



LA NUEVA ECOLOGÍA, UNA PERSPECTIVA INTEGRADORA HACIA UN PARADIGMA DE SUSTENTABILIDAD

NEW ECOLOGY, INTEGRATIVE PERSPECTIVE TOWARD A PARADIGM OF SUSTAINABILITY

J.F. García Trejo y G.M. Soto Zarazúa, Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala, Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de Las Campanas s/n Col. Las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, México*

Autor para correspondencia:

**fernando.garcia@uaq.mx*

Fecha de recepción: 21/05/2012

Fecha de aceptación: 18/06/2012

Resumen

En los comienzos de este nuevo siglo la humanidad trató de hacer un recuento de sus recursos, los resultados no son nada alentadores y exigen estrategias inmediatas y efectivas que puedan garantizar el funcionamiento de los procesos tal y como los conocemos. El reto es lograr la sustentabilidad, pero los esquemas actuales bajo los que se pretenden establecer dichas estrategias presentan serias deficiencias debido a que fueron generados bajo la misma visión que llevó a la naturaleza a la problemática que vivimos actualmente. La misma tecnología y el paradigma científico que la generó se ven ahora inmersos en la solución de problemas ambientales. En este trabajo se muestran los antecedentes de algunos marcos teóricos como la ecología estequiométrica, la síntesis emergética y se propone su empleo en un futuro para las investigaciones y desarrollos relacionados con la tecnología de los sistemas productivos sostenibles.

Palabras clave: Emergia, Ecología estequiométrica, Sostenibilidad.

Abstract

At the beginning of this century mankind tried to take stock of their resources, the results are not encouraging and require immediate and effective strategies that can ensure the functioning of the process as we know them. The challenge is to achieve sustainability, but the current schemes under which they are intended to establish such strategies have serious shortcomings because they were generated under the same vision that led to the problematic nature we live in today. The same technology and the scientific paradigm that generates it are now immersed in the solution of environmental problems. This paper shows the history of some theoretical frameworks such as stoichiometric ecology and emergy synthesis suggesting that in future should be used for research and development related to technology and to sustainable production systems.

Keywords: Emergy, Stoichiometric ecology, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento científico ha pasado por diversas etapas que lo han conformado y le han generado atributos hasta convertirlo en lo que hoy consideramos ciencia (Popper, 2002). Estas etapas se han caracterizado por la forma de ver y analizar las relaciones entre las cosas “paradigmas”, a este respecto, Thomas Kuhn menciona que un paradigma es:

“El conjunto de conceptos, creencias, tesis, que en una etapa dada de la historia acepta la comunidad científica y basado en él desarrolla toda su actividad investigativa hasta un punto donde ocurre una modificación de tal magnitud que se presenta un cambio radical que rompe con el esquema anterior comenzando así una revolución científica” (Kuhn, 1986).

La comunidad científica mantiene una estructura de pensamiento basada en la observación, medición y comprobación, considerando que los métodos bajo los que estudia al objeto son los adecuados. Sin embargo, los resultados de varias áreas de la ciencia reflejan que en este mundo existe un desorden que impide encontrar soluciones de manera aislada (Hortolà, 2006). La exigencia actual requiere de la utilización de marcos teóricos adecuados a las problemáticas que enfrenta la humanidad. Una de las problemáticas globales que vive actualmente la sociedad humana es la relacionada con alteraciones hechas en los ecosistemas del planeta sobre todo por recursos y energía (Simpson y Christensen, 1996).

La biología al igual que sus disciplinas presenta un carácter integrador con un amplio bagaje de conocimientos que cada vez se vuelve más especializado, desde el nivel molecular hasta el ecosistema. Sin embargo, las aproximaciones que se han generado en áreas relacionadas con el nivel celular han sido bajo el punto de vista reduccionista, que genera un amplio conocimiento de las propiedades de la materia a un nivel micro y brinda res-

puestas de lo que pasa en un sistema con mayor complejidad (Elser y Hamilton, 2007). Por otro lado, áreas como la ecología que tradicionalmente se han enfocado al estudio de los ecosistemas han priorizado la interpretación holista dejando de lado la reduccionista. En la actualidad han surgido relaciones sinérgicas entre ramas de la química y la ecología como la ecología estequiométrica cuya finalidad es generar un tipo de conocimiento con algunas propiedades interesantes como:

- 1) La integración de diversos niveles de organización manteniendo la atención a las diversas causas.
- 2) Aborda las propiedades emergentes desde una perspectiva holística, permite predecir considerando lo complejo del sistema.
- 3) Busca tener un aprovechamiento multinivel y dinámico.

Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es dar a conocer los avances que se tiene en cuanto a la cuanto a la ecología estequiométrica y cómo es que se integra en los marcos de sustentabilidad.

EL ORIGEN DE LA ECOLOGÍA ESTEQUIOMÉTRICA

La palabra estequiometría tiene su raíz en dos vocablos griegos; *stoicheion* que significa elemento y *metrón* que significa medición. Fue introducida en la ciencia en 1792 por Jeremias Benjamin Richter en su libro “fundamentos de estequiometría” en el que explica como los pesos de combinación, también llamados pesos equivalentes de los elementos químicos, se encuentran en relaciones regulares que permiten ordenarlos en una serie numérica, generando así un primer ensayo de un sistema periódico de los elementos (Richter, 1792). Como rama de la química considera el estudio de la materia a partir de los reactivos y los productos de una reacción química (Henry, 1888).

Por otro lado, la palabra ecología fue propues-

ta por el zoólogo alemán Ernst Haeckel mediante el uso de *Oikologie* en 1866 que proviene de *oikos* que significa casa y *logos* que significa estudio, como rama de la biología su principal objeto de estudio es el nivel ecosistémico (Haeckel, 1866). El tema que ha permitido unir estas dos ramas, provenientes de distintas ciencias, es la energía y los nutrientes, ya que la estequiometría en su parte química se encarga básicamente de la determinación de los ajustes y arreglos entre las cantidades de sustancia que se encuentran en una reacción química y la ecología trata básicamente de cómo los organismos participan en los ciclos de los nutrientes.

La relación materia y energía

La idea de que la abundancia relativa de los elementos en el ambiente puede afectar las transformaciones biológicas de los materiales no es nueva, la interacción entre la estequiometría y la ecología presenta antecedentes muy antiguos en el campo de la ciencia y por su naturaleza muy diversos de acuerdo con la disciplina que los ha abordado. Lotka (1925) presenta una idea anticipada a la ecología estequiométrica ya que en su libro (*The elements of physical biology*) menciona: “Podemos emplear el término estequiometría para diferenciar a la rama de la ciencia que se encarga de las transformaciones materiales, con las relaciones entre las masas de los componentes”

Reconoce también la importancia vital del flujo de nutrientes en las cadenas alimentarias así como sus proporciones relativas que pudiera también ser abordado desde la perspectiva de las leyes termodinámicas generando con esto su famoso principio de máximo poder (Lotka, 1925). Si bien es cierto que esta idea era muy novedosa para su época no obtuvo el respaldo suficiente debido a que las relaciones alimentarias integran organismos autótrofos y heterótrofos, que hasta ese entonces eran estudiados por separado. Esta visión se continuaría hasta 1935 cuando Arthur Tansley propone el concepto “ecosistema” como una cate-

goría para clasificar la materia y además como el término apropiado para integrar los organismos pertenecientes al bioma con los factores inorgánicos (Tansley, 1935). Esta idea se vería complementada por una visión que concibe a estos componentes en un equilibrio dinámico relativamente estable al que denominaron climax (Tutin, 1941).

Tomando como base las ideas anteriores, Lindeman hace una primera aproximación hacia los flujos de energía y materia dentro del ecosistema. En su artículo “The trophic dynamic”, observa las implicaciones que tiene la teoría de Lotka iniciando una síntesis de dos campos de la ecología que hasta ese momento se habían desarrollado paralelamente: el estudio de las sucesiones (la dinámica temporal) en las comunidades, y el estudio de la dinámica trófica, es decir del flujo de nutrientes y energía en los ecosistemas (Clements y Shelford, 1939). Lindeman (1942) propone un enfoque teórico al estudio del flujo de la energía que le permite calcular la eficiencia en la transferencia de energía entre niveles tróficos reduciendo las complejas interacciones en un ecosistema a un denominador común, la energía (Lindeman, 1942).

El estudio del flujo de materia

La importancia del ciclo de los minerales dentro de los sistemas vivos es un tema que se ha abordado desde hace varias décadas, los primeros estudios hacen referencia a los ciclos en océanos. Redfield (1934) sospechó que la proporción de fosfato y nitrato debería ser aproximada a las características del protoplasma en general y propone que los mecanismos que pueden mantener dicho patrón son la fijación del nitrógeno y su desnitrificación (Redfield, 1934).

Algunos años después comprobaría la teoría de que la vida en los océanos controla el ambiente y genera la proporción N:P que según sus resultados es de 16:1 átomos, actualmente utilizada en muchas áreas de la ciencia (Redfield, 1958). Sin embargo Hutchinson (1959) y Hairston (1960)

proponen que es el carbón (C) el que regula el número de niveles en una cadena trófica (Hutchinson, 1959; Hairston y col. 1960). Al mismo tiempo algunos estudios en sistemas terrestres abordan el comportamiento de los nutrientes, específicamente sobre la absorción, difusión y almacenamiento de nutrientes en las plantas (Nye, 1958; Nye y Greenland, 1960; Nye, 1961). De acuerdo con Nye (1977) la difusión de fosfato, nitrato, amonio y potasio es menor a los requerimientos para el crecimiento óptimo de la planta, concluye que los procesos del suelo son el control primario sobre la absorción de nutrientes por cada unidad de raíz (Nye, 1977; Nye y Tinker, 1977).

Rodin menciona la importancia del ciclo de los minerales en un bosque caducifolio templado a partir de la determinación de las proporciones de biomasa promedio (Rodin y Bazilevich 1967). Los ecólogos Herbert Bormann y Gene Likens organizaron un estudio denominado Hubbard Brook que presentó un gran impacto en los estudios ecosistémicos, en el artículo publicado en Science en 1967 estos dos autores utilizaron la cuenca como unidad de estudio y reemplazaron el flujo de energía por el ciclo de nutrientes como proceso funcional principal en los ecosistemas (Bormann y Likens, 1967).

Los biólogos celulares y moleculares reconocen que la materia y energía se relacionan a través de reacciones bioquímicas del metabolismo (Morowitz, 1968). En respuesta a estos estudios Eugene Odum (1968) propone un modelo general de flujo de energía aplicable a las poblaciones y a las cadenas tróficas. Propone además que las mayores áreas de desarrollo se encuentran en los modelos para simular funciones ecológicas por computadora. Odum, fue uno de los pioneros en destacar la relación entre ciclaje de nutrientes y el grado de desarrollo de los ecosistemas calificando a los sistemas agrícolas como inmaduros o de ciclos abiertos de nutrientes, ya que en ellos existe una gran salida de elementos por cosecha y lixiviación, en contraposición con los ecosiste-

mas terrestres naturales, de ciclos cerrados, con un uso eficiente de nutrientes y mínimas pérdidas por lixiviación (Odum, 1968). Hutchinson profundiza más en este tema y menciona los mecanismos mediante los cuales la delgada capa de tierra sostiene los procesos cíclicos de energía y minerales a gran escala (Hutchinson, 1970).

El estudio del flujo de energía

Thomas Howard Odum junto con su hermano Eugene Pleasants Odum en 1955 comienzan una serie de estudios donde relaciona la ecológica y la energética biológica. Sus estudios en radioecología consistían en determinar la radiación del atolón después de ensayos nucleares. Al parecer, el atolón era lo suficientemente radiactivo que a su llegada a la Odum's fueron capaces de producir una autoradiografía imagen de una cabeza de coral colocándolo en papel fotográfico. Estos estudios fueron las primeras aplicaciones de los conceptos de energía a los sistemas ecológicos y las primeras exploraciones que implicaban las leyes de la termodinámica (Odum y Odum, 1955).

Desde este punto de vista, los ciclos biogeoquímicos están impulsados por energía radiante que expresaron como un equilibrio entre la energía de entrada y salida como la relación de la producción (P) para la respiración (R): PR . En un trabajo posterior Odum, H.T., clasifica los cuerpos de agua con base en las proporciones PR separando el ecosistema en autótrofos y heterótrofos, además diferencia los aspectos energéticos de los que se relacionan con los nutrientes generando diagramas de flujo solamente para la energía, este trabajo representa el primero de una serie de estudios que intentan probar el teorema de Lotka y su teoría asociada del balance en la eficiencia de energía (Odum y Pinkerton, 1955; Odum, 1957). De acuerdo con Golley esto generó el primer desacuerdo entre los investigadores que trabajaban con cuestiones energéticas de los sistemas (Golley, 1993).

Ecología energética

A partir de estos estudios se comienza a tener una visión del flujo de materia y energía que va más allá del propio sistema que se estudia donde la vía biológica es la única que permite mover nutrientes y energía río arriba, además existe una conexión entre los sistemas acuáticos y terrestres por lo que se debe abordar esta temática siempre que se requiera hacer un planteamiento de manejo (Likens y Bormann, 1974).

Hasta este punto histórico se habían propuesto ya algunos métodos de valoración para cuantificar algunos aspectos de la energía, los clásicos fueron los “análisis energéticos”, como el de “energía incorporada” (embodied energy), que se había empleado desde los años 70’s en procesos de tipo industrial y de construcción (Chapman, 1974; Bullard y Herendeen, 1975; Bullard y col. 1978; Chapman, 1975; Machado y col. 2001), aunque también se han usado para analizar los flujos de energía en la producción agrícola donde el objetivo es determinar la energía requerida directa o indirectamente para permitir a un sistema la producción de un determinado bien o servicio (Pimentel y Pimentel, 1979; IFIAS, 1974; Brown y Herendeen, 1996).

Algunos se centraron sobre el almacenamiento y la sucesión en ecosistemas, uno de los más importantes fue generado por Vitousek (1975) donde sugiere que el almacenamiento de nutrientes esenciales en biomasa de plantas (viva o muerta) es una causa importante de la variación en la pérdida de nutrientes a nivel de cuenca (Vitousek, 1975). Chapin (1980) establece comparaciones sobre la eficiencia en la asimilación de nitrógeno en plantas silvestres que han evolucionado en diferentes condiciones, de manera específica se centra en aquellas que se desarrollan en ambientes con escasez de nutrientes (Chapin, 1980).

Mientras que Vitousek continua con el ciclaje de nutrientes y la eficiencia (Vitousek, 1982). Reiners (1986) propone la generación de modelos que aborden el estudio de los sistemas a partir de las proporciones de nutrientes en cada organismo y en relación con su medio (Reiners 1986). La propuesta final de estos estudios menciona que las relaciones entre los organismos se encuentran limitadas y controladas por el flujo de energía que desde esta perspectiva puede cuantificarse a través de los ecosistemas. Parte importante de la discusión sobre este tema versaba sobre la calidad de energía, la eficiencia energética y el valor que la sociedad le da a las redes de energía (Odum 1988).

Síntesis emergética

En la década de los 90’s surge una idea que integra la economía y la ecología, dándole a los conceptos ecológicos una referencia social para lo que actualmente se conoce como “bien” y que se conoce como síntesis emergética.

Esta es quizás una de las aplicaciones más relevantes y logradas del trabajo de Howard. T. Odum (Abel, 2003; Hau y Bakshi, 2004). Se fundamenta en la Teoría General de Sistemas establecida a partir del trabajo de Ludwig von Bertalanffy (Bertalanffy, 1987) y en las leyes energéticas de A.J. Lotka (1922a; 1922b; 1925), que suponen uno de los primeros intentos de integrar sistemas ecológicos y económicos en términos cuantitativos, empleando la energía como lenguaje común, sujeta a las leyes de la termodinámica, así como en la Ecología de Sistemas, y la Energética de Ecosistemas, desarrollada por el propio H.T. Odum y su hermano E. P. Odum que supone una combinación de las dos perspectivas anteriores (Odum, 1993, 1998; Odum y Garrett, 2004).

El término Emergía, del que deriva la denominación de Síntesis Emergética, es la traducción de “EMergy” que designa el concepto de “Memoria energética” (Energy Memory). Dicho concepto se define como la cantidad de energía que ha sido

empleada de forma directa o indirecta en la generación de un determinado bien o servicio (Odum, 1988, 1996; Odum y Odum, 2003). De esta forma, y siempre según el método emergético, el valor de un recurso (bien) o servicio es intrínseco a dicho recurso y proporcional a su emergía, es decir, a toda la energía empleada en su “fabricación”, expresada en las mismas unidades estandarizadas.

Ecología estequiométrica

Casi al mismo tiempo aparece una nueva rama denominada “ecología estequiométrica” que une a la química y a la ecología al ocuparse del balance de energía y elementos químicos en las interacciones tróficas, principalmente Carbono (C), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) por mencionar los principales (Elser y col. 1996). Su objeto de estudio es la búsqueda de un balance entre varias sustancias químicas que se encuentran en los procesos e interacciones ecológicas sosteniendo que la abundancia relativa de los elementos puede afectar las transformaciones biológicas de los materiales (Sternner y Elser, 2002).

Incluso se puede decir que la finalidad es descubrir cómo el contenido químico de los organismos da forma a su ecología.

La estequiometría ecológica se ha aplicado a estudios de reciclaje de nutrientes, competencia por los recursos, el crecimiento de los animales y los nutrientes, los patrones de prescripción en materia de ecosistemas enteros. Más recientemente se ha extendido a dominios evolutivos en un intento de entender la bioquímica y la los factores determinantes de la evolución de las variaciones observadas en los organismos C: N: P (Sternner, 1990). En la actualidad, los principios de la estequiometría ecológica han sido ampliamente aplicados a la investigación sobre la dinámica poblacional (Moe y col. 2005), la dinámica trófica (Sternner y Hessen, 1994; Andersen, 1997; Sternner y col. 1997; Halpern y col. 2005; Hall y col. 2007) nutrición microbiana (Tezuka, 1990; Chrzanows-

ky, 1996; Cleveland y Liptzin, 2007), interacciones huésped patógeno (Smith, 1993a), relaciones simbióticas (Smith, 1993b), análisis comparativo de los ecosistemas (Elser y Hasset, 1994; Downing, 1997) y los ciclos de nutrientes (Refield, 1934; Manzoni, 2008, Sardans y col. 2011).

LA SUSTENTABILIDAD

La cumbre de la Tierra de 1992 en Río de Janeiro Brasil se constituyó como una plataforma de difusión política del concepto de desarrollo sustentable es decir:

“Aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes en forma igualitaria, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Esto desencadenó una serie de definiciones en diversos sectores como el institucional, el académico y el social (Redclif, 1993). Sin embargo, todos llegan al consenso de que el mundo está padeciendo una crisis ambiental debido al mal manejo de nuestros recursos, usos de tecnologías que gastan grandes cantidades de energía fósil, en general gastamos mucho en lo que nosotros consideramos “el bienestar humano” y sobre todo se ha perdido la noción espacio temporal del daño que estamos heredando debido a la idea de apropiación de la naturaleza (Postel y col. 1996; Vitousek y col, 1986; Vitousek y col. 1997; Rojstaczer y col. 2001).

Este uso tan intenso y desordenado que hace el ser humano de la naturaleza le ha convertido en la “especie ingeniera de ecosistemas” más importante del planeta al grado tal que el geoquímico de la atmósfera y Premio Nobel, Paul Crutzen, señala que hemos entrado en una nueva era geológica, denominada Antropoceno, en la que los procesos biofísicos fundamentales que controlan la dinámica global del planeta (ecosfera) estarían principalmente dominados por la acción humana (Crutzen y Stoermer, 2000).

Con el fin de evaluar como estaba el mundo la Organización de las Naciones Unidas (ONU) lanzó un programa de trabajo denominado Evaluación del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment (www.millenniumassessment.org), con el fin de estudiar las consecuencias sobre el bienestar humano de las grandes alteraciones que se están produciendo en los ecosistemas del planeta por las actividades del ser humano, así como proponer a los gestores una serie de acciones para detener, y si es posible revertir, este proceso gradual de degradación ambiental (MEA 2005). El programa, finalizado en el año 2005, ha puesto de manifiesto cómo en los últimos 50 años los seres humanos hemos transformado los océanos y los continentes de forma más rápida y extensa que en ningún otro período de la historia humana.

Se estima que un tercio del planeta ha sido transformado en cultivos por la acción humana (Rojstaczer y col. 2001). Se usa prácticamente la mitad del agua dulce que llega a los ríos y lagos (Postel y col. 1996). Las actividades humanas generan ahora más nitrógeno biológicamente disponible del que producen todos los procesos naturales juntos (Vitousek, 1986; Vitousek, 1991). Aproximadamente el 60% de los 24 grandes ecosistemas del planeta se están degradando, se ha perdido el 35% de los manglares y el 20% de los arrecifes de coral (Pimentel y col. 1995).

Las tasas de extinción de especies han aumentado entre 100 y 1.000 veces las conocidas antes de la intervención humana, y para algunos grupos este aumento ha supuesto la extinción de hasta el 20% de las especies conocidas. Estas cifras son, en algunos aspectos, aún peores que aquellas de las que se disponía antes de la realización de este programa de la Organización de Naciones Unidas (Vitousek, 1997; Grooten, 2012).

Agricultura sustentable

Los problemas ambientales, sociales y económicos plantean la necesidad de formular y poner en práctica estrategias que garanticen la sustentabilidad de los ecosistemas y de las sociedades en su conjunto.

Un claro ejemplo de esto es la llamada “revolución verde” que ha producido un aumento sustantivo en los rendimientos de los cultivos, sin embargo, también ha tenido un fuerte impacto en el ambiente, la salud de la población y otras especies (Conway y Barbier, 1990). En respuesta a la crisis generalizada de la agricultura industrial o de gran escala, se ha difundido desde principios de los años 80 una corriente denominada agricultura sustentable.

El concepto de sustentabilidad encuentra sus raíces en el informe realizado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas (“Comisión Brundtland”). Según la Comisión, el desarrollo sustentable es aquel que: “responde a las necesidades de la presente generación sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas”.

Por lo tanto, desde esta perspectiva el desarrollo no sólo implica crecimiento sino también la necesidad de preservar los recursos naturales y favorecer el desarrollo de los recursos humanos (WCED, 1987). El sector científico por su parte ha hecho hincapié en reorientar los sistemas productivos hacia una agricultura sustentable o sostenible, ya que la forma actual de producción de alimentos conlleva riesgos potenciales para la salud humana y amenaza la sobrevivencia de muchas especies (Crews, 1991).

La definición más integral que se tiene hasta ahora es la que da Allen y col. (1991) donde menciona que es esencial que la sustentabilidad se extienda no sólo a través del tiempo sino a nivel mundial, y que considere el bienestar no sólo de generaciones futuras sino de todas las

personas y seres vivos de la biósfera. Sostienen que la agricultura sustentable debería incluir no sólo el proceso productivo, sino el conjunto del sistema alimenticio y agrícola (Allen y Sachs, 1993). Esta perspectiva ofrece un enfoque integrador para el análisis y la implementación de sistemas agropecuarios (Gliessman, 2006; Lal, 2008), en la medida que incorpora aspectos productivos (Gafsi y col. 2006), ambientales, sociales y económicos (Altieri, 1999; Lichtfouse, 2009).

CONCLUSIÓN

El panorama de producción y consumo en los inicios del siglo XXI se avizora insostenible, el crecimiento asimétrico entre la población y la economía ha obligado a muchos segmentos de la sociedad a unirse para tratar de responder las cuestiones que plantea este desafío crítico:

1)¿Cómo satisfacer las necesidades básicas, aspiraciones y deseos actuales de la sociedad sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras?

2)¿Cómo mantener a perpetuidad un medio ambiente sano, físicamente atractivo y productivo biológicamente?

3)¿Cómo podemos llegar al balance entre la sustentabilidad social, ambiental y económica?

Hasta ahora no se ha dado una respuesta que haya solucionado estas cuestiones y sería osado pretender alcanzar en una sola exhibición tal objetivo. Sin embargo, los grupos científicos relacionados con el ambiente o los sistemas productivos han considerado una serie de alternativas para su desarrollo y que con un poco de investigación podrían ser buenas opciones para aportar elementos a la solución.

La tecnología es muy importante en el desarrollo de estrategias sostenibles ya que es una de las maneras en que interactuamos con la naturaleza,

extracción y modificación espacial del ambiente acorde a nuestras necesidades (Altieri, 2000; Persley. 2000). De hecho el uso de la tecnología ha sumido a la naturaleza en la problemática actual, por lo tanto, es uno de los aspectos que debemos modificar de forma inmediata, tal vez intentando que nuestras tecnologías sean sustentables.

Ahora bien, las características de estas tecnologías tienen un gran aporte ideal ya que todos quisiéramos que hubiera opciones que no impactaran en el ambiente, sin embargo la opción viable es llegar a los mínimos impactos para lo cual se proponen las siguientes características:

- a) Uso mínimo de energías naturales no renovables.
- b) Contextualizada culturalmente.
- c) Cubra las necesidades humanas.
- d) Impacto negativo sobre el ambiente nulo o mínimo.
- e) Opción de recirculación o reutilización.

El desarrollo de nueva tecnologías no implica que se tengan que desaparecer las que actualmente se utilizan, solo se pide que se integren a los marcos teóricos que no impacten al ambiente. Esto puede ser simplemente la reducción en la actividad eléctrica de un motor que participa en una cadena productiva y que es fundamental para la obtención de dicho producto o bien.

La finalidad bajo este esquema de pensamiento sería hacer más eficiente el motor, reducir su consumo de energía eléctrica proveniente de material fósil o disminuir su uso durante el proceso. Desde hace 30 años se comenzó a trabajar con esta visión a través de la implementación de tecnologías limpias que después pasaron a ser tecnologías verdes y en la actualidad se ubican más como energías renovables y tecnologías sustentables.

A este respecto la incorporación de marcos teóricos como la síntesis emergética o la ecología estequiométrica brindan un buen esquema para

que esto se lleve a cabo. Sin embargo, la tarea que está pendiente es la relacionada con conocer los mecanismos de movimiento de algunos elementos suministrados a manera de fertilizantes y absorbidos por las plantas como nutrientes (Sheraz, 2010). Con esto se podrá minimizar el uso de fertilizantes o bien proponer el uso de biofertilizantes y biopesticidas en los procesos convencionales de producción (Singh, 2012).

Lo mismo se intenta hacer en la producción acuícola, donde se intenta obtener la proporción de C:N o N:P en los desechos de los peces a los que se les suministrado alimento balanceado con la finalidad de obtener un re-uso de estos nutrientes por parte de algún organismo vegetal o animal (Elser y Hamilton, 2007; Allen y col. 2009; McIntyre, 2010). Todo esto acompañado de la parte de ingeniería que genera los sistemas de control y automatización para garantizar las condiciones adecuadas en los sistemas (Soto-Zarázua y col. 2011).

Referencias bibliográficas.

- Abel, T., 2003. Understanding complex human ecosystems: the case of ecotourism on Bonaire. *Conservation Ecology*, 7, pp. 10.
- Allen, P., Sachs, C. 1993. Sustainable Agriculture in the United States: Engagements, Silences, and Possibilities for Transformation. In *Food for the Future*, editado por Patricia Allen, pp. 139-167. New York: John Wiley and Sons, 1993.
- Allen, P., Van Dusen, D., Lundy, J., Gliessman, S. 1991. "Integrating Social, Environmental, and Economic Issues in Sustainable Agriculture." *American Journal of Alternative Agriculture*. 6, pp. 34-39.
- Allen, A.P., Gillooly, J. F. 2009. Towards an integration of ecological stoichiometry and the metabolic theory of ecology to better understand nutrient cycling. *Ecology Letters* 12, pp. 369-384.
- Altieri, M.A. 1999. *Biología agrícola: Mitos, Riesgos Ambientales y Alternativas*. Universidad de California Berkeley. PED/CLADES/FOOD FIRTS.
- Altieri, M.A. 2000. Developing sustainable agricultural systems for small farmers in Latin America. *Natural Resources Forum* 24, pp. 97-105.
- Andersen, T., 1997. Pelagic nutrient cycles: Herbivores as sources and sinks for nutrients. *Ecological Studies* 129. Springer-Verlag.
- Bertalanffy, L. V. *Teoría general de los sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica. 1987.
- Bormann FH, Likens GE. 1967. Nutrient cycling. *Science*. 155, pp. 424-29
- Brown, M.T., Herendeen, R.A., 1996. Embodied energy analysis and E-Mergy analysis: a comparative view. *Ecological Economics*. 19. pp. 219-235.
- Bullar, C., Herendeen, R., 1975. The energy cost of goods and services. *Energy Policy*. 3, 268-278.
- Chapin, S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 11. pp. 233-260.
- Chapman, P. 1974. Energy costs: a review of methods. *Energy Policy*. 2. 91-103.
- Chapman, P., 1975. Energy analysis of nuclear power stations. *Energy Policy*. 3, 285-298.
- Chrzanowsky, T.H., Kyle, M., 1996. Ratios of carbon, nitrogen and phosphorus in *Pseudomonas fluorescens* as a model for bacterial element ratios and nutrient regeneration. *Aquatic microbial ecology*. 10, 115-122.
- Clements, F. E., and Shelford, V. E. *Bio-ecology*. John Wiley and Sons, Incorporated. New York, USA. 1939.
- Cleveland, C. C. & Liptzin, D. (C:N:P). 2007. Stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?, *Biogeochemistry*, 85, pp. 235-252.
- Conway, R., Barbier, E. *After the green revolution: Sustainable agriculture for development*. London: Earthscan. 1990.
- