
CONTABILIDAD AMBIENTAL INCORPORANDO ANÁLISIS EMERGÉTICO Y EXTERNALIDADES: APLICACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE SOJA

MIGUEL JUAN BACIC¹

ENRIQUE ORTEGA²

JOSÉ MARÍA GUSMAN-FERRAZ³

ANA BEATRIZ GUIMARÃES FERREIRA DOS SANTOS⁴⁺

Fecha de recepción: 23 de junio de 2020

Fecha de aprobación: 01 de septiembre de 2020

Resumen

El objetivo del trabajo es mostrar la importancia de considerar las externalidades y la metodología emergética (Odum, *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*, 1996) como herramientas de Contabilidad Ambiental. El análisis de externalidades muestra el impacto que las actividades de una empresa causan fuera de sus límites organizacionales. La metodología emergética ofrece un camino para evaluar el desempeño termodinámico de las actividades humanas. La contabilidad tradicional reconoce, desde los años 90, la insuficiencia de los informes financieros para mostrar el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas, por esa razón muchos países exigen la divulgación de inversiones, riesgos e impactos ambientales. Mas, ese conjunto de informaciones es insuficiente para evaluar el impacto

1 Doctor en Administración de Empresas (UNS, Argentina), Libre Docente (Unicamp), Profesor Titular, Universidad de Campinas (Brasil). bacic@unicamp.br

2 Doctor en Ingeniería de Alimentos (Unicamp, Brasil), Profesor Libre Docente, Universidad de Campinas (Brasil). ortega@unicamp.br

3 Doctor en Ecología (Unicamp, Brasil), posdoctorado en Agroecología (UCO, España), Profesor del posgrado em Desarrollo Territorial y Medio Ambiente (UNIARA, SP, Brasil). ze2cordoba@yahoo.es

4 Ingeniera de Alimentos, Máster en Ingeniería de Alimentos, Universidad de Campinas (Brasil).

+ Ana Beatriz falleció el día 2 de setiembre de 2020. Era una joven alumna de doctorado en Ingeniería de Alimentos. Los autores la recordarán como alumna brillante y empeñada, con un gigantesco sentido ético y gran preocupación por los temas de sostenibilidad y responsabilidad social.

de las empresas sobre los ecosistemas y la verdadera relación beneficio-costo. Es necesario usar metodologías que permitan una visión sistémica de la relación naturaleza-economía. El estudio de caso compara el desempeño de dos sistemas diferentes de producción de soja (orgánico y agroquímico, este último en dos modalidades). Los resultados evidencian que el orgánico es más eficiente. Este método de mensuración puede servir para evaluar, con mayor claridad, las alternativas tecnológicas y subsidiar la elaboración de políticas públicas para ajustar el peso de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas del planeta.

JEL: H23, Q5.

Palabras clave: contabilidad ambiental, Global Reporting Initiative, externalidades, emergía metodología emergética, soja, Brasil.

ENVIRONMENTAL ACCOUNTING THAT INCORPORATES EMERGY ANALYSIS AND EXTERNALITIES: APPLICATION IN SOYBEAN PRODUCTION

Abstract

The objective of this work is to show the importance of considering externalities and the emergy methodology (Odum, Environmental Accounting, Emergy and Decision Making, 1996) as tools of environmental accounting. The externalities analysis shows the impact that a company's activities cause outside of its organizational limits. The emergy methodology offers a way to evaluate the thermodynamic performance of human activities. Traditional accounting has recognized, since the 1990s, the inadequacy of financial reports to show the impact of human activities resources on ecosystems. For this reason, many countries require the disclosure of investments, risks and environmental impacts. But, this set of information is insufficient to assess the impact of companies on ecosystems and the true benefit-cost relationship. It is necessary to use methodologies that allow systemic vision of the nature-economy relationship. This case study compares the performance of two different systems of soybean production (organic and agrochemical, the latter in two modalities). The results show that the organic system is more efficient. This method of measurement can be used to assess, more clearly, the technological alternatives and subsidize policy making to adjust the weight of anthropic activities on the ecosystems of the planet.

JEL: H23, Q5.

Keywords: environmental accounting, Global Reporting Initiative, externalities, emergy, emergy methodology, soybeans, Brazil.

CONTABILIDADE AMBIENTAL INCORPORANDO ANÁLISE EMERGÉTICA E DE EXTERNALIDADES: APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SOJA

Resumo

O objetivo do trabalho é mostrar a importância de considerar as externalidades e a metodologia emergética (Odum, *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*, 1996), como ferramentas da Contabilidade Ambiental. A análise das externalidades mostra o impacto que as atividades de uma empresa causam fora de seus limites organizacionais. A metodologia emergética oferece uma forma de avaliar o desempenho termodinâmico das atividades humanas. A contabilidade tradicional reconhece, desde a década de 1990, a insuficiência dos relatórios financeiros para mostrar o impacto das atividades humanas nos ecossistemas, por isso muitos países exigem a divulgação de investimentos, riscos e impactos ambientais. No entanto, esse conjunto de informações é insuficiente para avaliar o impacto das empresas nos ecossistemas e a verdadeira relação custo-benefício. É necessário, porém, utilizar metodologias que permitam uma visão sistêmica da relação natureza-economia. O estudo de caso compara o desempenho de dois diferentes sistemas de produção de soja (orgânico e agroquímico, este último em duas modalidades). Os resultados mostram que o sistema orgânico é mais eficiente. Esse método de medição pode servir para avaliar, com maior clareza, as alternativas tecnológicas e subsidiar a elaboração de políticas públicas para ajustar o peso das atividades antrópicas nos ecossistemas do planeta.

JEL: H23, Q5.

Palavras-chave: contabilidade ambiental, *Global Reporting Initiative*, externalidades, *emergia*, metodologia emergética, soja, Brasil.

COMPTABILITÉ ENVIRONNEMENTALE INCORPORANT L'ANALYSE ÉNERGÉTIQUE ET LES EXTERNALITÉS: APPLICATION DANS LA PRODUCTION DE SOJA

Résumé

Le but de cette analyse est de montrer l'importance de prendre en considération les externalités et la méthodologie émergétique (Odum, *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*, 1996) en tant qu'outils de Comptabilité Environnementale. L'étude des externalités montre l'impact que les activités d'une entreprise causent en dehors des limites organisationnelles. La méthodologie émergétique propose une voie d'évaluation de l'exercice thermodynamique des activités humaines. La comptabilité traditionnelle

reconnaît, depuis les années 90, l'insuffisance de rapports financiers montrant l'impact des activités humaines sur les écosystèmes. Pour cela beaucoup de pays exigent la divulgation des investissements, des risques et des impacts environnementaux. Mais cet ensemble d'informations s'avère insuffisante afin d'évaluer l'impact des entreprises sur les écosystèmes et la véritable relation bénéfice-coût. Il est nécessaire donc d'utiliser des méthodologies permettant une vision systémique de la relation nature-économie. L'étude de cas compare l'exercice de deux systèmes différents de production de soja (organique et agrochimique, ce dernier en deux modalités). Les résultats prouvent que l'organique est plus efficace. Cette méthode de mesure peut servir pour évaluer, avec plus de précisions, les alternatives technologiques et subventionner l'élaboration de politiques publiques afin d'ajuster l'importance des activités anthropiques sur les écosystèmes de la planète.

JEL: H23, Q5.

Mots clés: comptabilité environnemental, Global Reporting Initiative, externalités, éergie, méthodologie émergétique, soja, Brésil.

1. Introducción

La discusión de la sostenibilidad del desarrollo económico se ha convertido en un tema de importancia creciente para la sociedad y las empresas. El informe de la ONU "Nuestro Futuro Común" define desarrollo sostenible como "aquél que atiende las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de que las futuras generaciones atiendan sus propias necesidades" (WCED, 1987). Esta definición aparentemente simple lleva la existencia de diversas perspectivas y metodologías que intentan evaluar cuál sería ese nivel de desarrollo. El tema de la sostenibilidad es evaluado a partir de diferentes perspectivas, que no siempre consiguen llegar a conclusiones semejantes. Una lógica ecológica más radical puede proponer la disminución inmediata de toda actividad económica para preservar los ecosistemas naturales de la acción antrópica. Una evaluación económica más tradicional puede no incorporar el impacto de las externalidades negativas derivadas de los sistemas humanos de producción, desconsiderando así la contribución de los ecosistemas naturales para la actividad económica. En 2015 la ONU formuló los objetivos para el desarrollo sostenible que constituyen la Agenda 2030. De los 17 objetivos, ocho se refieren directamente a los problemas de sostenibilidad: Objetivos 2, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15 (UN, 2015).

Una lenta pero persistente discusión relacionada al impacto de las actividades económicas en la sociedad y en el ambiente provocó cuestionamientos sobre la lógica del lucro como parámetro principal de la evaluación de la eficiencia social y económica. Los problemas de contaminación, daños al medio ambiente y agotamiento de recursos propiciaron el desarrollo de conceptos, la creación de legislación y el establecimiento de normas para disminuir las contradicciones observadas entre la actividad económica y el

medio ambiente. La discusión sobre sostenibilidad ambiental llevó a mostrar la importancia de las prácticas verdes que objetivan reducir el consumo de recursos naturales y de energía de manera de reducir los impactos negativos de la actividad económica en el agua, suelo y aire (Rodrigues, Pigosso & Mcaloone, 2016). En Brasil, la legislación ambiental impone sanciones para que los contaminadores paguen las externalidades negativas. El principio de contaminador pagador está contemplado en la Constitución Federal de Brasil (art. 225 § 3) (Carvalho, 2008: 35).

Hasta los años 80, la dimensión ética de las empresas se relacionaba con indicadores de naturaleza socioeconómica y posteriormente pasó a incluir indicadores ambientales. Se desarrolló un modelo internacional llamado *Global Reporting Initiative* (GRI) que es una mejor interpretación de la relación entidad-sociedad-ambiente. Waddock (2008) muestra cómo el GRI se transformó en pieza dominante para mostrar las acciones de las organizaciones respecto a la temática socioambiental a nivel internacional. En Brasil, se adopta ese formato bajo el nombre de Informe de Sostenibilidad. Según el Instituto Ethos (2017) un negocio sostenible es

la actividad económica orientada para la generación de valor económico-financiero, ético, social y ambiental, cuyos resultados son compartidos con los públicos afectados. Su producción y comercialización son organizadas de modo a reducir continuamente el consumo de bienes naturales y de servicios ecosistémicos, a conferir competitividad y continuidad a la propia actividad y a promover y mantener el desarrollo sostenible de la sociedad.

De acuerdo con Vigneau *et al.* (2015), el informe GRI se transformó en una obligación de las organizaciones y causó impacto dentro de las empresas, las que tomaron las exigencias de la norma como política de gestión en lugar de establecer una política de responsabilidad social y ambiental y después pasar a evaluarla con la norma ISO 26000 que traza Directrices sobre Responsabilidad Social. La ISO 26000 fue lanzada en 2010, y tiene por objetivo orientar a las organizaciones en la práctica de la responsabilidad social y ambiental. La certificación en esta norma es voluntaria. Anteriormente la pauta vigente en Brasil era la NBR 16.001 de 2004.

El amplio conjunto de preocupaciones sobre la relación de la actividad de las empresas con la sociedad y el medio ambiente llevó a desarrollar el concepto de Responsabilidad Social Empresarial (RSE) y tuvo reflejos en la contabilidad, dentro del campo de la Contabilidad Ambiental y el surgimiento de demostrativos específicos. El Balance Social (o Informe de Sostenibilidad) es el instrumento contable que ofrece informaciones sociales, económicas y ambientales de las organizaciones para hacer públicos los resultados relativos a su responsabilidad social (Tinoco & Kraemer, 2004).

La intención del presente trabajo es discutir la calidad de las informaciones y su interpretación en la Contabilidad Ambiental y en el Informe de

Sostenibilidad. Se argumenta que esas informaciones son incompletas y no consiguen mostrar la sostenibilidad, tal como lo expresa el documento “Nuestro Futuro Común” (WCED, 1987). Se presenta, el método de análisis emergético como posibilidad de complementar y mejorar las informaciones.

2. Contabilidad ambiental: un campo en desarrollo

La moneda es la unidad de cuenta con la cual operan las economías industriales, tiene una naturaleza social, fue creada para facilitar los intercambios. Es un instrumento que mide el valor en las transacciones, eliminando la necesidad de trueques complejos. Conforme Aglietta (2018) el dinero es una relación social que organiza las civilizaciones. El costo de las diversas actividades económicas se refleja en los precios, formando el sistema de precios de la economía. Varios factores influyen los precios, sin embargo, los costos son elementos muy importantes (Blinder *et al.*, 1998). El trabajo humano en sus diversas formas (corriente o anterior, manual o por medio del uso de máquinas) forma parte del costo de las diversas actividades humanas.

La información sobre precios y costos es fundamental en la toma de decisión de las empresas. Y al ser basada en una escala humana, no considera los aportes de la naturaleza. En el caso de una sociedad en pequeña escala eso no es problema. No obstante, en nuestro caso, donde la humanidad ocupa todos los espacios habitables del planeta y presiona fuertemente al mundo natural, la situación es otra. Y se convierte en una gran preocupación, cuando el capitalismo es el sistema económico dominante, se basa en el crecimiento para remunerar los capitales que aumentan todos los años.

El capitalismo no es concebible en una situación que no sea de crecimiento continuo. La razón es simple, todas las decisiones empresarias buscan la remuneración de un capital invertido, y en cada ciclo de remuneración se amplía la base de ese capital, lo que exige mayores lucros en términos absolutos. Al mismo tiempo, con una moneda fiduciaria, no existe límite a esa expansión, dado que puede ser emitida por los bancos conforme el sistema económico se expande. Es inevitable que las economías crezcan hasta agotar los recursos naturales, dado que no hay ningún mecanismo interno de control que informe a las empresas que precisan moderar el crecimiento, con excepción del aumento de los precios de los recursos naturales, que ocurrirá en la medida en que se tornen más escasos. Es posible la substitución de un recurso natural por otro, hasta que las posibilidades de substitución se agoten, en ese momento el sistema económico y social colapsará junto con el ambiente que lo sustentaba. La comprensión del papel de la moneda es fundamental para la economía ecológica (Ament, 2019).

Ayres *et al.* (1998) colocan dos visiones de sostenibilidad. La visión débil de sostenibilidad surge de la aplicación de los principios de la economía neoclásica, sería apenas un problema de gestión de la cartera del capital humano y natural para mantener constante el capital total a lo largo del tiempo.

Esta óptica entiende como posible y apropiada la sustitución del capital natural por el humano. El indicador de bienestar social es el crecimiento del PIB y, para las empresas, la generación de la mayor tasa de retorno para los accionistas. La visión fuerte de sostenibilidad es la manutención de las condiciones para la vida en el planeta. Es una visión cercana a la del Informe “Nuestro Futuro Común” (WCED, 1987). No es posible la sustitución de las distintas formas de capital (económico, ecológico, social), ya que todas deben ser conservadas. El concepto básico es que los recursos naturales son esenciales para la vida y para los procesos económicos y no existe ninguna posibilidad de sustitución. En este caso los indicadores deben ir más allá de los financieros e incluir variables biológicas, físicas y químicas para obtener un panorama global de los ecosistemas. La visión de las políticas públicas debe ser integradora de los ámbitos regional/nacional/global, siendo ya insuficiente el marco conceptual de decisiones autónomas de mercado.

Dado que el proceso económico además de ser un proceso social es esencialmente un proceso ecológico, es preciso evaluarlo con otras unidades de cuenta y construir indicadores que no sean exclusivamente monetarios, para comprender los impactos que causa y que causará en los sistemas naturales y, de esta forma, poder predecir sus impactos y límites. ¿Podrá la contabilidad ambiental contribuir en este aspecto? Conforme Quinche-Martins (2014: 214):

La contabilidad puede ser vista como una práctica social e institucional con lenguajes y prácticas propios cuya función principal sería el control orgánico del flujo de los recursos sociales, ambientales y naturales, en el relacionamiento de las organizaciones sociales y la naturaleza, lo que implica el reconocimiento de una contabilidad con dimensiones políticas, sociales, culturales y naturales además de económicas.

Miller (1994) dice que la contabilidad es una tecnología que permite una intervención sobre las actividades humanas para transformar el mundo. Dentro de esta perspectiva, a partir de los años 90, comenzó a reconocerse que la información de carácter financiero es insuficiente para mostrar el impacto de las acciones humanas sobre los ecosistemas. Por esta razón, a partir de los años 2000, muchos países comenzaron a exigir la divulgación de las informaciones sobre inversiones y riesgos ambientales. El objetivo es usar esa información para modular el comportamiento de las empresas sobre los impactos que provocan en el medio ambiente y la sociedad. Este debe ser el papel de la Contabilidad Ambiental o Contabilidad de Gestión Ambiental.

Un análisis de la legislación de diversos países del mundo en lo referente a las divulgaciones relacionadas con el medio ambiente (España, Australia, Brasil, Bulgaria, Corea, Suecia, Hungría, Italia, Japón, Francia, Holanda, Noruega, Dinamarca, Portugal) sobre las informaciones ambientales exigidas por los órganos reguladores muestra que estos se preocupan con las

informaciones relativas a las acciones para disminuir la contaminación, generación y tratamiento de residuos, reciclaje de productos, disminución del consumo de energía y de materias primas, riesgos y pasivos de origen ambiental (Eugenio, 2010). Además, la autora informa que Canadá, Suecia, Holanda, Alemania y Estados Unidos tratan con cuidado la presentación de las informaciones. En Argentina el Balance Social, cuyo objetivo es evaluar los resultados sociales y ambientales de las organizaciones, sigue el modelo de la Resolución Técnica 36 de la Federación Argentina de Consejos Profesionales de Ciencias Económicas (FACPCE, 2012) que se basa en la guía del GRI.

El sitio <https://www.sustainability-reports.com> consolida los informes sociales y ambientales de empresas de muchos países. El Boston College Center for Corporate Citizenship (2010) dice que la lectura del informe es difícil, pues los datos aparecen de forma desestructurada. Un análisis de las informaciones divulgadas por las empresas en el referido sitio muestra que no hay una visión de cómo las actividades de la empresa afectan los ecosistemas, ya sea de actividades locales o a lo largo de la cadena logística. La divulgación informa acciones puntuales y es vista por la empresa como marketing.

El informe de la Dell (2017) muestra un gran número de indicadores respecto a su actuación en la sociedad y en relación al medio ambiente. Son informados: consumo de energía y emisiones de CO₂ (mostrando disminución), acciones en la cadena de provisión de minerales, acciones para retirar plásticos de océanos, plantaciones de árboles, obtención de certificaciones ISO relativas a la protección ambiental, reciclaje de productos para conseguir una economía circular, actuación en comunidades y grupos sociales. Dell recibió el sello de “2017 World Most Ethical Companies” por el Ethisphere Institute. No existe en el informe ningún estudio del impacto global de las actividades de la Dell, considerando toda la cadena logística sobre los ecosistemas naturales.

El Informe de la Tesla (2019) (Tesla Impact Report 2018) dice que la empresa ahorró 4 millones de toneladas de CO₂ por medio de sus coches eléctricos y generó 13.25 TWh de energía solar con sus sistemas. Parece ser una acción de marketing sobre lo benéfico de sus coches y sistemas de generación solar para el medio ambiente. No hay ninguna reflexión sobre el impacto global de la producción de coches y de los sistemas de generación eléctrica (emisión de CO₂ e impacto ambiental de su sistema de fabricación).

Conforme Quinche-Martin (2014: 1) los informes relacionados a la Responsabilidad Social y Ambiental actúan como elemento estratégico para mejorar la imagen de la empresa, y aumentar su valor de mercado. “Esto se logra por el uso de estrategias discursivas que incluyen argumentos acerca de la empresa (ethos), de los valores sociales (pathos) y del desempeño de la empresa (logos)”. Se puede concluir que los informes ambientales no cumplen

el papel de mostrar a la sociedad el riesgo que las actividades de las empresas representan para los ecosistemas que garantizan la vida en el planeta.

Estos informes están basados en la visión débil de sostenibilidad y sometidos a la lógica del capital. Presuponen un inversionista que no vive en el planeta Tierra y está sólo interesado en la maximización del valor de sus activos. En esa lógica la empresa debe crecer continuamente y deben realizarse acciones de mitigación, no con el objetivo de adecuar la actividad humana a los ecosistemas (esto puede ser imposible) pero sí para generar mayor valor para el único interlocutor válido que es el accionista. Otros colectivos son ignorados o considerados como sujetos de acciones benevolentes, intentando documentar acciones de marketing y no de diálogo sobre sus intereses con respecto al medio ambiente.

Es muy difícil para las empresas reconocer que sus actividades producen un profundo impacto ambiental, razón por la cual prefieren quedar amparadas dentro de la visión débil de sostenibilidad en la cual los indicadores financieros tienen prioridad y los indicadores físicos aparecen como información complementaria. En una visión más fuerte de sostenibilidad se reconoce que sociedad y naturaleza son interdependientes, y que la primera está inmersa dentro de la segunda. Es irracional que la contabilidad, que como práctica social e institucional visa el control de los flujos financieros y las decisiones económicas, no se comprometa con las informaciones relativas al futuro que muestran los riesgos que afectan la vida económica y social del planeta.

La Contabilidad Ambiental se hace en unidades monetarias y físicas (UN, 2001). Las variables físicas observan el flujo de entrada y salidas dentro de un sistema definido (la empresa). Es decir, se hace el balance del flujo de materiales en unidades físicas. Las entradas son materiales, energía y agua y las salidas los productos, desechos y emisiones. Pese a ser un avance conceptual, la visión de esta herramienta es estrecha, sólo trata de desperdicios relacionados con los procesos. La Contabilidad Ambiental observa la relación de la empresa con el ambiente en forma parcial. La visión financiera se interesa por la gestión de problemas ambientales, que son vistos como parámetros normativos y legales para evitar daños conforme son entendidos en cierta época o de interés para el marketing.

El estudio del flujo de materiales muestra la eficiencia en el uso de los insumos en el proceso productivo. Esta visión es insuficiente si el objetivo es evaluar la sostenibilidad en un sentido más amplio. Para atender a los requisitos de esta definición hay que salir de la mirada exclusiva dentro del sistema productivo de la empresa y hay que observar su relación con el ambiente y el uso de recursos renovables y no renovables. Kassai *et al.* (2010) presentan una visión de los sistemas productivos nacionales partir de la emisión y absorción de CO₂ y hacen balances nacionales con el valor del CO₂ en toneladas equivalentes de petróleo y del PIB, usando la paridad del poder de compra. La metodología indica un importante camino para estudiar la sostenibilidad.

Un problema de la visión financiera para calcular la sostenibilidad es el uso de la moneda como unidad de cuenta. La moneda expresa una relación social y su valor no pasa de una convención aceptada por los participantes de determinado sistema económico. El estudio de la sostenibilidad no puede realizarse enfocando exclusivamente el subsistema económico, sin tener en cuenta sus lazos con el sistema natural que envuelve el uso de insumos que no tienen valor de mercado. Los intentos de valorar la naturaleza se revelaron insatisfactorios, dado el elemento de subjetividad o arbitrariedad impuesta. De acuerdo con Carvalho (2008), no existe un método único que se pueda aplicar, sino que existen métodos para determinadas situaciones (Carvalho, 2008).

3. Metodología

La presente investigación es de naturaleza multidisciplinar y exploratoria. Pretende mostrar la importancia de contabilizar la aportación de los ecosistemas en el funcionamiento de los sistemas productivos humanos, presentando una alternativa metodológica que es el registro de los flujos de energía de los sistemas. Presenta una aplicación comparando tres sistemas diferentes de producción de soja analizados por medio del análisis emergético.

El reconocimiento del valor de los recursos del medio ambiente puede permitir el surgimiento de un nuevo papel de la contabilidad. Es imposible valorar con los criterios de un subsistema menor (el económico) el sistema mayor (el natural). Es necesario hacer uso de una unidad de cuenta del sistema mayor para medir las contribuciones del sistema menor. Tal unidad es conocida por los ecólogos con visión sistémica con el nombre de *energía* y es la base del análisis emergético. Se presenta la metodología emergética como alternativa para evaluar el desempeño de los sistemas. Esa metodología permite determinar el grado de uso de recursos renovables en las actividades productivas, lo que determina el grado de sostenibilidad. La metodología emergética puede medir e incluir el impacto ambiental de las actividades económicas.

El uso del análisis emergético puede enriquecer significativamente la Contabilidad Ambiental pues permite mostrar, claramente y de forma inequívoca, el grado de sostenibilidad de los procesos. Adicionalmente, para entender el impacto más amplio de las actividades económicas hay que verificar el impacto de las externalidades negativas que producen. El estudio de las externalidades capta la influencia que los terceros sufren por la producción de un bien o servicio. Las externalidades representan el efecto de la propagación fuera de la transacción de mercado y que no son capturadas por el precio del bien negociado (Callan & Thomas, 2016). Si ese efecto genera problemas para los terceros, se observan externalidades negativas. Por el contrario, si genera beneficios, las externalidades son positivas. En la producción agrícola se observan externalidades negativas, tales como la contaminación de las aguas, erosión, intoxicación por agrotóxicos, pérdida de biodiversidad con impacto en los servicios ambientales (por ejemplo, disminución de insectos polinizadores), etc.

Howard Odum, uno de los científicos más importantes del siglo XX, comenzó a usar en 1967 el término “energía incorporada” para indicar las calorías de un determinado tipo de energía necesarias para producir otro tipo de energía, más esa misma denominación fue usada por otros investigadores con conceptos diferentes, tanto en el raciocinio cuanto en los cálculos. En 1983, para diferenciar o método ecosistémico-energético, H. T. Odum y David Scienecman escogieron el termino emergía (escrito con “m”) en memoria de la energía útil usada para producir un recurso (Odum, 1988). Se define emergía como el trabajo realizado para producir un recurso en la biosfera (Odum, 1996; Odum, 2000c).

En la contabilidad monetaria, el costo no considera la contribución directa de la naturaleza (recursos renovables R y recursos no renovables N), ni su participación en la formación de los insumos generados por la economía (materiales M y servicios S) y desconsidera los impactos negativos en el ambiente y la sociedad.

La metodología emergética mide todas las contribuciones (flujos de masa, energía, moneda e información) en términos equivalentes (energía solar) y después agrega los flujos conforme sus fuentes (R: Renovable, N: No renovable, M: Materiales, S: Servicios) y calcula los índices de emergía para analizar el desempeño de sistemas, que pueden ser ambientes preservados, unidades rurales, personas, sectores da economía, países y la biosfera. Además de la capacidad de analizar un sistema en estado estacionario, la metodología emergética permite visualizar la variación de un sistema en períodos largos, usando la técnica de modelaje y simulación (Odum & Odum, 2000).

4. Bases y principios de la metodología emergética

Tiene como base la Teoría General de Sistemas, la Ecología y la Termodinámica. Propone principios de funcionamiento de los sistemas abiertos (Odum, 2001):

- a. la existencia de la jerarquía universal de energía;
- b. la capacidad de autoorganización para avanzar en la evolución;
- c. la tendencia a maximizar el flujo de energía potencial disponible;
- d. la formación de redes para aprovechar los recursos disponibles;
- e. el mecanismo de producción lenta de recursos y pulso frenético de consumo;
- f. la oscilación entre situaciones de riqueza y pobreza de recursos y también de modelos de organización: competición excluyente y colaboración inclusiva.

Usando el principio de la jerarquía universal de energía, todo el trabajo, inclusive el de la economía, se puede comparar haciendo uso del parámetro denominado *transformidad* que se usa para calcular la emergía de un recurso (Odum, 2001: 235247).

4.1. La energía potencial (exergía) y el trabajo (emergía).

La emergía es la energía disponible (exergía) de un mismo tipo (v. g. energía solar equivalente) utilizada, en forma directa o indirecta, para producir un recurso o un conjunto de bienes y servicios y también externalidades.

Emergía es el trabajo realizado en la biosfera, para producir un recurso, mensurado el valor en unidades de exergía agregada (sej) en vez de moneda.

El computo de la emergía necesaria para producir un recurso ofrece información del valor total de recursos utilizados. Es una visión más completa que la utilizada por la contabilidad actual, que solamente considera los flujos monetarios del sistema económico y desconsidera el trabajo de la biosfera y de la estructura social. Además, como identifica la emergía consumida en emergía renovable y emergía no renovable, consigue medir la renovabilidad del recurso producido, un indicador de la sostenibilidad.

$$\text{Renovabilidad} = (\text{emergía renovable}) / (\text{emergía total})$$

4.2. La emergía expresada en emDólares (emUSD)

La valoración en emergía de los flujos y acervos usados en la producción y el consumo permite su inclusión en la relatoría de sostenibilidad de las empresas para mostrar el costo integral y el origen de los recursos usados. De acuerdo con Odum, como las personas tienen dificultad con los números muy grandes o muy pequeños, les resulta difícil utilizar las unidades de emergía solar, pues son números muy grandes de Joules de energía solar equivalente, así él recomienda usar el equivalente económico denominado emDólar, que se obtiene al dividir la emergía del recurso (sej) por la razón [sej/US\$] de la economía local. El emDólar indica el poder de compra del dinero en una región, en otras palabras: cuánta emergía renovable y no renovable es movilizada por un dólar.

- El valor del emDólar varía año a año, de acuerdo con la inflación de la moneda local, del uso de recursos externos e internos, que se agotan o recuperan.
 - La tasa (emergía/dólar) se obtiene al dividir la emergía total usada por una nación para generar su producto interno bruto (el PIB, expresado en dólares).
 - La tasa (sej/USD) permite convertir un flujo de emergía en dólares emergéticos (emDólares).
 - La razón (emergía/dinero) de la biosfera fue evaluada por Brown y Ulgiati dos décadas atrás en 1.1×10^{12} sej/\$.
-

4.3. Conversión de una energía en otra

Si hay energía potencial (exergía) en todo lo que es útil, inclusive la información y el poder político, la exergía puede ser usada para evaluar la riqueza real, más eso exige definir una base de medida común para todos los recursos: la emergía, que reconoce e incluye en sus cálculos a la jerarquía universal de exergía. La calidad (o funcionalidad) de cada tipo de exergía depende del trabajo previo realizado para generar ese recurso. La razón (emergía/exergía) se conoce como transformidad. Es un factor de conversión de exergía que considera la emergía recibida por el sistema y la exergía de los recursos que son transformados en las diversas etapas en la cadena trófica hasta que la emergía recibida se agota.

4.4. Jerarquía universal de energía útil (exergía)

De acuerdo con Odum (2001), la 5ª ley de la exergía debería decir:

El aprovechamiento de la emergía disponible aumenta si el sistema es capaz de se autoorganizar para criar una red, con estructura jerárquica, que incluya las funciones necesarias para atender los objetivos del sistema. Los sistemas de la naturaleza y de la humanidad son partes de la jerarquía exergética universal. Una red de transformación de exergía une los sistemas pequeños a grandes sistemas y a estos con sistemas aún mayores. La transformidad mide la posición en la jerarquía universal de exergía y por consiguiente, su funcionalidad. La energía útil (exergía) es usada en un proceso de transformación de exergías para generar una cantidad menor de energía útil con una calidad diferente, que puede ser usada en la próxima etapa de la cadena trófica.

4.5. Autoorganización

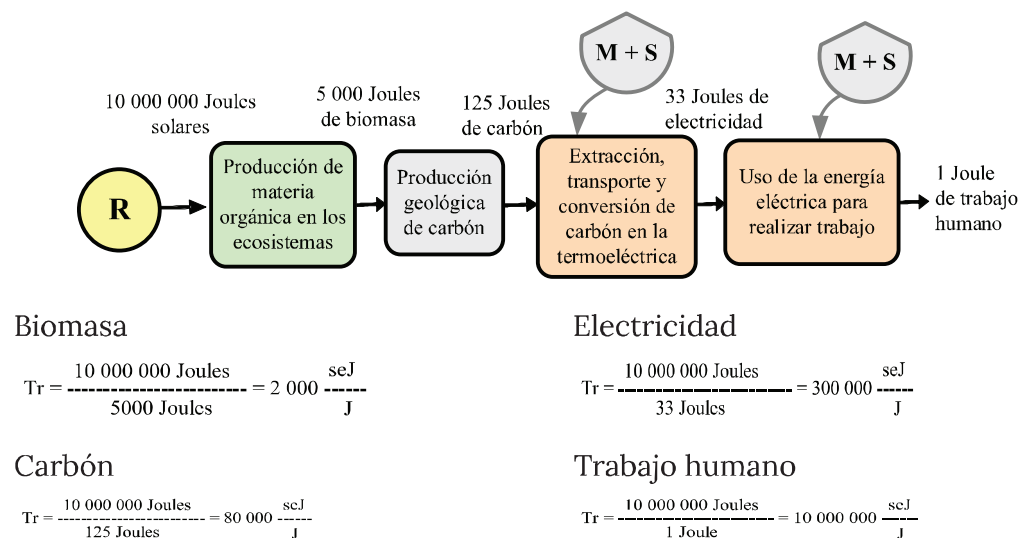
La autoorganización crea lazos de retroalimentación y hace surgir o desaparecer estratos en la cadena trófica, los cuales impulsan su evolución. Los lazos de retroalimentación permiten la obtención de energías de mayor calidad provenientes de la parte alta de la cadena trófica para reforzar la acción de los elementos de la base para que el sistema, como un todo, aumente la captura de energía externa y el uso de los acervos internos.

4.6. Diagrama del sistema

Los símbolos del lenguaje de sistemas se usan desde 1965 y la forma de usarlos es explicada en varios libros de Odum (1971, 2000). Generalmente, el dibujo muestra un rectángulo que delimita al sistema o subsistema y muestra

sus acervos internos y las entradas y salidas. Si un acervo de energía interno proporciona recursos útiles es una fuente de energía. Si la tasa de uso es igual a la tasa de reposición, no precisa ser incluido, pues está en régimen de equilibrio y es renovable. Mas, si es usado a una tasa mayor que su tasa de reposición, se convierte en una fuente no renovable y debe ser dibujado y considerado como entrada. Cada flujo se representa con una línea o una curva que va desde la fuente de energía hasta cada componente que la utiliza. El diagrama debe mostrar todo lo que es importante para el funcionamiento del sistema, del componente más pequeño al mayor, del más simple al más complejo. El diagrama identifica las energías usadas para producir un recurso, que actúa dentro del sistema y en la siguiente etapa de la cadena trófica en un proceso que se repite hasta que se agota la energía útil (exergía).

Figura 1. Obtención de las transformidades en la cadena de transformación de la energía solar en trabajo humano industrial



Fuente: elaboración propia a partir de informaciones de Odum (2001). Aunque aparecen los íconos de bienes y servicios (M&S), sus valores no fueron usados.

Pensando en términos de transformidad:

- 2.000 Joules solares generan 1 Joule de biomasa;
- 80.000 Joules solares generan 1 Joule de carbón;
- 300.000 Joules solares generan 1 Joule de electricidad;
- 10.000.000 Joules solares generan 1 Joule de trabajo humano.

La emergjía que entra en el sistema causa todas las transformaciones. En cada etapa de la cadena trófica, disminuye la energía útil y aumenta la transformidad. La emergjía inicial se mantiene constante hasta que se agota la energía útil. La razón (emergjía/energía útil) crece y al final de la cadena se agota.

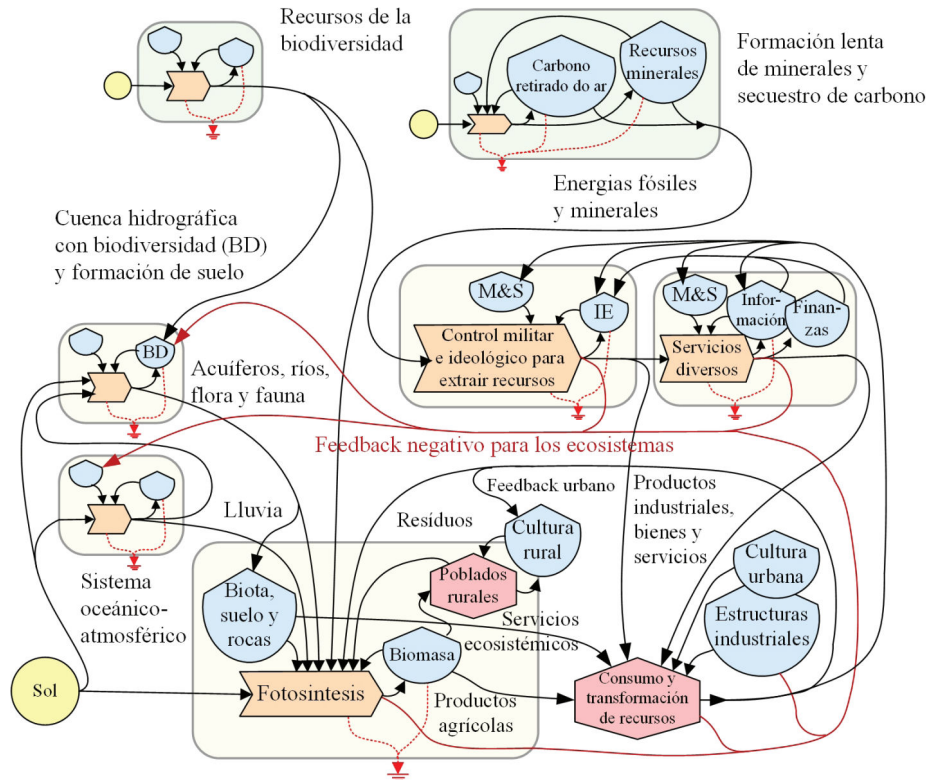
Después de esta explicación es posible aceptar la siguiente afirmación:

Las diferentes formas de la exergía (sol, lluvia, mareas, minerales, energía fósil etc.) difieren en su capacidad de realizar trabajo, pues sus transformidades son diferentes.

Para no confundir la energía de un producto (exergía, Joules) con la energía agregada usada para producirlo (emergjía, sej), las unidades de emergjía son denominadas *emjoules*. Como se usa como a medida común, la emergjía de la radiación solar, las unidades de la transformidad son *emjoules solares por Joule (sej/J)*.

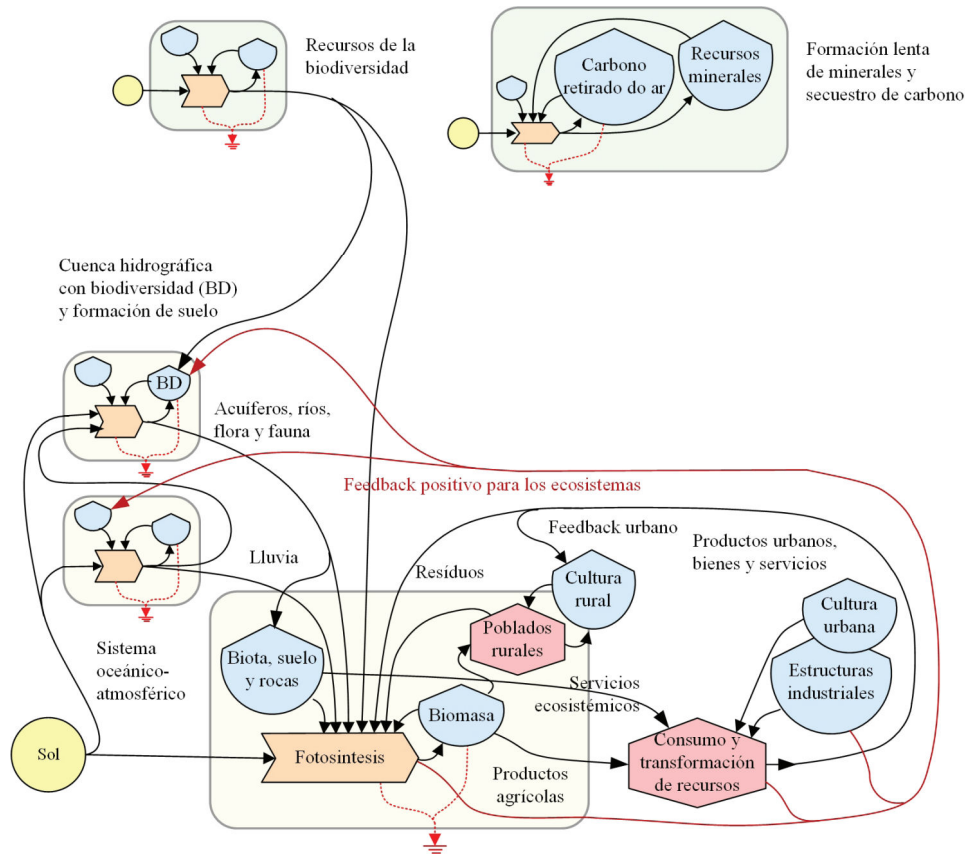
4.7. Propuesta para el marco de referencia del análisis energético

Figura 2a. El diagrama simplificado de la biosfera actual que incluye (a) fuentes del pasado remoto no renovables; (b) fuentes renovables y lazos de retorno productivos (en negro) que causan homeostasis; (c) el uso del carbón fósil y minerales causan un lazo de retorno negativo (en rojo): el cambio climático.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2b. Diagrama de la biosfera sustentable en el futuro. Este diagrama no usa las fuentes del pasado remoto no renovables. El sistema sustentable está basado en el uso de fuentes renovables y lazos de retorno productivos (en rojo) que causan homeostasis, se deja de usar el carbón fósil y los minerales que causaban un impacto negativo.

