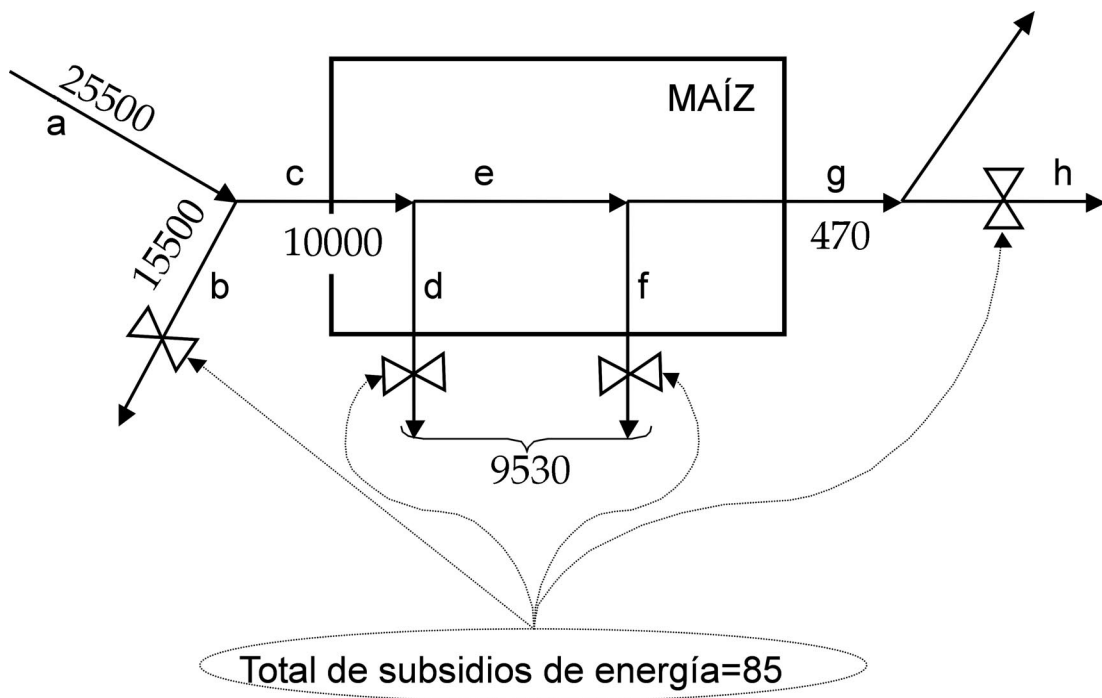


**Figura 4.** Tasa anual de salida de nitrógeno por unidad de superficie de diversas cuencas en relación con la tasa de aplicación de nitrógeno por uso humano. La curva representa la regresión ajustada a nueve cuencas:  $y=102.5+0.2x$ ,  $r^2=0.73$ ,  $P<0.002$ . Adaptado de Vitousek et al. (1997).

**Figure 4.** Annual rate of N output per unit surface for various watersheds as a function of the rate of N input by humans. The line is the best-fit line to data points from nine watersheds:  $y=102.5+0.2x$ ,  $r^2=0.73$ ,  $P<0.002$ . Adapted from Vitousek et al. (1997).

La escala se refiere a dos componentes de variación, la extensión y el grano (Turner et al. 2001), y puede aplicarse a las variaciones espaciales y a las temporales. La extensión está determinada por el tamaño del área o la longitud del período de tiempo que se observa. El grano está dado por la resolución de observación: el área o período al que corresponde un dato de observación. El caso del corrimiento de la frontera del desierto en el Sahel (Verón et al. 2006) es un ejemplo de la importancia de usar la escala de observación apropiada. A partir

de un mapa de vegetación de 1958, Lamprey (1975) observó en 1975 un corrimiento de unos 100 km, que atribuyó a la desertificación por sobrepastoreo. Sin embargo, investigaciones posteriores mediante sensores remotos demostraron que la frontera del desierto fluctúa de manera marcada en asociación con las variaciones interanuales de precipitación y que, en realidad, Lamprey había comparado un año especialmente húmedo con un año especialmente seco (Verón et al. 2006).



**Figura 5.** Flujo de energía en un cultivo de maíz en Balcarce, provincia de Buenos Aires. Las flechas corresponden a los siguientes flujos: a, radiación fotosintéticamente activa incidente; b, radiación reflejada y transmitida; c, radiación absorbida; d, pérdida de calor; e, productividad primaria bruta; f, respiración; g, productividad primaria neta; h, consumo por herbívoros. Las "válvulas" representan la acción de variables de control. Los números corresponden a Giga Joules.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Todos los datos del cultivo fueron tomados de Andrade (1998). Los de subsidios de energía fueron tomados de Pimentel & Dazhong (1990). Nótese que el flujo se ha simplificado y no incluye otros niveles tróficos.

