



## Valoración multicriterial de tecnologías críticas en la producción de caña de azúcar en Tucumán, Argentina

Salvador, María Laura  
Dutto, Jorge Omar  
Meyer Paz, Roberto Oscar  
Roberi, Ariel Arturo  
Serena, Jorge Alberto  
Morandi, Jorge Luis  
Giancola, Silvana Inés

Ponencia presentada en las VI Jornadas de la Asociación Argentina Uruguaya de Economía Ecológica "Transitando el camino hacia la sostenibilidad". Salta, Argentina, 26 al 29 de noviembre de 2013



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

*El Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba (RDU), es un espacio donde se almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y procura dar visibilidad a nivel nacional e internacional, a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los integrantes de la comunidad universitaria.*



# VALORACIÓN MULTICRITERIAL DE TECNOLOGÍAS CRÍTICAS EN LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN, ARGENTINA.

Salvador, M.L.<sup>1</sup>; Dutto, J.O.<sup>1</sup>; Meyer Paz, R.<sup>1</sup>; Roberi, A.<sup>1</sup>; Serena, J.<sup>1</sup>; Morandi, J.<sup>2</sup>; Giancola, S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba – <sup>2</sup> INTA

[laurasalvador@agro.unc.edu.ar](mailto:laurasalvador@agro.unc.edu.ar)

## RESUMEN

La noción de sustentabilidad fue ampliamente adoptada pero adolece de precisiones en el contenido y en el modo de implementarla. El objetivo de este trabajo es diseñar una metodología de evaluación de impactos económicos y ambientales de tecnologías críticas en la producción de caña de azúcar en Tucumán (Argentina), estudio enmarcado en el PE-INTA-AAES 303532, "Estrategias de intervención para mejorar el acceso a la tecnología en el sector productor". La propuesta es una valoración multicriterial comparativa de la sustentabilidad -no de la sustentabilidad per se-, de manera de no quedar inmóviles ante la complejidad del problema. El desafío fue encontrar una metodología flexible, que permita evaluar el impacto en la sustentabilidad de diferentes perfiles tecnológicos, por lo que se eligió el método NAIADE. Como resultado se obtuvieron y calcularon los indicadores económicos y ambientales, se realizó la valoración multicriterial y se propuso un sendero de adopción de tecnologías críticas.

## ABSTRACT

The idea of sustainability was widely adopted but lacks details on the content and the way to implement it. The purpose of this work is to design a methodology for evaluating economic and environmental impacts of critical technologies in the production of sugarcane in Tucuman (Argentina), study framed in the PE-INTA-AAES 303532, "Intervention strategies to improve access to technology in the production sector." The proposal is a comparative multicriteria valuation of sustainability -not of sustainability per se-, so as not to be still at the complexity of the problem. The challenge was to find a flexible methodology to assess the impact on the sustainability of different technological profiles, so the method NAIADE was chosen. As a result it was obtained and calculated economic and environmental indicators, multicriteria valuation was performed and it was suggested a path of adoption of critical technologies.

## INTRODUCCIÓN

La noción de sustentabilidad fue ampliamente adoptada desde su utilización en el informe Brundtland, pero adolece de precisiones en el contenido y en el modo de implementarla. Se trata de enunciar un deseo tan general como el antes indicado sin precisar mucho su contenido ni el modo de llevarlo a la práctica (Naredo, 2011). En términos conceptuales, aún los economistas neoclásicos marcan la necesidad del buen conocimiento de la interacción de los procesos económicos con el medio ambiente en el que se desenvuelven, y de restablecer la conexión entre el universo aislado del valor -en el que venían razonando los economistas- y el medio físico circundante. En palabras diferentes, abrir el "cajón de sastre" de la producción de valor para analizar los procesos físicos subyacentes. (Naredo, 2011)

Abonando esto, Sarandón (2002) citando a Bejarano Avila (1998), indica que el concepto de sustentabilidad ha quedado en la etapa declarativa y no se ha hecho operativo debido principalmente a la dificultad de traducir los aspectos ideológicos de la sustentabilidad en la capacidad de tomar decisiones. Al respecto, también señala entre otras razones que esto se debe a la ambigüedad, poca funcionalidad y característica multidimensional del concepto (económica, ecológica, social) y la ausencia de parámetros comunes de evaluación junto con el uso de herramientas y metodologías adecuadas.

En el caso específico de la producción agrícola se propone que para evaluar la sustentabilidad de los ecosistemas es necesario tener en cuenta tres criterios: a) mantener la capacidad productiva de los ecosistemas, b) preservar flora y fauna, y c) conservar la capacidad del ecosistema para auto mantenerse y auto regularse, siempre considerando las dimensiones económica, social y ambiental. Sin embargo, medir esto en toda su magnitud es muy complejo y la prueba es, en última instancia, sólo comprobable con el tiempo (Gliessman, 2002)

Por eso, y para no quedar inmóviles ante la complejidad del problema, se propone evaluar la sustentabilidad del cambio tecnológico asumiendo el concepto de medición de sustentabilidad comparativa, y no *per se*, y en una primera etapa abordando los aspectos económicos y ambientales, quedando por abordar la dimensión social.

Existen antecedentes de reportes económicos-financiero de la caña de azúcar en Tucumán (EEOC, 2011), y de análisis de diferentes tecnologías vinculadas a la sustentabilidad, aunque mayormente asociadas sólo a la dimensión ambiental (Scandaliaris, Pérez Zamora, Rufino, Romero y Morandini, 2002; Bautista-Gálvez, González-Cortes y Zapata, 2005; Romero, Agustín Sanzano, Scandaliaris, y Rojas Quintero, 2007; Digonzelli, y otros, 2007; Cabrera y Zuaznabar, 2010; etc). Menos antecedentes se encuentran vinculando directamente tecnologías como cosecha manual o quema y variables sociales (enfermedades) (Rocha, Marziale y Robazzi, 2007; Reyes, Arroyo, y Navarro, 2004; Piriz Carrillo, Gasparri, Paolini, y Grau, 2010), pero no se han encontrado análisis en donde se tomen todos los aspectos simultáneamente y se intente una agregación de los mismos a los fines de seleccionar políticas o instrumentos a aplicar. En general las visiones que se presentan son parciales, por lo que las propuestas que pueden surgir de dichos planteo también son parciales.

Este proyecto se desprende del proyecto "Acceso a la tecnología"<sup>1</sup>, que surge de la identificación de significativas pérdidas de competitividad en el sector agropecuario visualizadas como amenazas serias, no sólo a la subsistencia económico y social de algunos sistemas productivos, sino también, en el mediano plazo, a la sustentabilidad medioambiental de los mismos, y a la preservación intergeneracional de la base de los recursos naturales (Altieri & Nicholls, 2000). Estas pérdidas de competitividad responden –al menos parcialmente- a que gran parte del sector agropecuario está operando por debajo de los niveles de productividad potenciales, ya que existe una enorme heterogeneidad tecnológica de las funciones de producción primaria. Teniendo eso en cuenta, en el proyecto Acceso a la Tecnología se propusieron identificar tecnologías críticas<sup>2</sup> de la producción e investigar las causas de no adopción por parte de los productores, considerando que el conocimiento detallado de los determinantes de la adopción de tecnología facilitará el diseño de estrategias de intervención que contribuirán a mejorar las oportunidades de acceso a tecnologías promotoras de la eficiencia productiva y/o la calidad, la sostenibilidad social y ambiental.

La objetivo del presente proyecto es plantear una metodología viable para evaluar conjuntamente los impactos económicos y ambientales que tendría la adopción de tecnologías críticas para los diferentes perfiles tecnológicos, con el propósito final que los técnicos evalúen en forma más integrada la pertinencia de la promoción/difusión de las mismas, teniendo en cuenta la sustentabilidad.

Los objetivos específicos son: a) Selección y valoración de indicadores económicos pertinentes; b) Identificación de impactos ambientales de las tecnologías críticas; c) selección y valoración de indicadores ambientales; d) selección y aplicación de un método de valoración multicriterial, y e) establecer el orden de preferencia de los tres niveles tecnológicos propuestos, en base a la valoración multicriterial.

## MARCO METODOLÓGICO

En primer lugar se destaca que la propuesta es la evaluación comparativa de diferentes niveles tecnológicos (integrados por diferentes tecnologías), para encontrar cuál de los sistemas es más sustentable. En este caso no importa el valor absoluto, por lo tanto es más común y fácil de medir. Esta consideración comparativa de la sustentabilidad es importante para la investigación pues no aspira a una evaluación *per se* de la sustentabilidad, que se centra en contestar la pregunta respecto si es sustentable determinada tecnología, y exige una respuesta categórica: sí es sustentable o no es sustentable. Esa respuesta requiere de un valor absoluto de sustentabilidad lo cual es muy complejo de encontrar (Sarandón, 2002).

Otra aclaración es que se trabaja sobre lo que Naredo (2011) describe como sustentabilidad local y parcial. Local por referirse a sistemas o procesos limitados en el espacio y en el tiempo, y parcial porque considera algunos aspectos, subsistemas o elementos determinados y no al conjunto completo del sistema o proceso estudiado con todas sus implicaciones. A largo plazo tanto la sostenibilidad local como la parcial están llamadas a converger con la global<sup>3</sup> (Naredo, 2011), sin embargo, el nivel de conocimiento de las interacciones del agroecosistema y la información disponible no permite –por ahora- trabajar a esa escala.

---

<sup>1</sup> Proyecto Específico (PE) INTA 303532 "Estrategias de intervención para mejorar el acceso a la tecnología en el sector productor"

<sup>2</sup> Tecnología crítica aquella que al ser incorporada produce un impacto significativo sobre la productividad y/o calidad

<sup>3</sup> Tomando la tierra como escala de referencia, con todos sus recursos e interacciones.

## METODOS MULTICRITERIALES: PLANTEO DEL PROBLEMA

El planteo del problema requiere organizar y estructurar los datos respecto a las alternativas que se quieren analizar y los criterios seleccionados para evaluarlas. Esto es, especificar el problema de manera tal que permita una lectura más accesible del fenómeno que se está estudiando.

Las alternativas que se planteen, pueden ser definidas como las opciones para la situación que se está afrontando. Dependiendo del tipo de problema, estas opciones pueden ser escenarios, planes, programas, proyectos, inversiones, candidatos etc. Formalmente, el conjunto de alternativas puede expresarse como  $A=\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ , siendo  $a_j$  cada una de las alternativas, y  $n$  el número de alternativas. En este caso puntual, las alternativas son los tres niveles tecnológicos, ALTO, MEDIO y BAJO.

Los criterios, por su parte quedan definidos como los factores o puntos de vista, diferentes en su naturaleza, que se tienen en cuenta para evaluar la performance de las alternativas propuestas con respecto a los objetivos buscados. El conjunto de criterios se denota como  $C=\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_m\}$ , siendo  $c_i$  cada uno de los criterios considerados. En algunos casos, se puede ponderar la importancia de cada criterio.

El tipo y disponibilidad de datos dependerán del problema abordado, y la estructuración y manejo de los mismos puede ser realizado de diferentes maneras, por lo que siempre está presente un componente subjetivo (Munda *et al.*, 1994). La recolección de datos también dependerá del modelo usado para su análisis y de la síntesis elegida como “representativa” de la realidad.

Así, el problema multicriterio queda reflejado en una matriz de impacto en la que, dadas las alternativas  $a_j$  ( $j= 1, \dots, n$ ) y los criterios  $c_i$  ( $i=1, \dots, m$ ), se puede construir una matriz  $L_{n \times m}$ , denominada matriz de evaluación o matriz de impacto (Cuadro 1), cuyo elemento típico  $l_{ji}$  representa la evaluación de la alternativa  $j$  por medio del criterio  $i$ . Esta matriz puede incluir información en cualquier tipo de unidades, e información cualitativa o cuantitativa (Barba-Romero y Pomerol, 1997)

Alternativas \ Criterios	Criterios		
	C 1	C 2	C m
a 1	$l_{11}$	$l_{12}$	$l_{1m}$
a 2	$l_{21}$	$l_{22}$	$l_{2m}$
a m	$l_{n1}$	$l_{n2}$	$l_{nm}$

Cuadro 1: Matriz de impacto

Definidos estos elementos, se deberán evaluar las alternativas respecto a cada criterio.

## INDICADORES

El carácter multidimensional del concepto de sustentabilidad genera que sea complicado de medir, y que no haya uniformidad de criterios. Por eso han sido desarrollados numerosos indicadores simultáneamente, que o bien destacan los diversos componentes (ecológico, económico, político, social) del concepto por separado (indicadores parciales) o bien encapsulan todos estos componentes a la vez en índices (marcos de indicadores) (Simon, 2003). Cada uno de estos enfoques presenta ventajas y desventajas, por ejemplo los indicadores parciales ayudan a entender de una manera más general y compleja el concepto. Sin embargo, la desventaja está en el hecho de que las asociaciones entre las diferentes dimensiones de sustentabilidad (ambiental, económica, social e institucional) no están reflejadas a través de dichos indicadores, lo que sí sucede en el caso de los índices.

En este trabajo, partiendo de las tecnologías identificadas en el proyecto “Acceso a la Tecnología”, se buscarán los indicadores que tengan las características deseables de robustez y simplicidad requeridas y que además permitan las comparaciones entre alternativas, en base a la información disponible y/o capacidad real para determinarlos/valorarlos.

Existen numerosos antecedentes de indicadores, y no se descarta *a priori* ningún criterio de selección de los mismos (por ejemplo que sólo sean cuantitativos, o se admitan cualitativos, que resulten en valores absolutos o relativos, etc.). La idea subyacente es comenzar a transitar el camino de la sostenibilidad con los elementos con los que se cuente, para luego ir construyendo sobre eso.

## Indicadores ambientales

La identificación y valoración ambiental de los impactos de la producción agropecuaria en la naturaleza está siendo estudiada por diversos autores (Girardin, Bockstaller y Van der Werf, 2000; Fernandez, 2001; Viglizo, 2001; Viglizo, Pordomingo, Castro y Lértora, 2002; Forcada, 2000; Gil, Herrero, Flores, Pachoud y Hellmers, 2009, etc.), sin que esto signifique que las conclusiones a las que se arriban sean necesariamente tenidas en cuenta para las decisiones de uso de los recursos.

A nivel de tecnologías específicas, es relativamente común encontrar estudios ambientales sobre los efectos en el suelo de diferentes tipos de labranzas (Campitelli, 2010, Cantu, Becker y Bedano, 2007), trabajos que tratan la contaminación del suelo (Giuffre y Ratto, 2001) y agua y efectos en la salud por uso de plaguicidas, pero se ha dedicado menos atención al impacto individual y grupal de las tecnologías consideradas críticas en un sistema productivo (Moreno, Ríos, y Altieri, 2008), para evaluar su desempeño ambiental, y cotejarlo con el económico (De Prada, *et al.*, 2009).

Varios de esos autores trabajan sobre indicadores o sistemas de indicadores, que pueden ser muy ilustrativos y completos, pero que requieren de información no siempre disponible.

El o los sistema/s de valoración que se escoja/n depende del tipo de indicador seleccionado en la etapa previa. Existen, por ejemplo numerosas metodologías para evaluar un mismo indicador (Sarandon, 2002), y la elección del método dependerá del nivel de información disponible, la facilidad de interpretar el resultado, y la claridad que aporte al ser agregado a indicadores de otras dimensiones.

## ELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE AGREGACIÓN DE LOS CRITERIOS. ANTECEDENTES

La agregación de los criterios es el corazón de la metodología. No es posible establecer a priori qué método resulta mejor para un problema empírico dado, sino que las condiciones en las que estos métodos mejor se adaptan dependen del contexto. Por lo tanto el asunto que se establece, es elegir el método correcto para un determinado problema. Por ejemplo, la agregación de varias dimensiones de valor implica considerar la postura frente a la compensabilidad, es decir si se admite o no la posibilidad de superar una pérdida en una dimensión a través de un beneficio suficientemente elevado en otra dimensión. Otro discernimiento a tener en cuenta es cuál es el tipo y calidad de la información que se posee.

Entre los modelos básicos están: el lexicográfico (ordena por prioridad de criterio, generando un atributo dictador); el de la Teoría Multiatributo (genera una función de utilidad agregada); el de superación (utiliza preferencias binarias); el modelo de punto ideal (selecciona alternativas acorde a su distancia a un punto ideal ficticio); el de niveles de aspiración (fija metas matemáticas al tomador de decisiones) y otros modelos cualitativos.

Como punto de partida para la selección del método, se considera a la “compensabilidad”, ya que una manera de clasificar el tipo de métodos, es según como se reconozca a la compensación entre criterios. Así están los métodos: (a) sin compensación de criterios, (b) de agregación completa y (c) de agregación parcial.

### Sin compensación entre criterios

La no compensación implica que lo que se pierde en un criterio no se compensa con lo que se gana en otro<sup>4</sup>. En esta categoría se encuentra, por ejemplo el método lexicográfico, que es el método de ordenamiento utilizado en los diccionarios. El mismo básicamente se aplica de la siguiente manera: se asigna un peso a cada criterio y se ordenan las alternativas según el criterio de mayor peso. Si existe algún empate, se utiliza el siguiente criterio en importancia y así sucesivamente, hasta que se establece el orden completo de todas las alternativas.

### De agregación completa

En estos métodos se permite realizar compensaciones y todas las alternativas son comparables. Algunos métodos que pertenecen a esta categoría son el de ponderación lineal (*Scoring*) y el proceso analítico jerárquico. En ambos casos a cada criterio se le asigna un puntaje y una ponderación al criterio. Con la ponderación lineal se obtiene una puntuación global por la simple suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo. Si se tienen varios criterios con diferentes escalas (que no se puedan sumar directamente), se requiere un proceso previo de normalización para que pueda efectuarse la suma de las contribuciones de

---

<sup>4</sup> Ejemplos respecto a esto son: (a) si hay compensación: cuando en un mismo curso se obtienen cuatro y ocho en dos evaluaciones y logra calificación final promedio de seis; (b) no hay compensación: en dos cursos, se obtienen dos y diez en las evaluaciones respectivas, uno se aprueba (en una escala del 1 al 10) y el otro no, la nota de uno no compensa la nota del otro.

cada uno de los atributos. La aplicación del proceso analítico jerárquico, es un poco más complejo. En una primera etapa se construye una jerarquía básica, conformada por el Objetivo General y los Criterios que, a su vez, pueden estar constituidos por diversos niveles jerárquicos. La jerarquía se construye de modo tal que los elementos de un mismo nivel sean del mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con algunos o todos los elementos del siguiente nivel. En un esquema típico (ya que cada esquema depende del problema) el nivel más alto localiza el problema de decisión (objetivo). Los elementos que afectan a la decisión (criterios) son representados en los niveles inmediatos inferiores. Por último, suele representarse en el nivel más bajo, a las opciones de decisión o alternativas. En una segunda etapa se valoran (comparan) los elementos de a pares en base a un método y una escala propuesta por (Staaty, 2005). De la matriz resultante se obtienen ponderaciones de los criterios utilizados. En la tercera etapa, se analizan las alternativas propuestas para valorar en qué medida éstas satisfacen cada uno de los criterios. Por último, se sintetiza el resultado a partir del aporte relativo de cada alternativa a cada uno de los criterios y de los criterios al objetivo general (agregación multiaditiva). Los resultados totales pueden utilizarse para diferentes fines: la selección de una o varias alternativas o la ordenación de todas ellas.

Como se menciona anteriormente, cada metodología puede adaptarse o no al problema a analizar. Para el caso que aquí se plantea, ninguna de las metodologías que anteceden (sin compensación y con agregación completa) refleja la realidad que se quiere estudiar, ya que se entiende que puede existir algún grado de compensación entre las variables, pero no necesariamente en forma total, entonces, para no quedar sujeto a la rigidez de esos extremos, se considera más conveniente alguna metodología que flexibilice esos supuestos.

#### De agregación parcial

##### Métodos basados en la teoría de la utilidad (MAUT)

Bajo la teoría de la utilidad, se interpreta que cada criterio da una descripción parcial de la utilidad de las alternativas, bajo un cierto punto de vista. La utilidad global se puede calcular a partir de las utilidades parciales usando operadores de agregación o consenso. Esta "utilidad global" es el reflejo de la utilidad propia que el decisor da a las alternativas, y en las que basa sus decisiones finales (Gironés, Madrid y Valls, 2008). Este tipo de método presupone que el decisor conoce perfectamente sus preferencias y es capaz de ordenarlas, además de basarse en supuestos teóricos que pueden ser controvertidos. El método MACBETH es un ejemplo de esta categoría.

##### Métodos basados en Relaciones de preferencias

Se caracterizan por la consideración de situaciones no comparativas, para las que se adopta un sistema de preferencias (*outranking*). Esta categoría engloba los métodos como los Electre, Prométhée, y NAIADE. El planteo que proponen es el que sigue: cuando una alternativa A supera a la alternativa B (o la alternativa A es preferible a la alternativa B), en la mayoría de los criterios y además no existe un criterio para el cual A es claramente peor que B, entonces se puede decir que A domina o supera a B. Estos métodos también consideran la posibilidad de incomparabilidad e indiferencia. Usualmente, dos alternativas A y B son incomparables cuando A es buena bajo un conjunto de criterios para los cuales B es débil e inversamente, B es buena bajo otro conjunto de criterios para los cuales A es débil.

Los métodos Electre y Prométhée tienen como uno de sus insumos básicos –y que representa en ciertos casos la fortaleza de estos métodos- a la ponderación de los criterios con que son evaluadas las alternativas. Este requisito, puede resultar muy discutible en el caso que el método se aplique con la participación de múltiples actores que pueden no coincidir con el peso que se le asigna a cada criterio. En esos casos, surge la pregunta sobre quién debe asignar las ponderaciones y como. Munda (2004) puntualiza cuatro aspectos al respecto: (a) en los procesos participativos es técnicamente muy difícil encontrar un método de asignación de ponderaciones, y hasta poco deseable en términos prácticos ya que puede conducir a conflictos; (b) habría que lograr a una pluralidad de principios éticos como única forma consistente para obtener los pesos en una metodología multicriterio; (c) los coeficientes ponderados deberían representar sólo la importancia del criterio, y no un nivel de compensación entre criterios, por lo que deberían utilizarse algoritmos matemáticos no compensatorios, y (d) el análisis de sensibilidad y robustez debería realizarse no sólo sobre los niveles de los criterios, sino también sobre toda la posible combinación de coeficientes de ponderación. Por eso, una medida pragmática para el caso de metodologías que involucran varios evaluadores es no usar ponderadores para asignar peso a los criterios. Esta postura es la que plantea el método NAIADE.

El análisis multicriterio puede combinarse con otros instrumentos en cualquiera de sus etapas. Así, se puede trabajar con un panel de expertos para definir criterios y alternativas, también se puede trabajar con estudios de casos, encuestas con cuestionario o entrevistas grupales, que pueden aportar información de

base para la selección de los criterios y su valoración, o incorporar un análisis costo beneficio puede ayudar a valorar alternativas en alguno de sus criterios.

## **METODOLOGÍA**

### **POBLACIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO**

Una caracterización socio económica llevada a cabo previamente basada principalmente en el procesamiento de los datos por el INDEC para la zona de producción cañera, permitieron seleccionar las áreas y población objeto de estudio para la realización de los estudios cualitativos y cuantitativos (Giancola *et al.* 2012) antecedentes del presente proyecto. Si bien esta fuente de datos tiene diez años de antigüedad, es el único relevamiento censal de cobertura nacional que al momento se encuentra disponible.

Giancola *et al.* (2012) trabajaron sobre las fracciones censales de Monteros, Leales y Cruz Alta, elegidas - entre otros motivos-, por concentrar una gran cantidad de explotaciones agropecuarias cañeras en relación al resto de las fracciones de los respectivos departamentos. Los criterios que se tomaron en cuenta para la focalización de la población y del área de estudio, se establecieron a partir de la combinación de los datos del CNA 2002 con aportes de los técnicos participantes, y fueron los siguientes:

-Para la focalización de la población: proporción de superficie implantada de caña de azúcar; tamaño de las EAPs; existencia de cierta concordancia entre los datos del CNA 2002 y la situación observada en la actualidad y accesibilidad a los productores, determinada por el trabajo de los técnicos en la zona.

A partir de estos criterios se focalizó como población de estudio a los productores cañeros con superficie implantada con caña mayor a 5 ha y menor a 200 ha.

- Para la focalización de las áreas de estudio: fracciones que tengan mayor cantidad de EAPs seleccionadas; alta participación del estrato de EAPs seleccionadas en el total de EAPs de la fracción censal; fracciones con mayor peso de EAPs cañeras (en relación al total de EAPs y/o al total de EAPs cañeras del Departamento) y accesibilidad física a las áreas de estudio, determinada por las condiciones de infraestructura.

Tras el análisis de los datos censales presentados, se focalizaron las áreas de estudio, que corresponden a las siguientes fracciones censales:

- Fracción Censal 04 (Pueblo Independencia), Departamento Monteros
- Fracción Censal 07 (Ranchillos), Departamento Cruz Alta
- Fracción Censal 12 (Santa Rosa de Leales), Departamento Leales

### **METODOLOGÍA MULTICRITERIAL SELECCIONADA**

Entre los métodos multicriteriales propuestos se optó por el que mejor se adaptaba a la situación y a los fines de la evaluación. Se seleccionó el método NAIADE, que tiene como una de sus características la posibilidad de incorporar variables con mucha flexibilidad. Admite distintos tipos de datos, cualitativos o cuantitativos, distintos grados de certeza en la información, permite la sensibilización respecto a diferentes grados de compensación y de distancia entre los valores. El modelo evalúa alternativas de acuerdo a criterios, pero considerando la intensidad de las preferencias. La elección de este método multicriterio en particular radica fundamentalmente en la posibilidad de trabajar con datos con diversos grados de precisión y/o certeza, lo que permite incorporar información que de otro modo no se podría tomar en cuenta.

El método elegido básicamente consiste en la elección de alternativas (niveles tecnológicos) y su evaluación utilizando criterios específicos (económicos y ambientales). Estos criterios son decididos de acuerdo al problema evaluado. Luego de la selección de los criterios, se deben encontrar los indicadores que mejor los representen.

Con esas alternativas e indicadores se genera una matriz, y se procede a la agregación de los criterios, es decir, a la comparación de las alternativas según el valor que presenten sus criterios (reflejados en sus indicadores). El método NAIADE propone la aplicación de cálculos utilizando matemática difusa, con los que puede discernir la superioridad del indicador de una alternativa sobre el valor del mismo indicador para otra alternativa, con distintos grados de intensidad según la distancia que exista entre sus valores. Luego se

ranquean las alternativas de acuerdo a la cantidad e intensidad con que todos los indicadores de una alternativa se comparan con los de otra.

## SELECCIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS

Se buscaron indicadores económicos que permitan evaluar, los cambios que produce la adopción de las tecnologías críticas en la producción de caña de azúcar. Los indicadores que se seleccionaron para medir este impacto son: la relación Insumo-Producto, que muestra lo que ocurre cuando se agregan uno o más insumos variables a uno o más insumos fijos; Margen Bruto, indicador que surge de la diferencia entre los ingresos brutos (precio por cantidad) y los costos directos (todos los insumos que participan al realizar una actividad agropecuaria); Ingreso marginal que es el cambio en el ingreso total originado por el aumento de una unidad adicional de insumo; y el Costo marginal definido como el cambio en el costo total originado por una unidad adicional de producto; y la Tasa de Retorno Marginal, que se obtiene al dividir el margen bruto por los costos, cuando se pasa del uso de una tecnología a otra.

## SELECCIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES

Ante la falta de información completa sobre impactos ambientales de tecnologías críticas específicas de la caña de azúcar en Tucumán se decidió identificar los impactos ambientales más obvios de dichas tecnologías, seleccionar un indicador adecuado y valorarlo con el criterio de expertos. Así se propone valorar el impacto en el aire (salud, visibilidad y GEI) de la quema en caña de azúcar, utilizando valores calculados por Moreno, Ríos, y Altieri (2008), vinculado al tipo de cosecha, y al impacto en el agua de los diferentes paquetes de agroquímicos utilizados por cada nivel tecnológico.

Esto dista de ser una evaluación completa, pero se plantea como un comienzo en la valoración multicriterial de las tecnologías.

## MATRIZ DE IMPACTO: ALTERNATIVAS Y CRITERIOS

Las alternativas a evaluar son los tres niveles tecnológicos –bajo, medio y alto- definidos en el proyecto “Acceso a la tecnología”. Cada uno de estos niveles quedó delimitado por las tecnologías que utiliza, como se refleja en el cuadro 2. En el mismo se observa que de las ocho tecnologías consideradas críticas, el nivel tecnológico bajo no utiliza ninguna, el nivel medio incorpora semilla saneada, control químico de malezas, oportunidad de implantación y el descompactado. El nivel tecnológico alto, además de las mencionadas también implementa la cosecha mecanizada, la incorporación de rastrojo al suelo, la rotación y el subsolado (Giancola, *et al.*, 2012)

Tecnologías críticas	NTB	NTM	NTA
Semilla saneada		Si	Si
Control químico de malezas		Si	Si
Cosecha mecanizada			Si
Incorporación de rastrojo al suelo			Si
Oportunidad y calidad de la implantación		Si	Si
Rotación			Si
Subsolado y rastra			Si
Descompactado		Si	Si

Cuadro 2: Tecnologías críticas por nivel tecnológico

Estas tecnologías son evaluadas en base a cinco criterios económicos y cuatro criterios ambientales

## RESULTADOS

Para el cálculo de los indicadores económicos explicitados más arriba se utilizó el Sistema Computarizado para el Diagnóstico y Planificación de un Sistema Real de Producción, perteneciente a la Cátedra de Administración Rural de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, que arrojó por un lado los resultados de los indicadores seleccionados para cada nivel tecnológico (Cuadro 3), y por otro estos mismos resultados.

Tecnologías críticas	Rendimiento	IB/ha	CD/ha	MB/ha	Ins-Prod	IMg	CMg	T. R. Marg.
Nivel Tecnológico Bajo	50000	6623,60	5265,62	1357,98	9,50	1,258	0,1053	0,26
Nivel Tecnológico Medio	60000	9044,64	6343,28	2701,36	9,46	1,426	0,1057	0,43
Nivel Tecnológico Alto	70000	10903,82	6976,89	3926,93	10,03	1,563	0,0997	0,56

Cuadro 3: Valoración de indicadores económicos por nivel tecnológico

Los indicadores ambientales seleccionados miden las dos tecnologías consideradas de mayor impacto en esta dimensión: la cosecha mecanizada –su falta de adopción se asocia a la quema de cañaverales– (Cuadro 4) y el control químico de malezas (Cuadro 5)

Para valorar los efectos de la emisión de material particulado se utilizó la Concentración Admisible para Periodos Cortos (CAPC)<sup>5</sup>. Los criterios adoptados fueron, para salud: <sup>(1)</sup> Alto: supera la CAPC; Medio: cumple con CAPC; <sup>(2)</sup> Nulo: Por debajo de la CAPC; y para visibilidad: <sup>(3)</sup> Alto: 10 % en + o – el promedio de focos; Medio: entre 50 y 75 % del promedio de focos ígneos y <sup>(4)</sup> Nulo: por debajo del 25 % de focos ígneos.