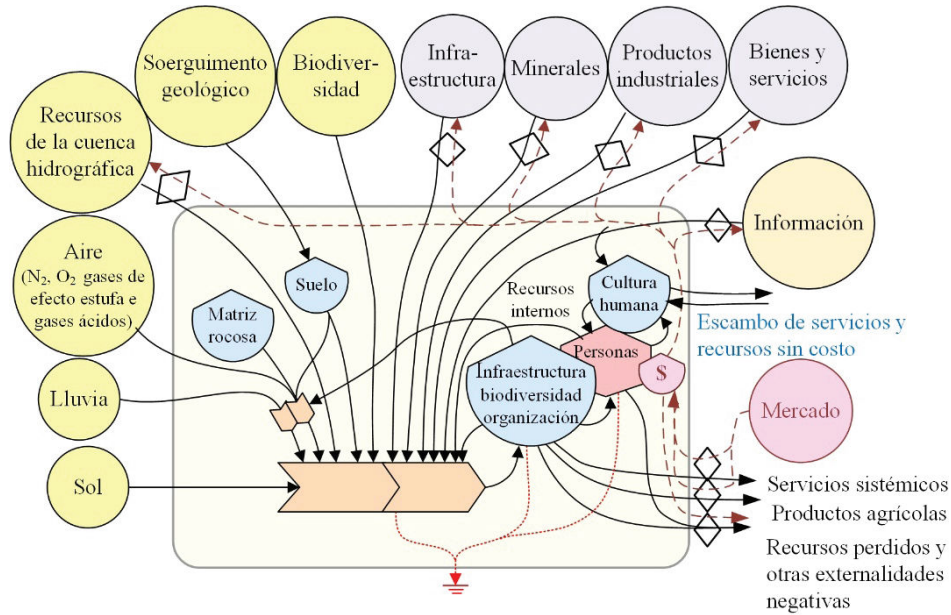


Fuente: elaboración propia.

Diagrama con flujos y acúmulos de masa, energía e información

Para poder dibujar los diagramas de flujos de exergía de los sistemas agrícolas es necesario partir de la visualización mostrada en las figuras 2a y 2b, que nos indican la situación actual de dependencia de los recursos no renovables y la posibilidad de un sistema de producción y consumo que sea independiente de esos recursos que son dañinos para la biosfera y la sociedad. Los diagramas siguientes (figuras 3a y 3b) son genéricos, pueden servir para hacer la contabilidad de sistemas rurales, tanto los convencionales, que se basan en el uso de recursos obtenidos con energía fósil, como los orgánicos y agroecológicos que se basan en el uso de recursos renovables. El primer diagrama identifica los recursos utilizados más importantes, el segundo los organiza de acuerdo a su origen (R, N, M, S).

Figura 3a. El diagrama simplificado de un sistema de producción rural



Fuente: elaboración propia.

Figura 3b. El diagrama de flujos agregados de un sistema rural

N = Fuentes no renovables de la naturaleza: erosión y destrucción del capital biológico.

R = Materiales renovables provenientes de la biosfera, de la cuenca hidrográfica y de los acumulos internos movilizados por la biodiversidad (recursos renovables indirectos)

Contribuciones de la naturaleza:

$$I = R + N$$

$$R = R_1 + R_2$$

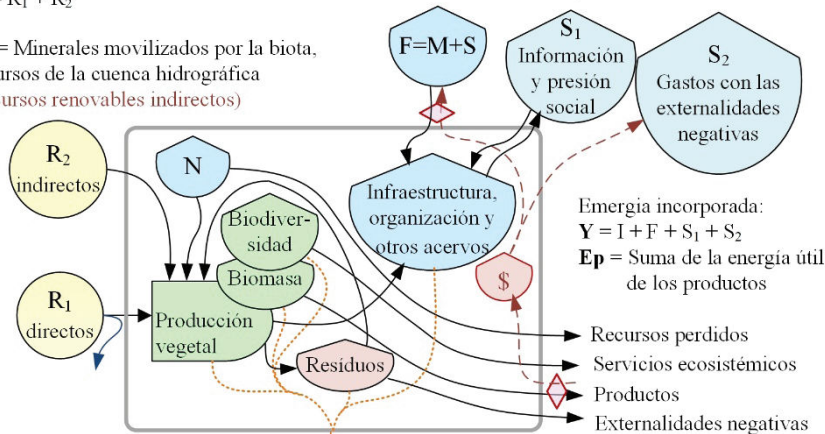
R₂ = Minerales movilizados por la biota, recursos de la cuenca hidrográfica (recursos renovables indirectos)

S₁ = Fuerzas sociales de origen local, regional, nacional o externo (valor sin medir hasta hoy).

S₂ = Gastos para cuidar del impacto sobre el ambiente (un valor poco cuantificado).

F = Retroalimentación de la economía urbana (Feedback):

Materiales (M) e Servicios (S) (generalmente no renovables).



R₁ = radiación recibida del Sol, fuerza gravitacional de la Luna y energía térmica del interior de la Tierra (recursos renovables directos)

Energía degradada (sin energía potencial)

Energía incorporada:
 $Y = I + F + S_1 + S_2$
E_p = Suma de la energía útil de los productos

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Tabla de cálculo de los flujos de emergía

1	2	3	4	5	6	7
Nota	Contribución	Número	Unidad	Transformidad	emergía	emDólares
R: Recursos de la naturaleza renovables						
N: Recursos de la naturaleza no-renovables						
M: Materiales de la economía						
S: Servicios de la economía						
Y: suma de R, N, M y S: Emergía total usada						

La columna #1 muestra el número de la **nota de pie-de-página** o del **memorial de cálculo** donde se detallan los cálculos. La columna #2 contiene los **nombres** de las diversas entradas del sistema. La columna #3 tiene el **valor numérico** de cada flujo de entrada. Para evaluar un sistema, *en estado estacionario*, son necesarios los valores de las contribuciones de la naturaleza y de la economía. Se usan las unidades usuales: masa (kg), energía (Joules), dinero (\$). Deben incluirse todos los flujos necesarios para mantener los acervos internos. Para calcular la depreciación de los bienes, los gastos iniciales de maquinaria y infraestructura son divididos por el tiempo que duran en funcionamiento. La columna #4 tiene **las unidades** de cada flujo de entrada. La columna #5 muestra **la transformidad** o valor unitario de emergía [sej/unidad]. La fuente de información debe citarse en una nota de pie de página. En la columna #6 son mostrados los **flujos de emergía**. Ellos se obtienen al multiplicar las entradas (unidades/área/tiempo) de la columna 3 y los valores de transformidad (sej/unidad) de la columna 4. Cada valor se expresa como flujo de emergía (sej/área/tiempo). En el caso de servicios humanos, se usa dinero (US\$/área/tiempo). El dinero es convertido en dólares de acuerdo con la tasa de cambio del país y después ese valor es multiplicado por la razón (emergía/dólar [sej/US\$]) del país para el año considerado en el estudio. La columna #7, contiene los valores en **emDólares** (emUSD/área/año). Para cada recurso, el valor de su flujo de emergía es dividido por la razón (emergía/dinero) de la economía del país. Existen datos de esa razón para varios países (ODUM, 1996, 1971, 1983, 2000a; ODUM *et al.*, 2000). Los cálculos de la razón (emergía/US\$) consideran la suma de los valores de emergía de todos los recursos usados en el país en un año.

Fuente: elaboración propia.

4.8. Principales índices emergéticos

La contabilidad emergética cuenta con índices que usan los valores agregados de emergía (R, N, M, S). Con estos índices se hacen inferencias sobre el sistema (Odum, 2000b).

Transformidad o valor unitario de energía (Tr, *transformity* o UEV).

Es el valor inverso de la eficiencia ecosistémica. Permite comparar el desempeño. La transformidad solar del recurso producido por un sistema se obtiene al dividir la energía total entre la energía del recurso producido.

$$\text{Tr} = Y/Q_p = \text{Energía utilizada} / \text{Energía potencial contenida en el producto}$$

Este indicador puede ser referido a un producto específico de sistema o a la suma de los diversos productos e, incluso, considerar los coproductos de impacto negativo (externalidades negativas).

Razón de rendimiento emergético (EYR, *energy yield ratio*)

También conocida como saldo emergético. Revela cual es el saldo líquido para la etapa siguiente de la cadena trófica. Se obtiene al dividir la energía usada (Y) entre la energía que proviene de la economía (F). Indica si el sistema puede competir con otros para proporcionar energía primaria a la cadena productiva.

$$\text{EYR} = Y/F = \text{Energía/Economía}$$

$$\text{EYR} = Y/F = (R+N+F) / F = 1.0 + [(R+N) / F] = 1.0 + (\text{naturaleza} / \text{economía})$$

El EYR evalúa la viabilidad de las fuentes de energía. Cuando el valor de este índice es próximo a la unidad significa que no hay saldo líquido de energía y por lo tanto, de sustentar una cadena de transformación. El EYR de los productos agrícolas varía entre 1,05 y 3, la madera está entre 2 y 40, el agrocombustible etanol en 1,15. De acuerdo con Odum (2007), los valores de este índice para el petróleo variaron entre 12 y 3 entre 1974 y 2001. En el caso del petróleo de plataformas marinas el valor en ese período estuvo entre 10 y 6. Cabe destacar que, generalmente, el cálculo de la energía total (Y) no considera las externalidades negativas, si ese valor fuese incluido el valor de EYR sería menor. El EYR de los combustibles fósiles está disminuyendo porque su extracción exige cada vez más energía. Si baja a 1, el uso del combustible fósil sería inviable.

