

## METODOLOGIAS DE EVALUACION AMBIENTAL DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

Ing. Agr., PhD. Alejandro La Manna<sup>1</sup>

Ing. Agr. Stella Zerbino<sup>1</sup>

Ing. Agr. MSc. Enrique Fernández<sup>1</sup>

En las últimas décadas ha habido una mayor preocupación por mejorar o mantener la calidad del ambiente. Los sistemas productivos han tendido a una mayor utilización de agroquímicos persiguiendo una mayor rentabilidad con consecuencias muchas veces no deseables hacia el agroecosistema. Se entiende como agroecosistema a aquel sistema ecológico que es manejado con el propósito de producir alimentos y/o fibras.

Los componentes funcionales de un agroecosistema se relacionan a los flujos de energía, nutrientes, materia y especies biológicas (Altieri, 1995). Los humanos a través de sus actividades tienen un rol muy importante en alterar y dirigir estos flujos. Sin embargo estos agroecosistemas bien manejados desde el punto de vista ambiental pueden brindar servicios a la comunidad, los cuáles correctamente valorados hacen al patrimonio de la población mundial (Costanza et al., 1997).

Sin embargo hay que tener en cuenta que prácticas que son ecológicamente sustentables pueden no serlo económica o socialmente. Para poder evaluar los sistemas productivos de un punto de vista ambiental no solo debe tomarse este aspecto sino a la vez ligarlo íntimamente al desarrollo socioeconómico de la población que de ellos vive. Existen una serie de metodologías para evaluar ambientalmente los sistemas productivos y aquí serán discutidas someramente algunas de ellas.

### ***El uso de indicadores y balances como metodologías de evaluación ambiental.***

Generalmente los sistemas de evaluación de impacto utilizan diferentes metodologías que involucran valoraciones objetivas y/o subjetivas del impacto de las prácticas de manejo utilizadas o del estado de los recursos, y mayoritariamente terminan en la elaboración de indicadores o índices que reflejan dichas valoraciones en forma cuantitativa. El uso de indicadores es una de las metodologías más usadas para la evaluación y seguimiento de impactos de diversas tecnologías sobre el ambiente. Los indicadores ambientales son de importancia creciente tanto para aquellos que están interesados en el medio ambiente como para quienes tienen responsabilidades legales sobre el mismo. Estos indicadores son una herramienta muy importante y un prerrequisito de los aspectos ambientales que hacen a la sostenibilidad de los agroecosistemas (Hansen, 1996). Los indicadores ambientales son generalmente expresiones cuantitativas que intentan medir la condición de una situación particular con respecto a un valor o escala. El indicador es a la vez una variable o una función de variables que proveen información de otras variables de difícil acceso.

El desarrollo de indicadores puede ser a diferentes niveles y escalas, como ser regional, nacional, local y/o hasta de potrero.

---

<sup>1</sup> INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay.

Existen un gran número de indicadores para verificar el estado y poder monitorear el ambiente. Para ser útiles y de fácil comprensión, éstos deben reunir determinadas condiciones generales (Dale and Beyeler, 2001; Huffman et al., 2000):

- Fácilmente medibles en relación a su costo, como también simples de entender por todos los usuarios (comunidad científica, formadores de políticas, población en general) y cuya importancia sea posible de demostrar.
- Sensibles a cambios y factores de estrés del medio ambiente. Idealmente deberían ser sensible tanto a los cambios causados por acciones humanas como a las variaciones de la naturaleza, y por lo tanto fácilmente predecibles.
- Claramente indicativos de los límites o escalones en los que se pasa de una situación ambiental a otra.
- Capaces de anticipar cualquier posible cambio en el sistema. Siempre es bueno que el indicador prediga posibles cambios a ocurrir antes de que estos sean irreversibles o de un daño considerable, de manera que con una serie de medidas los problemas puedan ser solucionados en forma eficaz y rápida.
- Integradores de los diferentes indicadores de estado de todos los recursos y los gradientes del ecosistema (por Ej. suelos, aguas etc.).
- Capaces de reflejar los cambios en el tiempo o en el espacio.
- Relevantes para las políticas de desarrollo.

Los indicadores pueden ser simples y/o compuestos a partir de múltiples variables (Riley, 2001). Ejemplo de los primeros pueden ser el número de lombrices por unidad de superficie de suelo, mientras que los compuestos se obtienen combinando diferentes variables o indicadores simples. Algunos autores denominan a éstos últimos también índices.

Existen diferentes formas de seleccionar los indicadores. Por lo general se sigue un proceso que comienza con la identificación del problema, definición de objetivos, recolección de datos y análisis y la selección del o los indicadores que mejor se adecuan para ese objetivo.