Medio afectado	Indicador	Limite según Normativa/ Unidad	NTB	NTM	NTA	Afecta
Aire	Emisión Material Particulado (PM10)	Res. 294/89 CAPC* 0,5 mg/m <sup>3</sup>	Alto <sup>(1)</sup>	Alto	Nulo <sup>(2)</sup>	Salud: aumento enfermedades respiratorias y afectación de conjuntivas
Aire	Emisión Material Particulado (PM10)	Cantidad Focos Ígneos: Promedio Anual 700	Alto <sup>(3)</sup>	Alto	Nulo <sup>(4)</sup>	Visibilidad: siniestros viales y daños infraestructura (tendidos eléctricos)
Aire	Emisión GEI		Critico <sup>(5)</sup>	Critico	Bajo <sup>(6)</sup>	Calentamiento Global

Cuadro 4. Efecto de la quema de cañaverales

Para valorar el efecto de los Gases efectos invernadero (GEI, principalmente CO), se consideraron diversos estudios y mediciones (Inta Famaillá), que reflejaron valores de 80 ppm a 20 m del foco y de 4 ppm a 1500 m. La concentración permisible para aire limpio es de < 1ppm. Así se determinaron los niveles: <sup>(5)</sup> Crítico: más de 4 ppm; Alto: entre 1 y 4 ppm; <sup>(6)</sup> Bajo: < 1 ppm. (Moreno, Ríos, y Altieri, 2008)

Medio afectado	Indicador	NTB	NTM	NTA	
	Impacto Ambiental Total	Bajo	Medio	Alto	
Agua *	Aparición de contaminantes químicos en cursos superficiales o napas	Bajo	Medio	Alto	Afectación de aguas superficiales y subterráneas por escorrentía y lixiviación

Cuadro 5. Efecto del uso de agroquímicos

Se tuvieron en cuenta, además de los productos que se utilizan, las pendientes de los terrenos en donde se desarrolla la Caña (1-3% la mayor superficie y entre 3-5% las mayores pendientes) y el régimen de precipitaciones de 1200 mm. El nivel tecnológico bajo en general no utiliza productos químicos, el medio se caracteriza por utilizar Ametrina, 24D, MSMA y urea, y el nivel alto, a esos les suma Atrazina, Starane y Acetoclor

Así, la matriz de impacto queda definida como se observa en el cuadro 6

Nivel Tecnológico	Margen Bruto \$/ha	Relación Insumo Producto	Ingreso Marginal (\$)	Costo Marginal (\$)	Tasa de retorno marginal	Salud	Visibilidad (accidental)	GEI	Afectación del agua por agroquímico
Bajo	6623,60	5265,62	1357,98	9,50	0,26	Alto	Alto	Crítico	Bajo
Medio	9044,64	6343,28	2701,36	9,46	0,43	Alto	Alto	Crítico	Medio
Alto	10903,82	6976,89	3926,93	10,03	0,56	Nulo	Nulo	Bajo	Alto

Cuadro 6 Matriz de impacto

<sup>5</sup> No deberá ser sobrepasada en períodos continuos de 15 minutos, donde pudiera verse afectados la salud y los bienes de la comunidad, o provocar molestias a la misma.

En primer término, y a los fines de entender los alcances de la agregación<sup>6</sup> de los criterios se presenta una breve explicación de las implicancias de los parámetros que son posibles de manipular con el software NAIADE.

Como se explica más abajo, la variación en el nivel de los parámetros  $\alpha$  y  $\tau$  del modelo adquiere relevancia en relación a dos aspectos: la inclusión o no del criterio en la comparación entre dos alternativas ( $\alpha$ ), y en el nivel de compensación que pueda aceptarse entre criterios ( $\tau$ )

**Parámetro  $\alpha$ : Factor de Mínimo requerimiento para las relaciones fuzzy**

Este es el mínimo requerimiento impuesto a los criterios para ser agregados. Es decir, sólo los criterios cuyos índices de credibilidad están por sobre el umbral de  $\alpha$  serán contados positivamente en el proceso de agregación. Así, a medida que se asignan valores más altos a  $\alpha$ , aumenta la intensidad de preferencia o indiferencia<sup>7</sup>, necesaria para que los criterios sean contabilizados en el proceso de agregación. El valor que puede tomar  $\alpha$  varía entre 0 y 1. Con valores sobre 0,5 se está exigiendo mayores distancias que las definidas por los umbrales de preferencia para decir que una alternativa es *mucho mejor, mejor, aproximadamente igual, igual, peor o mucho peor* que otra. En el ejercicio “base” el  $\alpha$  elegido es 0,5

**Parámetro  $\tau$ : Operador para la determinación del grado de compensación**

El operador utilizado en este ejercicio es el de Zimmermann-Zysno ya que permite manejar el grado de compensación entre los criterios en el proceso de agregación, a través del *grado de compensación*  $\tau$ , que puede variar entre 0 (mínima compensación) y 1 (máxima compensación). En este caso se optó por permitir una compensación media entre criterios ( $\tau$  0,50)

Una vez ingresados los parámetros de cálculo, los resultados que arroja NAIADE, muestran a la opción C–Alto nivel Tecnológico– en el primer lugar del ranking (Figura 1). Los niveles tecnológicos medio y bajo comparten el segundo plano de este ranking.

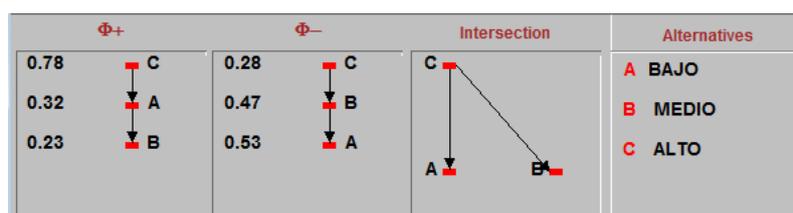


Figura 1: Ranking de alternativas utilizando todos los criterios.

En la comparación apareada entre las alternativas BAJO y MEDIO puede observarse que “BAJO” aparece como mucho mejor que “MEDIO” en la afectación del agua y mucho peor en la variable margen bruto. También califica como peor en Ingreso marginal. Se observan pocas diferencias en lo referido a Relación Insumo producto, y en las variables ambientales relacionada con la quema de cañaverales (Figura 2).