Porcentaje de renovabilidad (%Ren, *renewability*)

Mide la proporción de recursos renovables usados. Evalúa la independencia del sistema en relación con los recursos de las energías fósiles. Con los valores de los flujos de energía se puede calcular la razón entre las energías de los recursos renovables y del total de recursos.

$$\%Ren = (R / Y) * 100 \Rightarrow \%Ren = (Y_R / Y) * 100$$

Los países menos industrializados muestran alta renovabilidad, los países más industrializados valores bajos. En el comercio internacional se realiza una transferencia de la riqueza ambiental de las naciones poco industrializadas a las industrializadas en la compra de materias-primas (subsidio de sostenibilidad). Brown y Ulgiati (1999) indicaron que 70% de la riqueza real del mundo provenía de recursos no renovables (petróleo, carbón, minerales) y el 30% de las fuerzas renovables (sol, mares y calor interno de la Tierra). Esta situación hoy en día está peor ya que la economía mundial usa cada año más petróleo.

Razón de energía invertida (EIR, *energy investment ratio*)

Permite saber si los recursos de la economía tendrán una buena contrapartida de recursos naturales. Indica que tan económico es el proceso estudiado.

$$EIR = F/I = \text{Economía} / \text{Naturaleza} = \text{recursos comprados} / \text{recursos gratuitos}$$

Para ser competitivo en la economía regional, el proceso debe tener un valor de EIR similar a los de las otras actividades de la región. Si requiere más de la economía que las otras alternativas, tendrá menos chances de subsistir. Se demanda poco, la razón (F/I) será menor y tendrá condiciones de competir y prosperar, pero los países afectados pueden colocar trabas o tasas a los productos importados de economías menos desarrolladas para impedir la competición visando proteger a sus productores.

Tasa de carga ambiental (ELR, *environmental loading ratio*)

Mide el impacto sobre el medio ambiente. Indica la proporción de energía no renovable (N+F) en relación con la energía renovable (R). En esta fórmula, F es considerado como no renovable, pues F tiene esa característica en la mayoría de los países industrializados.

$$ELR = (N+F)/R = \text{Recursos no renovables} / \text{recursos renovables}$$

Razón de intercambio de emergía (EER, *emergy exchange ratio*)

Es la proporción entre la emergía cedida al consumidor y la emergía recibida por el productor en una transacción comercial. Los minerales y los productos rurales tienen un EER alto cuando son comprados al precio establecido por el mercado. El dinero recibido paga apenas los servicios humanos y no el inmenso trabajo realizado por la naturaleza.

$$\text{EER} = Y / [\text{producción} * \text{precio} * (\text{emergía}/\text{USD})]$$

El estudio de los valores de EER en el comercio regional y global muestra que hay una gran iniquidad en el intercambio de riqueza real (emergía). Las naciones desarrolladas al comprar materias-primas de los países menos desarrollados consiguen un saldo de emergía a su favor, pues la emergía del dinero recibido por los vendedores es mucho menor que la emergía contenida en las materias primas adquiridas por los compradores.

4.9. Ejemplo de aplicación: producción de soja en tipos de sistemas

En esta parte se presentan los resultados de la aplicación del método de cálculo emergético en tres sistemas de producción de soja: orgánico, convencional y transgénico. Las fuentes de los datos de la tabla 2, en el caso del sistema orgánico fueron obtenidos en visita a los productores y consultas a técnicos e investigadores. Para los otros dos sistemas fueron usadas las informaciones que constan en IEG/FNP (2019). Para elaborar las tablas de cálculo fueron usadas informaciones de la literatura científica sobre análisis emergético, presentada en 4.1 y 4.3, siguiendo los diagramas y el método presentados en 4.2.

- *Orgánico*. Sistema que no usa fertilizantes químicos ni biocidas. Intensivo en uso de mano de obra.
- *Convencional*. Sistema basado en fertilizantes químicos, agrotóxicos, herbicidas y máquinas agrícolas.
- *Transgénico*. Sistema que usa semillas transgénicas, herbicida, fertilizantes químicos, agrotóxicos y máquinas agrícolas.

Todos los cálculos mostrados a continuación pueden ser consultados en una planilla de cálculo usando el siguiente link: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/costos/soja-Brasil2019.xlsx>

Tabla 2. Entradas da naturaleza y de la economía en 3 sistemas de producción de soja

	Base: 1 año, 1 ha de área productiva (2018)	Unid.	Orgánica	Convencional	Soja RR	Transformidad	Unid.
R1	Agua de lluvia	m3/m2	1,3	1,3	1,3	23.136	sej/J
R2	Nitrógeno atmosférico	kg	60	60	60	5,842E+12	sej/kg
R3	Minerales solubilizados	kg	5	5	5	5,21E+11	sej/kg
N1	Pérdida del suelo (erosión)	kg	0	800	800	94.234	sej/J
N2	Pérdida de la calidad del suelo	kg	1	20	20	1,00E+12	sej/kg
M1	Semillas locales	kg	9	0	0	4,95E+12	sej/kg
M2	Semillas certificadas	kg	54	0	0	4,04E+12	sej/kg
M3	Semillas transgénicas	kg	0	51	51	1,00E+13	sej/kg
M4	Roca caliza en polvo	kg	0	560	545	1,36E+06	sej/kg
M5	Fertilizante NPK 00-20-20	kg	44	422	411	2,34E+12	sej/kg
M6	Estiércol (20% humedad)	kg	4.706	0	0,0	6,20E+11	sej/kg
M7	Inóculo	kg	0,9	0,9	0,9	1,05E+15	sej/kg
M8	Herbicidas	kg	0	2,2	7,0	1,65E+15	sej/kg
M9	Biocidas (agrotóxicos)	kg	0	3,4	6,2	1,88E+13	sej/kg
M10	Combustibles fósiles	litros	40	0,0	0,0	4,56E+12	sej/litro
M11	Maquinaria agrícola	US\$	7,5	162,8	152,2	2,86E+12	sej/US\$
S1	Servicios directos en el campo	US\$	25,6	27,2	22,7	2,86E+12	sej/US\$
S2	Servicios indirectos	US\$	42,3	130,4	131,5	2,86E+12	sej/US\$
S3	Externalidades negativas	US\$	20	360	360	2,86E+12	sej/US\$

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3a. Flujos en emergía (sej/ha/año) en la producción de soja

	Orgánica	Conven- cional	Soja RR	% Ren	Orgánico emergía renovable	Convenció- nal emergía renovable	Transgéni- co emergía renovable
R1	1,50E+15	1,50E+15	1,50E+15	1	1,50E+15	1,50E+15	1,50E+15
R2	3,51E+14	3,51E+14	3,51E+14	1	3,51E+14	3,51E+14	3,51E+14
R3	2,61E+12	2,61E+12	2,61E+12	1	2,61E+12	2,61E+12	2,61E+12
N1	0,00E+00	6,82E+13	6,82E+13	0	0	0	0
N2	1,00E+12	2,00E+13	2,00E+13	1	5,00E+12	5,00E+12	5,00E+12
M1	4,46E+13	0	0	1	4,46E+13	0	0
M2	2,18E+14	0	0	0,5	1,09E+14	0	0
M3	0,00E+00	5,10E+14	5,09E+14	0,1	0	5,10E+13	5,09E+13
M4	1,04E+14	7,62E+08	7,41E+08	0	0	0	0
M5	2,92E+15	9,89E+14	9,63E+14	0	0	0	0
M6	9,42E+14	0	0	1	2,92E+15	0	0
M7	0,00E+00	9,63E+14	9,63E+14	0,9	8,48E+14	8,66E+14	8,66E+14
M8	0,00E+00	3,68E+15	1,16E+16	0	0	0	0
M9	1,82E+14	6,33E+13	1,17E+14	0	0	0	0
M10	2,14E+13	0,00E+00	0,00E+00	0	0	0	0
M11	4,46E+13	4,66E+14	4,35E+14	0	0	0	0
S1	7,31E+13	7,7679E+13	6,49E+13	0,9	6,58E+13	6,99E+13	5,84E+13
S2	1,21E+14	3,73E+14	3,76E+14	0,1	1,21E+13	3,73E+13	3,76E+13
S3	5,72E+13	1,03E+15	1,029E+15	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3b. Flujos de emergía agregados

	Emergía orgánico	Emergía conven- cional	Emergía Soja RR		Emergía renovable orgánico	Emergía re- novable con- vencional	Emergía renovable transgénico
R=	1,86E+15	1,86E+15	1,86E+15		1,86E+15	1,86E+15	1,86E+15
N=	1,00E+12	8,82E+13	8,82E+13		5,00E+12	5,00E+12	5,00E+12
M=	4,43E+15	6,67E+15	1,45E+16		3,92E+15	9,17E+14	9,17E+14
S=	1,94E+14	4,50E+14	4,41E+14		7,79E+13	1,07E+14	9,60E+13
S=	4,45E+14	1,93E+15	1,91E+15		7,79E+13	1,07E+14	9,60138E+13
				Ren=	87%	27%	16%
Y=	6,73E+15	1,05E+16	1,84E+16	YR=	5,86E+15	2,89E+15	2,88E+15

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Flujos en emDólares (emUSD/ha/año) en la producción de soja

	Precios (USD/unidad) en 2018			Transfor- mi- dad	Valor monetario (Dóla- res/ha/año)			Valor Real (emDolares/ ha/año)		
	Orgá- nico	Conv.	RR 2018	Sej/ unid.	Orgá- nico	Con- ven- cional	Soja RR	Orgá- nico	Con- ven- cional	Soja RR
R1	0	0	0	1,16E+15	0	0	0	526,09	526,09	526,09
R2	0	0	0	5,84E+12	0	0	0	122,60	122,60	122,60
R3	0	0	0	5,21E+11	0	0	0	0,91	0,91	0,91
R							Subtot.	649,61	649,61	649,61
N1	0	0	0	8,52E+10	0	0	0	0	31,37	31,37
N2	0	0	0	1,00E+12	0	0	0	0,04	0,78	0,78
N							Subtot.	0,04	32,15	32,15
M1	0,137	0	0	4,95E+12	1,24	0	0	15,6	0	0
M2	0,398	0	0	4,04E+12	21,44	0	0	76,1	0	0
M3	0,000	1,34	1,83	1,00E+13	0	68,3	93,2	0	178,4	178,1
M4	0,027	0,04	0,04	1,36E+06	0	22,4	21,8	0	2,66E- 04	2,59E- 04
M5	0,549	0,54	0,53	2,34E+12	24,3	227,9	217,8	36,3	345,8	336,7
M6	0,027	0,00	0,00	6,20E+11	129,2	0	0	1020,1	0	0
M7	0,632	3,25	3,00	1,05E+15	0,6	3,0	2,8	329,4	336,7	336,7
M8	20,597	15,60	3,24	1,65E+15	0	34,8	22,7	0	1287,8	4042,3
M9	14,184	33,03	16,51	1,88E+13	0	111,3	103,0	0	22,2	41,0
M10	1,150	1,15	1,15	4,56E+12	46,0	0	0	63,7	0	0
M11	0,618	0,24	0,23	2,86E+12	4,6	39,1	35,0	7,5	162,9	152,3
M				Subtot.	227,4	506,8	496,2	1548,7	2333,7	5087,1
S1	1,00	1,00	1,00	2,86E+12	25,58	27,17	22,70	25,58	27,17	22,70
S2	1,00	1,00	1,00	2,86E+12	42,27	130,35	131,53	42,27	130,35	131,53
					67,85	157,52	154,23	67,85	157,52	154,23
S3	1,00	1,00	1,00	2,86E+12	20	360	360	20	360	360
S _T	Subtotal de servicios con externalidades				315,3	1024,3	1010,5	2286,2	3533,1	6283,2
S	Subtotal de servicios sin externalidades				295,3	664,3	650,5	2266,2	3173,0	5923,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Producción, flujos agregados de emergía, indicadores emergéticos

