

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

## Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte II. Eficiencia Energética (EMERGY), Trayectoria de Sistemas y ejemplo de un modelo de análisis integral de fincas (GAMEDE)

### *Methodologies for evaluating agricultural and animal production systems. Part II: Energy efficiency (EMERGY), farms' trajectory and an example of a whole farm model (GAMEDE)*

Fabien Stark<sup>1,2,3\*</sup>, Charles-Henri Moulin<sup>4,5</sup>, Chloé Cangiano<sup>6</sup>, Mathieu Vigne<sup>8</sup>,  
Jonathan Vayssières<sup>7</sup> y Eliel González-García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Unité Mixte de Recherche Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux (UMR 868, SELMET), 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

<sup>2</sup>AgroParisTech, Centre de Montpellier, France

<sup>3</sup>Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité de Recherches Zootechniques (UR0143, URZ), Guadeloupe, France

<sup>4</sup>Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Unité Mixte de Recherche Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux (UMR 868, SELMET), France

<sup>5</sup>Montpellier Supagro, Unité Mixte de Recherche Systèmes d'Élevage Méditerranéens et Tropicaux (UMR 868, SELMET), France

<sup>6</sup>Agrosup Dijon, France

<sup>7</sup>Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Dakar, Sénégal

<sup>8</sup>Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), La Réunion, France

\*Autor para correspondencia: fabien.stark@iavff-agreenium.fr

**RESUMEN:** Este artículo es la continuación del publicado en *Pastos y Forrajes*, no. 1 de 2016, en el que se ofrecen las bases generales de una selección de metodologías actualmente disponibles a escala internacional para la evaluación dinámica de sistemas de producción. En esta parte se describen las metodologías Emergia o Evaluación Energética Integral (EMERGY) y Trayectoria de Sistemas; así como se ofrece un ejemplo concreto de la aplicación de los principios de estos métodos en la construcción de un modelo de evaluación integral de sistemas agropecuarios, que se denomina GAMEDE.

*Palabras clave:* calidad de energía, evaluación, producción animal.

**ABSTRACT:** This paper is the continuation of the one published in *Pastos y Forrajes*, no. 1, 2016, in which the general bases of a selection of currently internationally available methodologies for the dynamic evaluation of production systems, are offered. This part describes the methodologies Integral Energy Evaluation (EMERGY) and Systems' Trajectory; and also a concrete example is provided of the application of the principles of these methods in the construction of an integral evaluation model of farming systems, called GAMEDE.

*Keywords:* animal production, evaluation, quality of energy

### **Eficiencia Energética Integral (Emergy)**

Emergia (del inglés *Emergy*) es la metodología que se refiere a la cantidad total de energía útil de un determinado tipo, que se ha utilizado directa o indirectamente en las transformaciones necesarias para generar un producto o servicio (Odum, 1996). Para ello se toma en consideración, y de hecho se

mide, la calidad de las diferentes formas de energía provenientes de recursos como la luz solar, el agua, los combustibles fósiles o minerales, el trabajo, etc. (fig. 1). La unidad de medida es el emjulio (emoule –emJ–); la cual se refiere a la energía útil de un tipo 'X', que se consume en las transformaciones que ocurren en los sistemas naturales, ecológicos

o humanos, y que cuenta con una determinada capacidad para realizar trabajo. El reconocimiento de esas diferencias de «calidad» es un concepto clave en esta metodología, que permite la evaluación del uso de todos los recursos consumidos en un sistema dado, con diferentes fronteras de análisis posibles, mediante la cuantificación de las diversas fuentes de energía que intervienen en un proceso y la contabilización de los flujos de entrada, circulantes y de salida de cada fuente unitaria. Este método parece tener ventajas respecto a otros que también analizan la eficiencia energética a diferentes niveles, como, por ejemplo, el Análisis Energético (*Energy Analysis*) o la Huella Ecológica (*Ecological Footprint*; Vigne *et al.*, 2012).

Dicho método responde a la primera mención del principio de jerarquía de la energía y señala que «la calidad de la energía se mide a través de la energía usada en las transformaciones» de un tipo de energía al siguiente. Dichos factores de calidad de la energía también se han representado en términos de combustibles fósiles, y se han denominado «equivalentes de trabajo-combustible fósil» (*Fossil Fuel Work Equivalents* –FFWE–), cuya equivalencia aproximada es de una kilocaloría de combustible fósil o alrededor de 2 000 kcal de luz solar.

Las bases teóricas y conceptuales de la metodología energética se encuentran en la termodinámica, la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1968) y la ecología de sistemas (Odum, 1983). Para

entender la historia de esta teoría, se deben consultar dos publicaciones: *Maximum Power* (Odum, 1995) y *Environmental Accounting* (Odum, 1996).