Este resultado se puede entender si se considera que el nivel tecnológico medio mantiene la principal afectación del ambiente del nivel tecnológico bajo, derivado de la quema de cañaverales e incorpora el problema de afectación del agua por uso de agroquímicos. Así su impacto ambiental (combinado) es mayor al de cualquiera de los otros niveles, pero es compensado por la mejor performance económica que el nivel bajo.

<sup>6</sup> Por “agregación” se entiende a la consideración en conjunto de las comparaciones de todos los indicadores.

<sup>7</sup> Intensidad: distancia entre alternativas para un criterio determinado.

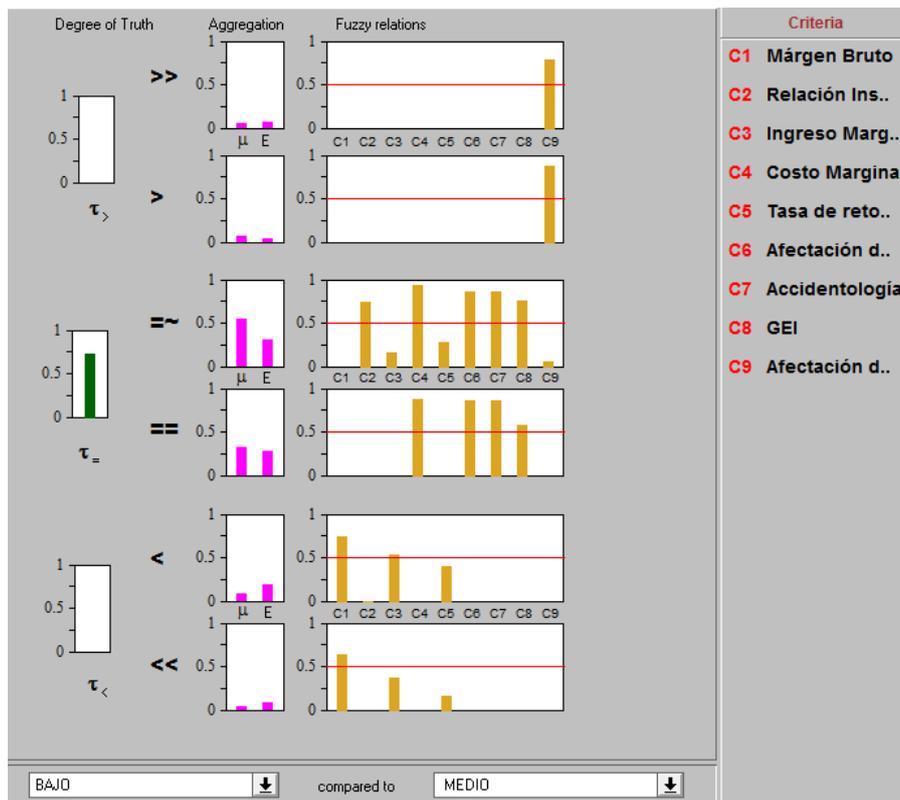


Figura 2: Comparación apareada de alternativas: Niveles tecnológicos BAJO y MEDIO

Si el planteo del problema se hace sólo en términos socioeconómicos, es decir, sin incluir variables ambientales, la producción con nivel tecnológico alto sigue estando primera en el orden, pero cambian de posición las otras alternativas, quedando en segundo lugar el nivel tecnológico medio (Figura 3).

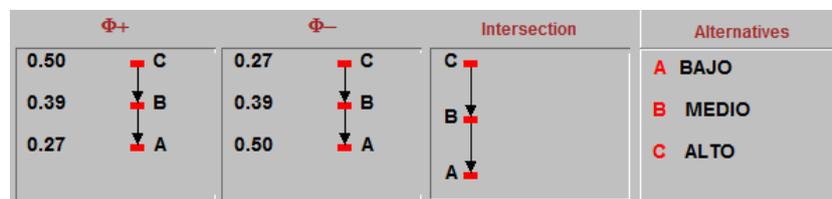


Figura 3: Ranking de alternativas utilizando todos los criterios.

## CONCLUSIONES

Si bien los resultados son elocuentes, se pueden apuntar algunas conclusiones y reflexiones finales.

En primer término, se observa que la valoración integral difiere de la valoración económica, a pesar de que son pocos los aspectos analizados. Así, en la valoración más integral, el nivel tecnológico medio no resulta una mejor opción que el nivel tecnológico bajo, explicado por su pobre performance en la dimensión ambiental.

Por lo mismo, si se consideran sólo los aspectos económicos, la mejor opción es el nivel tecnológico alto, y la peor el nivel tecnológico bajo, ranking que va en línea con las recomendaciones que habitualmente se realizan a los productores, evidenciando que esta –la económica- es la dimensión utilizada para la toma de decisiones.

Así, como recomendación para los técnicos surge, la opción de orientar como sendero de adopción –si esto fuera posible técnicamente- primero hacia la cosecha mecanizada (como una manera de evitar la quema) y luego el paquete de uso de agroquímicos, para que de esta manera la mejora en el uso de tecnología no se realice con una alta presión sobre distintos aspectos del ambiente simultáneamente.

Por otra parte, si bien se reconoce lo acotado que resultan los indicadores utilizados para reflejar el problema en toda su magnitud, este trabajo pretende servir como base metodológica, sobre el cual construir una matriz más completa. El grado de subjetividad implícita en la valoración de indicadores cualitativos, se ve compensada por la transparencia de la información planteada, situación que se irá perfeccionando en la medida en que se genere más información cuantitativa de los impactos. Por eso, también el trabajo pretende servir de guía respecto del tipo de información que hace falta generar para lograr un análisis integral de la sustentabilidad de sistemas productivos.

Finalmente, se destaca que si bien a nivel de productor –especialmente chico- las decisiones pasan casi exclusivamente por las urgencias económicas, la información que se puede generar debería servir a nivel institucional para orientar las políticas y las actividades de extensión.

## BIBLIOGRAFÍA

Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2000). *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. 1ra. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Barba-Romero, S. y Pomerol, J.C. (1997). *Decisiones Multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Universidad de Alcalá.

Bautista-Gálvez, A., González-Cortes, N., & Zapata, L. G. (2005). Tres dosis de *Metarhizium anisopliae* sobre la mosca pinta (*Aeneolamia* spp.) en caña de azúcar en la Región de los Ríos, Estado de Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 21(41), 37-40.

Bejarano Ávila, J. (1998). *Un marco institucional para la gestión del medio ambiente y para la sostenibilidad agrícola en la agricultura, medio ambiente y pobreza en América Latina*. Washington D.C.: IFPRI - BID.