Productos	Unid.	Factores	Orgánico	Convencional	Soja RR
Soja	kg/ha		1982	3300	3502
Madera	kg/ha		385	0	0
Agua	kg/ha		126.538	0	0
Servicios Ecosistémicos	kg/ha		5.000	1000	1000
Soja	J/ha	5400	5,20E+10	8,70E+10	9,30E+10
Madera	J/ha	9000	1,70E+10	0	0
Agua	J/ha	5000	3,10E+12	0	0
Servicios Ecosistémicos	J/ha	5000	1,20E+11	2,40E+10	0,00E+00
Energía dos productos	J/ha	Soma =	3,30E+12	1,10E+11	9,30E+10
Precio de la soja (USD/kg)			1,00	0,37	0,37
Ventas (USD/ha)			1982	1221	1296
Flujos Agregados de Emergía			Orgánico	Convencional	Soja RR
Renovables:	R		1,86E+15	1,86E+15	1,86E+15
No renovables de la naturaleza	N		1,00E+12	8,82E+13	8,82E+13
Contribución de la naturaleza	I	R + N	1,86E+15	1,95E+15	1,95E+15
Materiales	M		4,43E+15	6,67E+15	1,45E+16
Servicios	S		4,45E+14	1,93E+15	1,91E+15
Contribución de la economía	F	M + S	4,87E+15	8,60E+15	1,65E+16
Emergía total:	Y	I + F	6,73E+15	1,05E+16	1,84E+16
Emergía renovable	Y_R		5,86E+15	2,89E+15	2,88E+15
Índices Emergéticos			Orgánico	Convencional	Soja RR
Transformidad sistémica:	Tr =	Y/Ep	2.046	94.400	198.733
Saldo emergético:	EYR=	Y/F	1,38	1,23	1,12
Renovabilidad:	Ren=	YR/Y	0,87	0,27	0,16
Tasa de inversión emergética:	EIR=	F/I	2,62	4,42	8,46
Carga ambiental:	ELR=	(N+M+S)/Y _R	0,83	3,01	5,75
Tasa de intercambio emergético:	EER=	Y / (\$*sej/\$)	1,19	3,02	4,97
Precio de equilibrio (USD/kg)			\$1,19	\$3,02	\$4,97
Precio de la soja (USD/kg)			\$1,00	\$0,37	\$0,37
Razón entre los precios			1,19	8,2	13,4

Fuente: elaboración propia.

Cuadros-resumen

En las tablas anteriores fueron mostrados los cálculos emergéticos y económicos, primero sin considerar las externalidades negativas y después considerándolas. Como las personas están poco acostumbradas al cálculo emergético, decidimos colocar cuadros-resumen que facilitan el entendimiento de los cálculos realizados.

Tabla 6. Producción, ventas y costos de la producción de soja, sin externalidades

Ítem	Orgánico	Convencional	Soja RR
Tamaño medio de la propiedad (ha)	10	100	1.000
Producción (kg/ha/año)	1980	3300	3502
Precio por quilo (US\$/kg)	1	0,37	0,37
Vendas de producto (US\$/ha/año)	1 982	1 221	1 296
Costo de producción (US\$/ha/año)	295	664	650
Materiales	227	507	496
Servicios	68	158	154
Lucro por hectárea (US\$/ha/año)	1 686	557	645
Lucro por propiedad (US\$/propiedad)	16 830	55 700	646 000
Costo por quilo (US\$/kg/año)	0,15	0,2	0,19
Lucro por quilo (US\$/kg)	0,85	0,17	0,18

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Inserción de las externalidades negativas de la producción de soja, en US\$

Ítem	Orgánico	Convencional	Soja RR
Costo de las externalidades negativas (US\$/ha/año)	20	360	360
Salida de las personas que vivían en el medio rural; Cuidados médicos con los intoxicados; Cuidados a las familias de los agricultores muertos; Tratamiento de los efluentes contaminados; Costos de la recuperación del ambiente destruido; Pérdida de los servicios ambientales regionales.			
Lucro al deducir las externalidades (\$/ha)	1 666	197	285
Tamaño medio de la propiedad (ha)	10	100	1000
Resultado final de la propiedad	16660	19700	286000
Costo de las externalidades por kg (USD/kg)	0,01	0,109	0,103
Costo de las externalidades de la propiedad	200	36000	360000
Costo externalidades/costos de producción	0,07	0,54	0,55

Fuente: elaboración propia sobre la base de Pretty et al. (2000).

Tabla 8. Efecto de la inserción de las externalidades de la soja, en sej/ha/año

Flujos de energía agregados (sej/ha/año)	Orgánico xE13	Conven. x E13	Soja RR x E13
Renovables (R)	186	186	186
No renovables de la naturaleza (N)	0	9	9
Materiales (M)	443	667	1454
Servicios (S)	45	193	191
Externalidades negativas (S adicional)	6	103	103
Energía total usada (Y)	679	1158	1943
Energía renovable (YR)	594	299	297
Renovabilidad: (Ren =YR/Y)	0,87	0,26	0,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Indicadores de la producción de soja incluyendo externalidades

Energía total usada	Y	679 E13	1 116 E13	1 940 E13
Energía calórica de la soja	Ep	5,2 E+10	8,7 E+10	9,3 E+10
Energía de los productos	Ep'	3,3 E12	1,1 E11	9,3 E10
Índices emergéticos		Orgánico	Convencional	Soja RR
Transformidad de la soja	Tr soja	128 500	121 000	199 000
Transformidad del sistema	Tr sistema	2 046	94 400	199 000
Razón de rendimiento	EYR	1,38	1,23	1,12
Renovabilidad	Ren	0,88	0,28	0,16
Razón de inversión	EIR	2,62	4,42	8,46
Tasa de carga ambiental	ELR'	0,82	2,90	5,57
Razón de intercambio	EER'	1,19	3,02	4,97
Tasa de trabajo (personas/ha)	TTH'	5/10	5/100	5/1000

Fuente: elaboración propia.

4.9.1. Conclusiones del caso estudiado

Los indicadores emergéticos y económicos mostrados en las tablas 2-9 muestran que la mejor opción es la orgánica. La transformidad sistémica del sistema orgánico (2046 sej/J) indica alta eficiencia, las transformidades de las otras alternativas son muy altas debido al uso de insumos industriales. La renovabilidad de la opción orgánica (88%) es 3 a 6 veces mayor que la de las opciones agroquímicas (16-28%). El índice de rendimiento emergético del sistema orgánico (1,38) es mayor que las otras opciones (1,23 y 1,12) y por lo

tanto tiene un saldo de energía mayor para ser usada por otros sistemas. La tasa de inversión de energía del sistema orgánico (2,62) es menor que las otras opciones (4,42 y 8,46) y por lo tanto exige menos recursos de la economía. La tasa de intercambio de energía (1,19) está cercana al valor de equilibrio (1,0), podemos decir que tiene un precio justo. Las otras están muy distantes (3,02 y 4,97), así su valor real es muy alto debido al daño que causan. Es interesante notar que el precio justo de la soja orgánica es cercano al valor de mercado, el consumidor paga un precio adecuado que garantice la producción ecológica sin externalidades negativas y generando externalidades positivas importantes, como trabajo rural de buena calidad y servicios ecosistémicos.

Inferencias

Los resultados económicos muestran que los pequeños productores orgánicos y las empresas orgánicas tienen la mayor rentabilidad por unidad de área y emplean más personas por hectárea; no obstante, los grandes productores, convencionales y transgénicos, deben su lucro a la escala de producción y a que no pagan las externalidades negativas ni la reducción del trabajo humano en el espacio rural.

Los resultados obtenidos pueden contribuir en la discusión de políticas públicas que garanticen el desarrollo sostenido con ajuste a la capacidad de soporte ecológico de las regiones. En este sentido, vale la pena recordar las conclusiones de una publicación que evalúa la agricultura orgánica considerando la sostenibilidad: productividad, impactos ambientales, viabilidad económica y bien-estar (Reganold & Wachter, 2016). Los autores concluyen que la agricultura orgánica tradicional tiene potencial para garantizar la seguridad alimentaria global, usando sistemas más complejos como los agroforestales y los agrosilvopastoriles, para garantizar en el futuro alimentos en un contexto de seguridad ecosistémica y climática.

5. Conclusión

La medición emergética es diferente de aquella que surge de la acción del mercado, donde el valor de los productos y servicios depende de los precios del sistema económico y de las condiciones de oferta y demanda. En este caso no es computado el valor de la contribución de los ecosistemas naturales y sí su escasez o abundancia puntual. De esa forma los precios no informan correctamente la situación de sostenibilidad a largo plazo de las acciones económicas. Dado que el valor del recurso en energía considera la contribución de la naturaleza en la formación del mismo, si esta información fuera incorporada dentro del sistema de precios, induciría a las empresas y los consumidores a realizar elecciones orientadas hacia la sostenibilidad ambiental de la sociedad.

La aplicación de los estudios energéticos en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas productivos de las empresas es aún un tema incipiente, pero podría formar parte de la Contabilidad Ambiental (UN, 2001), pasando a comunicarse, en los Informes de Sostenibilidad, los indicadores energéticos de las empresas y de sus sistemas productivos, además del balance del flujo de materiales. Se tendría así una visión más correcta del impacto de las acciones humanas en los ecosistemas y más acorde con la definición de sostenibilidad enunciada por el Informe Nuestro Futuro Común. Se pueden usar Informaciones adicionales como el saldo de CO₂ y el Balance Ambiental (Kassai *et al.*, 2008). Hay que desarrollar casos específicos para fortalecer la Contabilidad Ambiental.

Se espera que a medida en que aumente el crecimiento económico y su impacto en los ecosistemas, se haga evidente que es infructuoso intentar medir esos impactos en moneda, a partir de la lógica del subsistema humano y que se torne evidente que hay que mirar al sistema que alimenta la vida, que es el sistema natural. O sea, si hoy los seres humanos evalúan sus productos y servicios con valores del mercado, probablemente en el futuro usarán la energía (o algo equivalente), lo que exigirá entender la lógica de funcionamiento del sistema global. Si eso fuera posible podrán organizar sus ideas y acciones para actuar en conjunto con los ecosistemas y la biosfera y no contra ellos. Las políticas públicas pueden promover el ajuste entre la economía y el ambiente. Eso significa establecer criterios para escoger una entre varias alternativas de desarrollo. Por ejemplo, al elegir opciones de producción de energía de biomasa para determinar si un emprendimiento genera una contribución líquida a la economía, deberá colocarse todo en unidades de energía. Solo así, es posible calcular y comparar el rendimiento energético del sistema.

A partir de los estudios energéticos, la elección de alternativas puede ser mejor fundamentada (Ortega *et al.*, 2001) y, cuando fuese necesario, cobrar tasas ambientales con la intención de recomodar el sistema de precios en dirección al reconocimiento del trabajo de los ecosistemas naturales. Las políticas públicas deben tomar en cuenta la variación de los recursos disponibles con el tiempo, las limitaciones estructurales del sistema y la correcta retribución a todos los elementos que participan de él. El trabajo de los ecosistemas naturales debe ser reconocido, valorizado correctamente e incluido en la contabilidad. El dinero de las tasas ambientales cobradas debería ser empleado para ayudar a reponer lo que fue extraído, mantener la fertilidad de los ecosistemas y conseguir la sostenibilidad. Todos los componentes del sistema deben ser beneficiados, especialmente la producción y no solamente la parte relativa al procesamiento y consumo.

En futuros estudios es recomendable desarrollar más los conceptos de externalidades negativas, especialmente aquellas relacionadas con el cambio climático. Y también incluir las externalidades positivas, entre ellas, podemos citar las siguientes:

1. Verificar cómo recuperar la capacidad de planeamiento y gestión, local y regional y cómo fijar personas en el medio rural.
2. Estudiar cómo preservar los ecosistemas y los servicios ecosistémicos.
3. Diseñar e implantar sistemas integrados agrícolas, pecuarios y forestales con autosuficiencia alimentaria, de energía y recursos renovables.
4. Estudiar los medios de desarrollar una cultura que se apoye en los recursos y valores locales de forma de recuperar la resiliencia natural y social, descentralizando servicios públicos (salud, educación etc.) para empoderar las localidades.
5. Estudiar cómo introducir el GRI (Global Reporting Initiative) en las actividades agrícolas.
6. Estudiar los sistemas industriales para que evidencien su grado de sostenibilidad mostrando sus interacciones con la biosfera y los ecosistemas.
7. Estudiar cómo calcular el grado de sostenibilidad de una actividad observando la cadena productiva completa, desde la extracción de los insumos básicos hasta la devolución de los recursos utilizados, en buenas condiciones, al medio ambiente (Cavalett & Ortega, 2009).

Referencias bibliográficas

- Aglietta, M. (2018). *Money: 5000 Years of Debt and Power*. Verso: London & New York.
- Ament, J. (2019). Towards an ecological money theory. *Sustainability* 2019, 11, 923.
- Ayres, R. Van den Bergh, J. & Gowdy, J. (1998). *Viewpoint: Weak versus Strong Sustainability*. Tinbergen Institute Discussion Papers No 98-103/3 Nederland. Disponible en: <https://papers.tinbergen.nl/98103.pdf>
- Blinder A. S., Canetti E. R. D., Lebow D. E., Rudd, J. B. (1998). *Asking about prices: a new approach to understanding price stickiness*. New York: Russel Sage Foundation.
- Boston College Center for Corporate Citenship (2010). *How to read a corporate social responsibility report*. Disponible en: https://iri.hks.harvard.edu/files/iri/files/how_to_read_a_corporate_social_responsibility_report.pdf
- Brown, M. T. & Ulgiati, S. (1999). Emergy evaluation of the biosphere and natural capital. *Royal Swedish Academy of Sciences, Ambio*, 28 (6), 468-493.
- Callan, S. & Thomas, J. (2016). *Economia Ambiental*. São Paulo: Cenage Learningo.
-

- Carvalho, G. M. B. (2008). *Contabilidade Ambiental, Teoria e Prática*. Curitiba: Juruá.
- Cavalett, O. & Ortega, E. (2009). Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 17, 762-771.
- Dell (2017). *FY17 Corporate Social Responsibility Report*. Disponible en: <https://www.dell.com/learn/al/en/alcorp1/corporate~corp-comm~en/documents~fy17-cr-report.pdf>
- Eugenio, T. (2010). Advance in the social and environmental disclosures by companies and the legitimacy theory advance in the social and environmental disclosures by companies and the legitimacy theory. *Universo Contábil*, FURB, Blumenau, 6 (1), 102-118.
- Federación Argentina de Consejos Profesionales de Ciencias Económicas. FACPCE (2012). *Resolución Técnica N° 36 - Normas Contables Profesionales: Balance Social*.
- IEG/FNP (2019). *AGRIANUAL 2019. Anuário da Agricultura Brasileira*. SP: IEG/FNP.
- Instituto Ethos (2017). *Indicadores Ethos para negócios responsáveis. Ciclo 2017/2018*. São Paulo. Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social. Disponible en: www.ethos.org.br
- Kassai, J. R., Feltran-Barbieri, R., Carvalho, L. N., Afonso, L. F., Bacic, M. J., Araujo, L. J. S., Foschine, A. & Cintra, Y. C. (2010). Os monster-countries no cenário de mudanças climáticas globais de acordo com seus balanços contábeis. *RGSA - Revista de Gestão Social e Ambiental*. 4 (2), 3-20.
- Miller, P. (1994). *Accounting as Social and Institutional Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Odum, H. T. (1971). *Environment, Power, and Society*. New York: John Wiley, 1971, 336 pp.
- Odum, H. T. (1983). *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology*. Niwot: University Press of Colorado.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*. NY: John Wiley.
- Odum H. T. (1998). Self organization, transformity and information. *Science*, 242 (4882), 1132-1139.
- Odum, H. T. (2000a). Emergy evaluation of an OTEC electrical power system. *Energy*, 25 (4), 398-393.
- Odum, H. T. (2000b). Emergy of Global Processes, Folio #2, *Handbook of Emergy Evaluation*, Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, 30 pp.
-

- Odum, H. T. (2000c). *Emergy Accounting*. Center for Environmental Policy, Univ. of Florida, USA. Disponible en: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/htodum/emergyaccount.htm>
- Odum, H. T. & Odum, E. C. (2000). *Modeling for All Scales, An Introduction to Simulation*. San Diego CA: Academic Press, 458 pp.
- Odum, H. T. (2001). An Energy Hierarchy Law for Biogeochemical Cycles. En Brown, M. T. (Ed.), *Emergy Synthesis*. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville.
- Odum, H. T., Brown, M. T. & Brandt-Williams, S. (2000). Introduction and Global Budget, Folio #1, *Handbook of Emergy Evaluation*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, 16 pp.
- Odum, H. T. (2007). 1924–2002. *Environment, power, and society for the twenty-first century; the hierarchy of energy*. Columbia University Press.
- Ortega, E., Miller, M. & Anami, M. H. (2001). From emergy analysis to public policy: soybean in Brazil. *Proceedings of the 2nd Biennial Emergy Research Conference*. University of Florida, Gainesville, Florida, USA.
- Ortega E., Anami, M. & Diniz G. (2002). Certification of food products using emergy analysis. En *Proceedings of III international workshop advances in emergy studies*, Porto Venere, Italy, p. 227–237.
- Ortega E., Cavalett, O., Bonifacio, R. & Watanabe M. (2005). Brazilian soybean production: emergy analysis with an expanded scope. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25 (4), 323–334.
- Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R., Mason, C., Morison, J., Raven, J. H., Rayment, M. D., Van der Bijl, G. (2000). An assessment of the total external costs of UK agriculture, *Agricultural Systems* 65, 113–136. Elsevier Publishing. Disponible en: www.elsevier.com/locate/agsy.
- Quinche-Martín, F. (2014). Desresponsabilización mediante la ‘responsabilidad social’: una evaluación retórica a las ‘cartas de los presidentes’ presentes en tres informes de responsabilidad social empresarial en Colombia. *Cuadernos de Contabilidad*, 15 (37), 153–185.
- Reganold, J. P. & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, February.
- Rodrigues, V. P., Pigosso, D. C. A. & Mcaloone, T. C. (2016). Process-related key performance indicators for measuring sustainability performance of ecodesign implementation into product development. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, 139, 416–428.
- Tesla (2019). *Tesla Impact Report 2018*. Disponible en: https://www.tesla.com/ns_videos/tesla-impact-report-2019.pdf
-

- Tinoco, J. E. P. & Robles, L. T. (2006). A contabilidade da gestão ambiental e sua dimensão para a transparência empresarial: estudo de caso de quatro empresas brasileiras com atuação global. *Revista de Administração Pública*, 40 (6), 1077-1096.
- United Nations. UN (2001). *Environmental Management Accounting Procedures and Principles*. Prepared for the Expert Working Group on “Improving the Role of Government in the Promotion of Environmental Management Accounting”. United Nations Division for Sustainable Development.
- United Nations. UN (2015). *Transforming our World. The 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Vigneau, L., Humphreys, M. & Moon, J. (2015). How do firms comply with international sustainability standards? Processes and consequences of adopting the global reporting initiative. *Journal of business ethics*, 131 (2), 469-486.
- Waddock, S. (2008). Building a New Institutional Infrastructure for Corporate Responsibility. *Academy of Management Perspectives*, 22 (3), 87-108
- World Commission on Environment and Development. WCED (1987). *Brundtland Report. Our Common Future*. United Nations.
-