Vigne *et al.* (2013) aplicaron la Emergía para comparar la eficiencia energética de sistemas de producción de leche vacuna, en condiciones socioeconómicas y edafoclimáticas contrastantes. El punto de partida fue considerar el conjunto de energías presentes en el sistema, para calcular su eficiencia de conversión en los procesos de interés implicados (por ejemplo: procesos biológicos, de producción, etc.). Los sistemas evaluados fueron: a) sistema de bajos insumos en el sur de Mali (África), b) y c) sistemas con utilización moderada o poca dependencia de insumos externos en dos regiones de Francia (Poitou-Charentes y la Bretaña), y d) sistema de altos insumos en la isla La Reunión. Los resultados de este estudio mostraron que el sistema en Mali empleó la menor cantidad total de emergía a todos los niveles, y fue el de mayor utilización de recursos y energía renovables. La investigación permitió identificar diferencias notables en la eficiencia de la transformación de los recursos disponibles y los respectivos impactos sobre el medioambiente.

Por su parte, Martin *et al.* (2006) analizaron tres sistemas agrícolas de Estados Unidos y México, con el objetivo de comparar la utilización de los recursos, la productividad, el impacto sobre el medioambiente y la sostenibilidad global. Estos

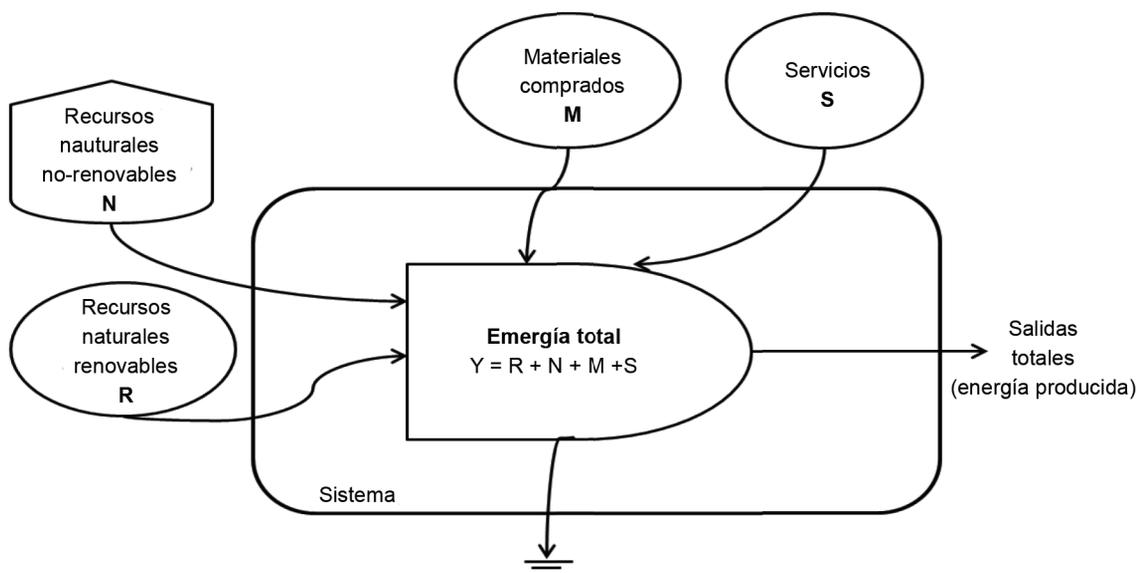


Figura 1. Representación diagramática de los tipos de energía comprendidos en el análisis de un sistema, utilizando la metodología Emergía (adaptado de Vigne *et al.*, 2013).

autores reconocieron la utilidad de Emergía para transformar los diferentes tipos de energía en una forma común (equivalentes de la energía solar) y posibilitar las comparaciones útiles entre sistemas diversos y contrastables.

De manera similar, el uso de esta metodología permitió cuestionar políticas públicas y estrategias en China, las cuales estaban encaminadas a sustituir la producción de arroz a nivel nacional por la de vegetales (Lu *et al.*, 2010). Se demostró que esta decisión sería justificada, solamente, por razones económicas (entradas/salidas de capital) y a corto plazo; pero jamás por razones con un enfoque integrado (medioambiental, de uso de energía renovable y económico) y con estrategias a largo plazo.

Asimismo, Rótolo *et al.* (2007) utilizaron el enfoque Emergía para evaluar el sistema de pastoreo del ganado bovino en la Pampa Argentina, de manera global, en su contexto medioambiental y económico. El estudio mostró que las precipitaciones contribuyeron con el 61 % de la energía total del sistema de pastoreo. Los pastos naturales mostraron un 85 % de dependencia de los recursos renovables, y menos del 4 % respecto a los insumos importados al sistema. Por el contrario, los pastos sembrados y el maíz dependieron en un 41 y 35 %, respectivamente, de los recursos adquiridos (comprados) del exterior. En general, se comprobó que el sistema de pastoreo en esta región es sostenible desde el punto de vista ambiental, con un bajo impacto sobre el medioambiente. No obstante, con este análisis se demostró que en el seno del sistema global existen subsistemas en los que el pastoreo bovino depende, en gran medida y en función de ciertas etapas de su ciclo, de recursos externos, así como de recursos no renovables, pero de forma moderada. Los pastos naturales presentaron la mejor sostenibilidad ambiental, debido, fundamentalmente, a las escasas pérdidas de materia orgánica del suelo.

### **Trayectoria de los sistemas. ¿Por qué analizarla?**

El análisis de la trayectoria de los sistemas se justifica al considerar tres elementos clave del enfoque sistémico (Le Moigne, 1990). En primer lugar, el hecho de que los sistemas se transforman en el tiempo. Analizar un sistema agropecuario significa, ante todo, estudiar su funcionamiento en un instante  $t$  dado, o a lo largo de un ciclo anual, como, por ejemplo, mediante el uso de metodologías como Ecological Network Analysis (ENA) o Emergy, las cuales pueden examinar el comportamiento de los

flujos acumulados durante un período. En segundo lugar, se deben evaluar las transformaciones de la estructura del sistema y las evoluciones de sus propósitos, finalidades u objetivos a largo plazo (por ejemplo, en un período de varios años).

Por otra parte, un sistema agrícola debe ser considerado como un sistema abierto, capaz de realizar cambios como respuesta o anticipación a la evolución de su entorno (clima, mercado, etc.) o a perturbaciones que afectan las explotaciones de una región o territorio en un momento dado. Los cambios también pueden ser considerados como respuestas a acontecimientos ocurridos dentro del sistema (por ejemplo: evolución de la familia y de la mano de obra), que a su vez afectan las explotaciones en diferentes momentos de su ciclo de vida. A partir de estos elementos de análisis, se plantean cuestiones pertinentes, como la perennidad de los sistemas o su capacidad de perdurar y mantener su estructura y finalidad, en medio de un entorno incierto y en constante evolución.

Además, los sistemas agrícolas son manejados por individuos o comunidades, lo que implica plantear las hipótesis: i) de racionalidad limitada, es decir, los productores tienen sus razones para hacer lo que hacen, y ii) de comportamiento adaptativo (Brossier *et al.*, 1997), o sea, los productores toman decisiones en función de las informaciones de las que disponen (las cuales pueden ser incompletas), y de las finalidades que ellos les asignan a sus sistemas, en medio de una serie de factores limitantes. Esta racionalidad puede surgir a partir de una perspectiva económica: los productores escogen las actividades y los modos de producir, según sus intereses y sus medios. Sus decisiones también pueden responder a otra serie de factores de índole cultural o social, fundamentalmente. Lo anterior remite a la cuestión del sentido que le dan los productores a sus acciones, de acuerdo con sus propios puntos de vista (Darré, 1996).

Por tanto, el análisis de la trayectoria de las explotaciones agrícolas permite evaluar los cambios y las transformaciones realizadas por sus actores principales, en medio de un entorno muchas veces incierto y en constante evolución. Este estudio es de tipo comprensivo, ya que se trata de: i) comprender las razones que provocan el cambio (o la resistencia al cambio), ii) caracterizar el sentido que les dan los productores a sus comportamientos, iii) identificar las condiciones en las que los productores adoptan otros modos de producción, y iv) comprender cómo los agricultores actúan ante una situación de incertidumbre.

El objetivo de dicho enfoque comprensivo es proponer nuevas evoluciones, en coherencia con la situación de los productores; en este sentido se recomiendan los trabajos de Napoléone y Chia (2010), relacionados con la coordinación entre actores alrededor de la variación estacional de la producción de leche caprina en una región determinada; o los de Ryschawy *et al.* (2013), acerca de las estrategias para mantener los sistemas de agricultura-ganadería en un territorio. Este enfoque también pretende motivar la reflexión de los actores de la cadena productiva sobre sus acciones o la toma de decisiones, para que modifiquen sus representaciones de la situación y su dinámica (Pluvinage y Moulin, 2007), o evalúen, incluso, la sensibilidad o la robustez de sus sistemas (Nascimento de Oliveira, 2014).

### ¿Qué métodos se deben utilizar para analizar la trayectoria de los sistemas?

Según Teno *et al.* (2013), existen cuatro grandes grupos de métodos para evaluar la trayectoria de los sistemas. El primero está compuesto por el monitoreo de las explotaciones o fincas, el cual es organizado por instituciones de investigación (por ejemplo: el INRA en Francia; Benoit y Laignel, 2011); el monitoreo de apoyo técnico (por ejemplo: la Red de Criadores de Ganado Limousin –Réseau d'élevage bovin Limousin–, 2012); y el monitoreo de desarrollo, como la Empresa para el Desarrollo Textil de Mali –Compagnie Malienne pour le Développement du Textile– (Sanogo *et al.*, 2010). Dicho monitoreo posibilita un registro anual de bases de datos, estructuras y resultados socioeconómicos. Este método es fiable, ya que permite la recolección de numerosos datos cuantitativos. Sin embargo, como se concentra en el análisis de los cambios que se están produciendo y sus impactos, requiere de numerosos años (5-10 como mínimo) antes de estar en condiciones de poder analizar la trayectoria realizada por el sistema en cuestión. Además, este enfoque metodológico necesita de medios importantes para poner en práctica los monitoreos de las fincas: las muestras que se seleccionan deben estar en un rango de alrededor de 20-30 fincas, con numerosos datos recolectados (monitoreo con objetivos de investigación), o de hasta 200-300 fincas, con un volumen de datos más restringido (del tipo monitoreo-evaluación, en el marco de los objetivos de estructuras de desarrollo local o de apoyo, consejería técnica).

El segundo método se basa en la planificación de encuestas instantáneas a una muestra relativa-

mente grande (50-200 explotaciones), las cuales facilitan la caracterización de la diversidad de explotaciones o fincas en un instante  $t$  determinado. Las encuestas se aplican de cinco a diez veces a las mismas muestras, con el objetivo de disponer de un nuevo estado de las explotaciones a un momento  $t + 1$ . La comparación entre  $t$  y  $t + 1$  permite reconstruir la trayectoria de las explotaciones entre dos fechas determinadas (García-Martínez *et al.*, 2009; Dai, 2010, Ulrich *et al.*, 2012).

Por ejemplo, para analizar los factores de la degradación de los pastizales en dos comunidades del Amazonia oriental, Navegantes-Alves *et al.* (2012a) utilizaron datos provenientes de encuestas realizadas en el año 2003 y repetidas a los mismos productores ( $n = 53$ ) en 2008. Ello permitió identificar trayectorias estables, ya que los sistemas presentaron poca evolución en sus estructuras y en su funcionamiento; así como fincas que habían seguido trayectorias de evolución hacia otras modalidades de sistemas (por ejemplo: bovino especializado o sistemas diversificados), o sea, trayectorias fluctuantes, sin una orientación bien definida (tabla 1).

El análisis del manejo de los pastizales y el estado de la vegetación mostró que, con un mismo régimen de manejo (por ejemplo: pastoreo continuo o rotación lenta), la invasión por plantas indeseables fue menos elevada en el caso de las explotaciones con trayectorias estables; la estabilidad de las prácticas de manejo a mediano plazo, al parecer, resultó un factor favorable desde el punto de vista del equilibrio de la vegetación. Este método observa, igualmente, los cambios que se efectúan en un período dado, lo cual requiere esperar varios años antes de poder analizar las trayectorias a mediano plazo. Sobre la base de las encuestas durante intervalos de tiempo más espaciados, esta metodología permite trabajar con muestras grandes, por lo que se puede extender hasta varias centenas de explotaciones.

Los otros dos métodos se basan en la aplicación de encuestas retrospectivas, que permiten reconstruir la historia de las explotaciones, mediante un llamado a la memoria de los productores y actores más próximos a la explotación. Ambos se diferencian por el tipo de dato recolectado. El primero procede de manera que el estado de las explotaciones se explica a intervalos de tiempo regulares (por ejemplo: cada cinco años), sobre la base de una lista de criterios cuantitativos (área, rebaño, etc.) o cualitativos (presencia de actividades extragrícolas, tipo social de la familia, etc.). Con el empleo de este método, Rueff *et al.* (2012) describieron la evolución de

Tabla 1. Trayectoria de explotaciones en dos comunidades del Amazonia oriental entre 2003 y 2008, después de un proceso de colonización entre los años 1985 y 2000.