Cabrera, J., & Zuaznábar, C. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del Carbono. *Cultivos Tropicales* [on line], 31, 5-13.

Campitelli, P. e. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencias del suelo*, 28 (2), 223-231.

Cantu, M. P., Becker, A., & Bedano, J. C. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencias del Suelo*, 25 (2), 173-178.

De Prada, J., Farhed, S., Bravo-Ureta, B., Degioanni, A., & Cantero A. (2009). El impacto económico de la agricultura en la degradación de los humedales: Modelo teórico y valoración empírica en el sur de Córdoba, Argentina. *XL Reunión Anual de la AAEA*. Bahía Blanca.

Digoncelli, P. A., Scandaliaris, J., Tonatto, M. J., Giardina, J. A., Casen, S. D., Leggio Neme, M. F., & Romero, E. R. (2007). La caña verde: un aporte a la sustentabilidad de la producción de la caña de azúcar. II-Alternativas y equipos para el manejo del cañaverol sin quema. *Avance Agroindustrial (Argentina)*, 28(4), 16-20.

EEOC. (2011). Análisis económico del cultivo de caña de azúcar. *Reporte Agroindustrial*, 61, 1-6.

Fernandez, R. J. (2001). Impacto global de las actividades agropecuarias. En L. Giuffre, *Impacto Ambiental en Agroecosistemas*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Facultad de Agronomía. UBA.

Forcada, E. (2000). *El Impacto Ambiental en la Agricultura Metodologías y Procedimientos*. Andalucía, España: UNICAJA.

Giancola, S., Morandi, J., Gatti, N., Di Giano, S., Dowbley, M., & Biaggi, M. (2012). Causas que afectan la adopción de tecnología en pequeños y medianos productores de caña de azúcar en la provincia de Tucumán : enfoque cualitativo. INTA.

Giancola, S.I. (coordinadora) (2010): Estrategias de intervención para mejorar el acceso a la tecnología en el sector productor Proyecto Específico INTA AEES 303532  
[http://www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/Resumen\\_Ejecutivo-AEES303532.pdf](http://www.inta.gov.ar/ies/docs/otrosdoc/Resumen_Ejecutivo-AEES303532.pdf)

- Gil, S., Herrero, M., Flores, M., Pachoud, M., & Hellmers, M. (2009). Intensificación Agropecuaria Evaluada por Indicadores de Sustentabilidad Ambiental. *Archivos de Zootecnia*, 58 (223), 413-123.
- Girardin, P., Bockstaller, C., & Van der Werf, H. (2000). Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO\* ECO method. *Environmental Impact Assessment Review*, 20 (2), 227-239.
- Gironés, X., Madrid, D., & Valls, A. (2008). Comparación de dos Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio: MACBETH y PROMETHEE. Recuperado el Agosto de 2011, de Departament d'Enginyeria Informàtica i Matemàtiques, Tarragona: [deim.urv.cat/recerca/reports/DEIM-RR-08-004.pdf](http://deim.urv.cat/recerca/reports/DEIM-RR-08-004.pdf)
- Giuffre, L., & Ratto, S. (2001). Contaminación de suelos. En L. Giuffre, *Impacto Ambiental en Agroecosistemas*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía . UBA.
- INTA. (2010). Estrategias de intervención para mejorar el acceso a la tecnología en el sector productor - INTA. Recuperado el 1 de Julio de 2012, de <http://inta.gov.ar/proyectos/aees-303532>
- Moreno, R., Ríos, V., & Altieri, H. (2008). Emisiones resultantes de la quema de residuos de cosecha de caña de azúcar el Tucumán. Libro de Resúmenes, (pág. Primras Jornadas Universitarias del Norte Grande Argentino sobre Medio Ambiente). Tucumán.
- Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational research consequences. *European Journal of Operational Research*, 158, 662-677.
- Munda, G. ; Nijkamp, P. and Rietveld, P. (1994). Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. *Ecological Economics* 10 (2), 97-112
- Naredo, J. M. (2011). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Cuadernos de investigación urbanística*(41).
- Piriz Carrillo, V. R., Gasparri, N. I., Paolini, L., & Grau, H. R. (2010). Monitoreo satelital de fuegos en el área cañera de la provincia de Tucumán, Argentina. *Revista SELPER*, 2, 5-13.
- Reyes, M., Arroyo, O., & Navarro, A. (2004). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. *Memorias del 2do Foro de Transferencia de Tecnología en el Sector Agropecuario en el Estado de Puebla*, (págs. 27-29). Izúcar de Matamoros, Puebla, México.
- Rocha, F. L., Marziale, M. H., & Robazzi, M. L. (2007). Poverty as a predisposing factor of illness tendencies in sugar cane workers. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 15(Sep), 736-741.
- Romero, E. R., Agustín Sanzano, G., Scandaliaris, J., & Rojas Quintero, H. (2007). La caña verde: un aporte a la sustentabilidad de la producción de la caña de azúcar. I. Consideraciones generales. *Avance Agroindustrial (Argentina)*, 28(4), 11-15.
- Sarandon, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En S. Sarandon, *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. (págs. 393-414).
- Scandaliaris, J., Pérez Zamora, F., Rufino, M., Romero, E., & Morandini, M. (2002). La cosecha verde como estrategia para disminuir el impacto ambiental de la caña de azúcar. *Avance Agroindustrial*(1), 14-17.
- Staaty, T. (2005). *Decisión Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World* (3rd. Ed. ed.). Pittsburg, USA: RWS Publications.
- Viglizo, E. (2001). Aproximación metodologica al analisis de la gestión ambiental de empresas rurales mediante Indicadores de sustentabilidad. Programa nacional de Gestión Ambiental Agropecuaria. Argentina: INTA.
- Viglizo, E., Pordomingo, A., Carsto, M., & Lértora, A. (2002). La sustentabilidad ambiental del agro pampeano. Programa Nacional de Gestión ambiental Agropecuaria. Argentina: INTA.

Viglizzo, E. F., Carreño, L. V., Volante, J., & Mosciaro, M. J. (2012). Valuación de bienes y servicios ecosistémicos: ¿Verdad objetivo o cuento de la buena pipa? En P. Laterra, E. G. Jobbágy, & J. M. Paruelo (Edits.), Valoración se servicios ecositémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento (págs. 17-36). Buenos Aires, Argentina: INTA.