Girardin y otros (1999) proponen un procedimiento de 7 puntos para la elaboración de indicadores. Estos puntos son

1. Definición de objetivos
2. Tipo de usuario
3. Construcción del indicador a partir de la información relevada
4. La determinación de normas o valores guías
5. Determinar el peso relativo de cada variable al construir el indicador
6. Realizar un test de probabilidad. Esto es principalmente para indicadores del tipo compuesto donde no se da una respuesta lineal. Al igual que en los modelos este es el nivel de probabilidad donde este no es validado.
7. Validación del indicador.

Con respecto a la validación de los indicadores Bockstaller y Girardin (2003) indican tres tipos posibles de validaciones que son: la de diseño con el objetivo de demostrar que son científicamente apropiados; por los resultados obtenidos y una tercera forma de validación que es la del propio usuario ya que le deben demostrar a éste los diferentes escalones en el objetivo buscado.

Otra de las metodologías que se puede utilizar para elegir el indicador es mediante las matrices de interacción (causa-efecto) (Leopold et al., 1971). Este tipo de matrices también son utilizadas para evaluar el impacto ambiental de un proyecto. La matriz recoge por un lado diferentes acciones y por otro su potencial impacto describiendo dicha interacción en términos de magnitud e importancia. Uno de los aspectos destacables de esta metodología es que puede extenderse el número de acciones y factores ambientales así como también contraerse. A partir de estas matrices se pueden relevar aquellas acciones más importantes en base a sus efectos sobre el ambiente y tratar de determinar los indicadores que mejor reflejan dichos efectos (Girardin et al., 2000).

Los tipos de indicadores usados en la literatura se pueden clasificar o agrupar en biológicos, físicos, químicos, de paisaje y los socio-económicos. A modo de ejemplo Huffman y otros (2000) resumen los indicadores ambientales usados en Canadá y sus componentes (entre paréntesis) los cuáles son:

- Riesgo de degradación de suelo (erosión por agua o viento, salinización, erosión por prácticas culturales, compactación, cambio en carbono en el suelo)
- Manejo de recursos prediales (cobertura del suelo y manejo del mismo y la forma en que los insumos son utilizados en el predio)
- Riesgo de contaminación de aguas (nitrógeno, fósforo y pesticidas)
- Balance de gases con efecto invernadero (metano, dióxido de carbono, óxido nitroso)
- Cambio en la biodiversidad (especies, hábitat)
- Eficiencia en el uso de los insumos (riego, agroquímicos, energía)

A nivel de predio o sistema productivo los indicadores deberían reflejar lo mejor posible el uso de los recursos y el impacto sobre el medio ambiente. El alcance de estos indicadores debe tomar en cuenta varios ámbitos cubriendo los efectos locales así como también los globales. Pueden tomarse indicadores que evalúen solo los medios o las prácticas que el productor realiza (fertilización, aplicación de pesticidas, etc.) o indicadores que a su vez contemplen sus efectos sobre el medio ambiente (pérdidas de nutrientes, emisiones de gases, etc.). Si bien para la construcción del primer tipo de indicadores es más sencillo obtener la información necesaria, estos no permiten la evaluación del impacto de las prácticas sobre el medio ambiente, en tanto este aspecto es contemplado en el caso de los segundos (van der Werf and Petit, 2002).

La relación entre los indicadores de manejo de un predio y su impacto en el ambiente no es simple ya que la visualización por parte del productor no es sencilla. Las principales fuentes de contaminación de un predio en general son difusas o no localizadas, por lo tanto cualquier deterioro en el medio ambiente no está relacionado a un establecimiento en particular.

Además de estos indicadores es necesario entender como es el flujo de nutrientes dentro de un agroecosistema. Desde el punto de vista de la sostenibilidad y del impacto en el ambiente los sistemas pueden ser extractivos, neutros o excedentarios en nutrientes. Las pérdidas de nutrientes de estos sistemas puede ser de una fuente bien definida (por Ej. de la sala de ordeño) o de fuentes difusas (pérdidas de nutrientes por erosión, etc.). Cualquiera de estos tipos de pérdidas afecta la calidad del recurso agua así como también de los recursos suelo y aire.

Las pérdidas de nutrientes de fuentes definidas son identificables y pueden ser manejadas de manera de minimizar su impacto en el medio ambiente. En cambio las pérdidas difusas o de más de un punto del sistema son por lo general más difíciles de visualizar y pueden llegar a tener un impacto mucho más importante sobre la calidad del agua, del suelo y de la sostenibilidad del sistema. Por ejemplo las pérdidas de nitratos por percolación pueden ser difíciles de percibir para el observador normal pero su efecto puede ser significativo.

El manejo de nutrientes es la estrategia internacionalmente más aceptada para encarar este tipo de pérdidas (Beegle et al., 2000). El manejo de nutrientes integra diferentes aspectos del predio. Este manejo se basa en un balance que comienza con una cuantificación de los nutrientes que entran en el predio y de los nutrientes que dejan el predio (Tyrell, 2001). Algunos autores a su vez ubican a este balance de nutrientes como un indicador ambiental más (Parris, 1998).