Número	Trayectoria Estabilizada		Trayectoria Variable			
	Especializada	Diversificada	Hacia la especialización	Hacia la diversificación	Fluctuante	
	21	5	14	4	9	
Tamaño del rebaño (cabeza)	2008	46	62	34	19	31
	2003	51	76	43	8	15
Superficie de pasto (ha)	2008	39	74	17	18	33
	2003	41	78	41	21	22
Área de bosque (%)	2008	13	15	45	20	16
	2003	10	14	20	17	16

Fuente: Navegantes-Alves *et al.* (2012a).

once variables, desde 1950 hasta 2003, para el caso de 24 explotaciones de cinco municipios de los Pirineos en Francia. Los análisis estadísticos utilizados en este y otros ejemplos, y surgidos de disciplinas como la ecología (Dolédec y Chessel, 1987), permitieron caracterizar *a posteriori* la evolución y construir tipologías de trayectorias.

En el caso del segundo método, la realización de encuestas retrospectivas es la base que permite identificar los acontecimientos ocurridos desde el inicio (Moulin *et al.*, 2008). A partir del conocimiento de la historia de la explotación, mediante una buena ubicación en el tiempo de cada uno de los acontecimientos y cambios ocurridos, se establecen los puntos de conexión entre estos (un cambio en una fecha determinada provoca otro cambio ulterior) o con los acontecimientos o evoluciones ocurridas en el entorno de la explotación.

Asimismo, el análisis de la historia de la explotación permite diferenciar períodos, mediante los que se identifican coherencias entre la estructura, el funcionamiento y los objetivos de la familia, a través de los cuales pueden haber ocurrido cambios graduales, sin cuestionar tal coherencia (fig. 2). Entre tales períodos se pueden detectar transformaciones profundas que afectan el sistema, lo que permite pasar del análisis de una coherencia a otra, en un período de tiempo más o menos largo (de 1 a 3-4 años). Por tanto, el análisis de un conjunto de trayectorias de explotaciones agropecuarias posibilita construir tipologías de trayectorias o realizar análisis transversales en un tema específico.

Teniendo en cuenta dicho método, Morin *et al.* (2007) identificaron tres tipos de trayectorias de ga-

nadería bovina, que garantizaban la demanda de leche local en el mercado de la ciudad de Ségou (Mali). Por su parte, Moulin *et al.* (2004) estudiaron los factores que influyeron en la eliminación de las tensiones que se producían, por ejemplo, cuando no se aumentaba la carga de trabajo y se incrementaba el tamaño del rebaño.

Los dos métodos descritos anteriormente se pueden articular con frecuencia, lo cual facilita la complementación del enfoque por estados con la ejecución de entrevistas complementarias, que enfatizan en acontecimientos detectados en el análisis de los cambios de estadios (Ryschawy *et al.*, 2013). El enfoque por acontecimiento permitiría la reconstrucción *a posteriori* de las evoluciones de estados a intervalos de tiempo regulares (Morin *et al.*, 2007). Estos métodos retrospectivos (desarrollados en Francia) se han utilizado en numerosos contextos, tanto en Francia (Madelrieux *et al.*, 2015) como en otros países (Coulibaly *et al.*, 2007; Navegantes-Alves *et al.*, 2012b). Sin embargo, presentan dos dificultades principales. Ante todo, el hecho de que se basan en la memoria de los productores, con todas las justificaciones y los juicios que ello conlleva, lo cual exige una racionalización *a posteriori* en el ejercicio de interpretación de los resultados, en función de los cambios efectuados. Por otra parte, las encuestas son realizables solamente en explotaciones que todavía existen. Si bien es cierto que la investigación de los factores que determinan la perennidad de estas explotaciones es posible, estos métodos no permiten trabajar o investigar sobre los factores y condiciones que han determinado la desaparición de otras explotaciones. No obstante, la gran ventaja de estos métodos es que permiten investigar