**Figure 5.** Energy flow through a corn crop in Balcarce, Province of Buenos Aires. The arrows correspond to the following flows: a, incident photosynthetically active radiation; b, reflected and transmitted radiation; c, absorbed radiation; d, heat loss; e, gross primary production; f, respiration; g, net primary production; h, herbivore consumption. "Valves" represent the action of control variables. Numbers are in J. ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>. Crop data were taken from Andrade (1998). Energy subsidies values were taken from Pimentel & Dazhong (1990). Notice that it is a simplified flow with only a few trophic levels.



## ALGUNOS PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA ARGENTINA

Los problemas ambientales potenciales ligados a la actividad agropecuaria son muy numerosos y de diversa índole. Si bien hay literatura especializada sobre cada uno de ellos (e.g., Ghersa et al. 2002; Giuffré 2008), para tratar de jerarquizarlos y de identificar aquellos más serios y que -en particular- deberían recibir especial atención de parte de técnicos y productores, realicé una consulta informal a un puñado de especialistas argentinos en áreas de Ecología ligadas a la actividad agropecuaria. Las respuestas fueron bastante coincidentes en destacar como los principales problemas a la contaminación por uso de fertilizantes y plaguicidas y por residuos animales (en el caso de producción animal confinada a espacios reducidos). También coincidieron en la preocupación por diversas manifestaciones de degradación del suelo, como la pérdida de materia orgánica, nutrientes y erosión, y por la pérdida de diversidad.

Todos estos problemas tienen estrecha relación con la base conceptual ecológica descripta más arriba. El avance de la agricultura y el consiguiente corrimiento de la ganadería, sin una reducción del reservorio total tienen diversas consecuencias sobre los ecosistemas. El avance de la agricultura y, más aún, la concentración en un solo cultivo, reducen la diversidad a escala de comunidad y de paisaje si no se llevan adelante con diseños espaciales orientados a conservar ciertas propiedades de los ecosistemas. El corrimiento de la ganadería a áreas marginales plantea serios interrogantes sobre los efectos del pastoreo que, como se vio, pueden llegar a ser poco previsibles e irreversibles. La pérdida de nutrientes y las consecuencias negativas de los intentos de reposición plantean la necesidad de solucionar problemas de contaminación alejados de la fuente. También debe prestarse atención a la reducida escala temporal con la que se está observando este avance de la agricultura. Una gran proporción del aumento del área sembrada y de la producción se debe al aumento de las precipitaciones,

especialmente las estivales, en la región pampeana y peripampeana (Viglizzo et al. 1997; Magrin et al. 2005). En la medida en que esta modificación de las precipitaciones sea solo transitoria, el retorno al régimen anterior plantea la posibilidad no solo de grandes pérdidas en las cosechas sino también la vulnerabilidad de ciertas áreas a la erosión. En este sentido, conviene reflexionar sobre un informe de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos después de la sequía de 1987-1989: "La sequía de 1987- 89 fue la primera sequía tan extensa y persistente desde los años '50 y sin lugar a dudas tomó a la gente por sorpresa. Muchos no habían experimentado la sequía de los '50 y otros habían olvidado las duras realidades de la sequía. Sus costos financieros mostraron que muchas partes del país son ahora mucho más vulnerables a la sequía que antes. Esta mayor vulnerabilidad se debió en parte a las actividades agrícolas en terrenos marginales y al bombeo de agua subterránea hasta el punto de agotamiento."

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Emilio Satorre por invitarme a presentar algunas de estas ideas en las Jornadas Tecnológicas de AACREA 2007 y a María Semmartin por invitarme a plasmarlas en un texto. Agradezco a dos revisores anónimos, a Martín Aguiar, que actuó como editor, y a los colegas que me dieron su opinión sobre los problemas más relevantes: Martín Aguiar, Marcelo Cabido, Roberto Distel, Diego Ferraro, Claudio Ghersa, Chilo Grau, Esteban Jobbágy, Pedro Laterra, José Paruelo y Gervasio Piñeiro.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, FH. 1998. Posibilidades de expansión de la producción agrícola. *Interciencia* 23:218-226.
- BERNARDOS, JN; EF VIGLIZZO; V JOUVET; FA LÉRTORA; AJ PORDOMINGO ET AL. 2001. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampas. *Agricultural Systems* 69:215-234.
- DE LA FUENTE, EB & SA SUÁREZ. 2008. Problemas

- ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura. *Ecol. Aust.* **18**:235-252.
- DOAK, DF; D BIGGER; EK HARDING; MA MARVIER; RE O'MALLEY ET AL. 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology. *The American Naturalist* **151**:264-276.
- GHERSA, CM; DO FERRARO; M OMACINI; MA MARTÍNEZ-GHERSA; S PERELMAN ET AL. 2002. Farm and landscape level variables as indicators of sustainable land-use in the Argentine Inland-Pampa. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **93**:279-293.
- GIUFFRÉ, L. 2008. *Agrosistemas. Impacto ambiental y sustentabilidad*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA. Buenos Aires.
- GIAMPIETRO, M. 1999. Economic growth, human disturbance to ecological systems, and sustainability. Pp. 723-746 en: Walker, LL (editor). *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, Amsterdam.
- HERRERO, MA & SB GIL. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecol. Aust.* **18**:273-289.
- LAMPREY, HF. 1975. Report on the desert encroachment reconnaissance in northern Sudan. 21 Oct. to 10 Nov. 1975. UNESCO/UNEP, Paris/Nairobi; republished in *Desertification Control Bulletin* **17**, pp. 1-7.
- MAGRIN, G; M TRAVASSO & G RODRÍGUEZ. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* **72**:229-249.
- MCCAUGHTON, SJ. 1977. Diversity and stability of ecological communities: A comment on the role of empiricism in Ecology. *The American Naturalist* **111**:515-525.
- MCCAUGHTON, SJ. 1979. Grazing as an optimization process: grass-ungulate relationships in the Serengeti. *The American Naturalist* **113**:691-703.
- MCCAUGHTON, SJ. 1988. Diversity and stability. *Nature* **333**:204-205.
- ODUM, EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* **164**:262-70.
- OESTERHELD, M. 2005. Los cambios de la agricultura argentina y sus consecuencias. *Ciencia Hoy* **15**:6-12.
- OWEN-SMITH, N. 2006. Demographic determination of the shape of density dependence for three African ungulate populations. *Ecological Monographs* **76**:93-109.
- PARUELO, JM; JP GUERSCHMAN & SR VERÓN. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* **15**:14-23.
- PIMENTEL, D & W DAZHONG. 1990. Technological changes in energy use in United States agricultural production. Pp 147-164 en: Gliessman, SR (ed.). *Agroecology. Researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Springer-Verlag, New York.
- REBORATTI, CE. 2005. Efectos sociales de los cambios en la agricultura. *Ciencia Hoy* **15**:52-61.
- SATORRE, E. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* **15**:24-31.
- SCHEFFER, M; S CARPENTER; JA FOLEY; C FOLKE & B WALKER. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* **413**:591-596.
- SPALDING, VM. 1903. The rise and progress of ecology. *Science* **17**:201-209.
- SRIVASTAVA, DS & RL JEFFERIES. 1996. A positive feedback: Herbivory, plant growth, salinity, and the desertification of an Arctic salt-marsh. *Journal of Ecology* **84**:31-42.
- SULC, RM & BF TRACY. 2007. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. *Agronomy Journal* **99**:335-345.
- TILMAN, D; PB REICH & JM KNOPS. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature* **441**:629-632.
- TURNER, MG; RH GARDNER & RV O'NEILL. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer-Verlag, New York.
- VAN DE KOPPEL, J; M RIETKERK & FJ WEISSING. 1997. Catastrophic vegetation shifts and soil degradation in terrestrial grazing systems. *Trends in Ecology & Evolution* **12**:352-356.
- VERÓN, SR; JM PARUELO & M OESTERHELD. 2006. Assessing desertification. *Journal of Arid Environments* **66**:751-763.
- VIGLIZZO, EF & ZE ROBERTO. 1989. Diversification, productivity and stability of agroecosystems in the semi-arid pampas of Argentina. *Agricultural Systems* **31**:279-91.
- VIGLIZZO, EF; ZE ROBERTO; F LERTORA; EL GAY & J BERNARDOS. 1997. Climate and land-use change in field-crop ecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **66**:61-70.
- VIGLIZZO, EF; AJ PORDOMINGO; MG CASTRO; FA LERTORA & JN BERNARDOS. 2004. Scale-dependent controls on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **101**:39-51.
- VITOUSEK, PM; JD ABER; RW HOWARTH; GE LIKENS; PA MATSON ET AL. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* **7**:737-750.
- WESTOBY, M; B WALKER & I NOYMEIR. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management* **42**:266-274.