Dentro de los límites del predio las entradas de nutrientes están constituidas por: alimentos que se traen de afuera (ración, fardo etc.), fertilizante, N fijado por las leguminosas y lluvia. Las salidas en tanto pueden ser de dos tipos: controladas, como es el caso de productos animales o vegetales, y no controladas como es el caso de pérdidas por volatilización, percolación, desnitrificación, escurrimiento y erosión. La figura 1 resume los conceptos anteriormente mencionados.

Figura 1. Esquema de balance de nutrientes



El manejo integral de nutrientes abarca diferentes áreas de conocimiento e investigación y necesita de una pormenorizada registración de eventos a nivel de los sistemas. Los criterios generales que integran y se toman en cuenta para un manejo integral de nutrientes son:

- a. Estimación de pérdidas de nutrientes y la influencia de diversas prácticas de conservación o manejo sobre estos
- b. Reciclaje de nutrientes

- c. Almacenamiento de estiércol y aguas usadas
- d. Estrategias de alimentación del ganado
- e. Registración detallada y adecuada de las entradas y las salidas controladas

Una última etapa al evaluar ambientalmente a los sistemas productivos es valorar monetariamente los efectos de la contaminación o degradación por estos causada. Uno de los problemas es que los bienes por estos afectados en general no tienen un valor de mercado. Por ejemplo la degradación de suelos resulta en dos tipos de costos, directos e indirectos. Los costos directos son determinados como la pérdida de productividad futura como consecuencia del manejo actual. La investigación económica demuestra que estos son frecuentemente mal determinados y pueden resultar de poca importancia para el conjunto de la sociedad. Los costos indirectos son los costos externos de la degradación o que tienen efectos fuera del sistema productivo. Estos son en general difíciles de cuantificar aun cuando pueden resultar de alta significación desde el punto de vista social. En la medida que los costos indirectos no son asumidos por los productores agropecuarios estos no cuentan con el incentivo para cambiar su comportamiento (Fernández y La Manna, 2003).

### **Consideraciones Finales**

El balance de nutrientes en conjunto con indicadores ambientales pueden ser una buena herramienta de uso para estudiar el impacto en el ambiente de los sistemas de productivos. La necesidad de estudiar nuestros agroecosistemas con esta perspectiva y con equipos multidisciplinarios nos permitirá identificar las posibles fortalezas y debilidades de nuestros sistemas e identificar no solo las prácticas más eficientes sino que además las que menor impacto tengan sobre los recursos agua, suelo y aire. La incorporación de técnicas como las mencionadas en este artículo junto con otras como por ejemplo los sistemas de información geográfica abre nuevas perspectivas en los estudios de nuestros recursos naturales.

### Literatura Citada

- Altieri. 1995. *Agroecology: "The science of sustainable agriculture"*. 2nd ed. Westview, Boulder, CO.
- Beegle, D. B., O. T. Carton, and J. S. Bailey. 2000. Nutrient management planning: justification, theory, practice. *J. Environ. Qual.* 29:72-79.
- Bockstaller, C. and P. Girardin. 2003a. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems* 76:639-653.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Dale, V. H. and S. C. Beyeler. 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1:3-10.

- Fernández, E. y A. La Manna. 2003. Análisis de la sostenibilidad física y económica de rotaciones de cultivos y pasturas. En: Simposio: 40 años de rotaciones agrícolas-ganaderas. Morón, A. y R. Díaz (eds.). Serie Técnica 134. INIA La Estanzuela. 55-63.
- Girardin, P., C. Bockstaller, and H. Van der Werf. 1999b. Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13:5-21.
- Girardin, P., C. Bockstaller, and H. Van der Werf. 2000. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO\*ECO method. *Environmental Impact Assessment Review* 20:227-239.
- Hansen, J. W. 1996. Is Agricultural Sustainability a Useful Concept? *Agricultural Systems* 50:117-143.
- Huffman, E., R. G. Eilers, G. Padbury, G. Wall, and K. B. MacDonald. 2000. Canadian agri-environmental indicators related to land quality: integrating census and biophysical data to estimate soil cover, wind erosion and soil salinity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 81:113-123.
- Leopold, L. B., F. F. Clark, B. B. Hanshaw, and J. R. Balsley. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Survey Circular 645. Washington, DC. USA, Department of Interior.
- Parris, K. 1998. Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: an OECD perspective. *Environmental Pollution* 102:219-225.
- Riley, J. 2001. Indicator quality for assessment of impact of multidisciplinary systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 87:121-128.
- Tyrell, H. F. Principles of animal nutrition and mass balance relative to nutrient management. 2001. Research Triangle Park, NC., College of Agriculture and Life Sciences, NCSU. International Symposium Proceedings Addressing animal production and environmental issues. 3-11-2001.
- van der Werf, H. M. G. and J. Petit. 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93:131-145.