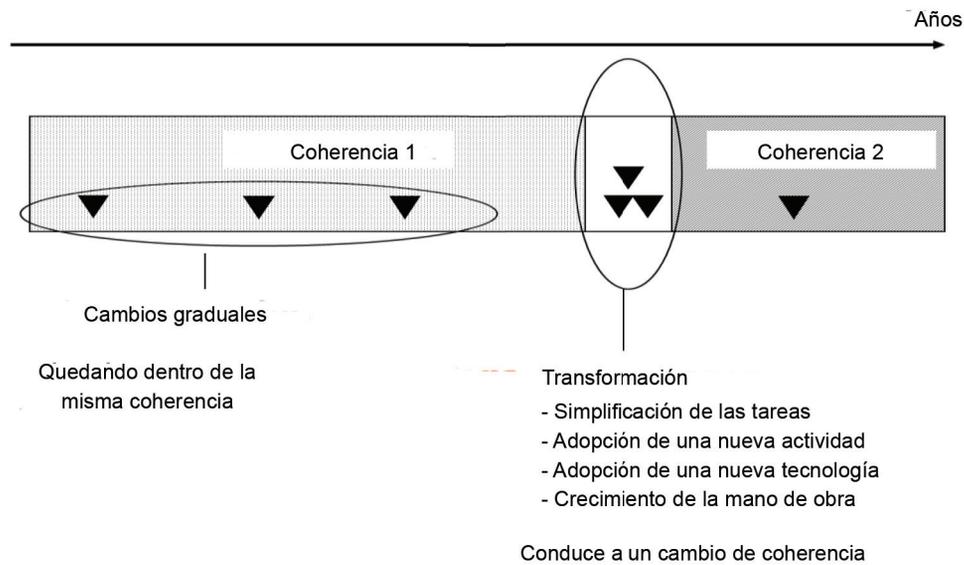


Figura 2. Representación gráfica de un período de coherencia y de transformación del sistema a partir del análisis por trayectoria (Moulin *et al.*, 2008).

la trayectoria, a partir de las encuestas realizadas en el terreno, en un período de tiempo razonable (por ejemplo: algunos meses).

### Evaluación integral de los sistemas: el ejemplo del modelo GAMEDE

Con el propósito de argumentar la validez práctica de la intensificación ecológica como vía para armonizar los objetivos del desarrollo local, la seguridad alimentaria y la protección del medioambiente, en un contexto de crecimiento exponencial de la población mundial y con ello de la demanda de alimentos, Vayssières *et al.* (2011) aplicaron técnicas de modelización participativa integral para acompañar políticas decisionales locales. Estos autores, con un enfoque sistémico, abordaron conceptos a diferentes niveles e hicieron énfasis a escala de la finca. Para ello utilizaron la herramienta GAMEDE, la cual es un modelo de análisis integral de la explotación, concebido y desarrollado con estos fines (Vayssières *et al.*, 2009a, 2009b).

Dicho modelo es un ejemplo de la aplicación de los principios y conceptos que se abordan en el presente artículo para las condiciones específicas de un territorio o localidad (en este caso, la isla La Reunión). Se tienen en cuenta las variables del contexto, de manera detallada; la dinámica de los principales procesos biofísicos y decisionales que afectan la utilización de la mano de obra; los már-

genes de ganancia económica; así como los flujos de nutrientes y energía a nivel de una serie de tipologías de fincas.

Los análisis con el uso de GAMEDE pretenden profundizar en las posibilidades de optimizar los procesos ecológicos y naturales, para mejorar la eficiencia de la producción; por ejemplo, mediante el fomento de los sistemas integrados agricultura-ganadería y el acompañamiento de políticas que catalicen su desarrollo. Con ello se busca contribuir al manejo de agroecosistemas complejos, a través de una mejor comprensión de las dinámicas implícitas.

El hecho de que estos modelos integren el conjunto de compartimentos implícitos en el sistema, a diferentes niveles, posibilita acoplar distintas metodologías. De esta manera, sin dejar de emplear GAMEDE, por ejemplo, se pudiera profundizar en la eficiencia de utilización de la energía con la metodología Emergía, o ENA si se tratase de los flujos de nutrientes (Álvarez *et al.*, 2014), o tener en cuenta la trayectoria de los sistemas en estudio.

### CONCLUSIONES

Las herramientas metodológicas tratadas en este artículo contribuyen, sin dudas, al desarrollo de una inmensa gama de métodos interesados en la investigación de la dinámica de los sistemas de producción agropecuaria. Su implementación permite una gran flexibilidad para responder a dos de los desafíos más importantes que enfrentan los investigadores

actualmente: 1) la necesidad de poner en práctica una evaluación multidimensional de los sistemas de producción agropecuaria (las dimensiones se refieren a los niveles de organización –desde la familia hasta la sociedad, en un país o a la escala global–, pero también a las dimensiones económicas, sociales y medioambientales que afectan el funcionamiento de los sistemas). La combinación de estas herramientas ofrece una variedad de puntos de vista sobre los sistemas, que contribuye a identificar sinergias y antagonismos entre tales dimensiones; 2) la identificación de las determinantes clave para la concepción y difusión de los sistemas más interesantes para enfrentar los cambios y retos globales de la actualidad (crecimiento demográfico, erosión, desertificación, cambio climático, etc.). Las investigaciones para la concepción de nuevos sistemas y su difusión pueden apoyarse en el empleo de estas herramientas para comprender la lógica socioeconómica actual y futura de funcionamiento y diseñar nuevos sistemas con la participación de todos los actores implicados en la cadena.

Tal flexibilidad en las posibilidades de emplear estas herramientas metodológicas, se traduce en la disponibilidad de una inmensa gama de métodos, que aumenta el rigor y la riqueza de los análisis de sistemas complejos, independientemente de los objetivos propuestos y de las condiciones edafoclimáticas y socioeconómicas en cuestión.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo sintetiza de manera concreta una reflexión colectiva llevada a cabo en el marco de la colaboración entre la Unidad Mixta de Investigaciones SELMET (INRA-CIRAD-SupAgro, Francia) y la Estación Experimental Indio Hatuey –EEIH– (Universidad de Matanzas, Cuba). Reflexión que se materializó con la organización del curso-entrenamiento «Avances metodológicos en la evaluación de sistemas agrícolas y pecuarios», impartido a una treintena de investigadores locales en el mes de mayo de 2015 en la EEIH. Los autores agradecen el apoyo financiero de la Embajada de Francia en La Habana (Cooperación Científica y Universitaria, Servicio de Cooperación y de Acción Cultural) y de la Academia de Agricultura de Francia (Premio de Investigación Dufrenoy); así como al colectivo de investigadores de Indio Hatuey, especialmente a Maybe Campos, Wendy M. Ramírez y Taymer Miranda, por su apoyo decisivo en la organización de esta semana de intercambios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, S.; Rufino, M.; Vayssières, J.; Salgado, P.; Tittonell, P.; Tillard, E. *et al.* Whole-farm nitrogen cycling and intensification of crop-livestock systems in the highlands of Madagascar: An application of network analysis. *Agr. Syst.* 126:25-37, 2014.
- Benoit, M. & Laignel, G. Analyse sur le long terme de systèmes d'élevage ovins allaitants en France. Quelles trajectoires et quels facteurs de réussite économique? *Prod. Anim.* 24 (3):211-220, 2011.
- Bertalanffy, L. von. *General system theory*. New York: George Braziller, 1968.
- Brossier, J.; Chia, E.; Marshall, E. & Petit, M. *Gestion de l'exploitation agricole familiale. Eléments théoriques et méthodologiques*. Dijon, France: Educagri, 1997.
- Coulibaly, D.; Moulin, C. H.; Pocard-Chappuis, R.; Morin, G. & Corniaux, C. Evolution des stratégies d'alimentation des élevages bovins dans le bassin d'approvisionnement en lait de la ville de Sikasso au Mali. *Rev. Elev. Med. Vet. Pay.* 60 (1):103-111, 2007.
- Dai, Z. Intensive agropastoralism: dryland degradation, the Grain-to-Green Program and islands of sustainability in the Mu Us Sandy Land of China. *Agr. Ecosyst. Environ.* 138:249-256, 2010.
- Darré, J. P. *L'invention des pratiques dans l'agriculture. Vulgarisation et production locale de connaissances*. Paris: Karthala Editions, 1996.
- Dolédéc, S. & Chessel, D. Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique. I - Description d'un plan d'observations complet par projection de variables. *Acta Oecol.-Oec. Gen.* 8:403-426, 1987.
- García-Martínez, A.; Olaizola, A. & Bernués, A. Trajectories of evolution and drivers of change in European mountain cattle farming systems. *Animal.* 3 (1):152-165, 2009.
- Le Moigne, J. L. *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*. 3ème. ed. Paris: PUF, 1990.
- Lu, H.; Bai, Y.; Ren, H. & Campbell, D. E. Integrated energy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: implications for agricultural policy in China. *J. Environ. Manage.* 91:2727-2735, 2010.
- Madelrieux, Sophie; Terrier, Médulline; Borg, Dominique & Dobremez, L. Family dairy farms in the northern french Alps: persistence and adaptation in a changing world. *Mt. Res. Dev.* 35 (1):49-56, 2015.
- Martin, J. F.; Diemont, S. A. W.; Powell, E.; Stanton, M. & Levy-Tacher, S. Energy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agr. Ecosyst. Environ.* 115:128-140, 2006.
- Morin, G.; Coulibaly, D.; Corniaux, C.; Pocard-Chappuis, R.; Sidibé, S. I. & Moulin, C. H. Dynamiques

- des unités de production laitière dans le bassin d'approvisionnement de la ville de Ségou au Mali. *Rev. Elev. Med. Vet. Pay.* 60:89-101, 2007.
- Moulin, C. H.; Ingrand, S.; Lasseur, J.; Madelrieux, S.; Napoléone, M. & Pluvinage, J. Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations: propositions méthodologiques. In: B. Dedieu, E. Chia, B. Leclere, Ch. Moulin et M. Tichit, eds. *L'élevage en Mouvement: Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. Paris: Editions Quae. p. 181-196, 2008.
- Moulin, C. H.; Pluvinage, J. & Bocquier, F. Les relations entre agrandissement des troupeaux et changements de conduite: exemple des élevages d'ovins allaitants en Crau. *Rencontre Recherches Ruminants*. 11:145-148, 2004.
- Napoléone, M. & Chia, E. Repenser la coordination entre agriculteurs et coopératives laitières-vers une gestion concertée de la saisonnalité de la collecte. *Ann. Mines*. 102:58-69, 2010.
- Nascimento de Oliveira, M. *Une approche pour évaluer la vulnérabilité des systèmes d'élevage laitiers selon leurs trajectoires de développement: le cas des agriculteurs familiaux d'Unai-Brésil*. Doctorat ParisTech. Paris: MINES ParisTech, 2014.
- Navegantes-Alves, Livia; Pocard-Chapuis, R.; Ferreira, Laura A. & Moulin, C. H. Transformações nas práticas de criação de bovinos mediante a evolução da fronteira agrária no sudeste do Pará. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. 29 (1):243-268, 2012b.
- Navegantes-Alves, Livia; Pocard-Chapuis, R.; Huguenin, J.; Ferreira, Laura A. & Moulin, C. H. Grassland deterioration linked to the farms trajectories in eastern Amazon. *Outlook Agr.* 41 (3):195-201, 2012a.
- Odum, H. T. *Environmental accounting: emergy and environmental policy making*. New York: John Wiley and Sons, 1996.
- Odum, H. T. Self-organization and maximum power. In: C. A. S. Hall, ed. *Maximum power*. Niwot, USA: University Press of Colorado. p. 311-364, 1995.
- Odum, H. T. *Systems ecology: an Introduction*. New York: John Wiley and Sons, 1983.
- Pluvinage, J. & Moulin, C. H. Analyse de la diversité des exploitations agricoles. *Revue Pour*. 194 (2):106-114, 2007.
- Réseau d'élevage bovin Limousin. *Trajectoires d'exploitations 2000-2010*. Paris: Institut de l'Élevage. <http://idele.fr/metiers/techniciens/economie-et-gestion-de-l'exploitation/publication/idelesolr/recom-mends/trajectoires-d'exploitations-2000-2010.html>, 2012.
- Rótolo, G. C.; Rydberg, T. & Francis, C. Emergy evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. *Agr. Ecosyst. Environ.* 119:383-395, 2007.
- Rueff, C.; Choisis, J. P.; Balent, G. & Gibon, A. A preliminary assessment of the local diversity of family farms change trajectories since 1950 in a Pyrenees mountains area. *J. Sustain. Agr.* 36 (5):564-590, 2012.
- Ryschawy, J.; Choisis, N.; Choisis, J. P. & Gibon, A. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal*. 7 (4):673-681, 2013.
- Sanogo, O. M.; Ridder, N. de & Keulen, H. van. Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au sud du Mali. *Cah. Agric.* 19 (3):185-193, 2010.
- Teno, G.; Nozières, M. O. & Moulin, C. H. Comment analyser les évolutions de la commercialisation des agneaux chez les éleveurs d'ovins allaitants? *Rencontre Recherches Ruminants*. 20:294, 2013.
- Ulrich, A.; Speranza, C. I.; Roden, P.; Kiteme, B.; Wiesmann, U. & Nüsser, M. Small-scale farming in semi-arid areas: Livelihood dynamics between 1997 and 2010 in Laikipia, Kenya. *J. Rural Stud.* 28:241-251, 2012.
- Vayssières, J.; Bocquier, F. & Lecomte, P. GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises. Part II. Interactive simulation of various management strategies with diverse stakeholders. *Agr. Syst.* 101:139-151, 2009b.
- Vayssières, J.; Guerrin, F.; Paillat, J. M. & Lecomte, P. GAMEDE: A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I. Whole-farm dynamic model. *Agr. Syst.* 101:128-138, 2009a.
- Vayssières, J.; Vigne, M.; Alary, V. & Lecomte, P. Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agr. Syst.* 104:146-161, 2011.
- Vigne, M.; Peyraud, J. L.; Lecomte, P.; Corson, M. S. & Wilfart, A. Emergy evaluation of contrasting dairy systems at multiple levels. *J. Environ. Manage.* 129:44-53, 2013.
- Vigne, M.; Vayssières, J.; Lecomte, P. & Peyraud, J. L. Evaluating the ability of current energy use assessment methods to study contrasting livestock production systems. *J. Environ. Manage.* 112:199-212, 2012.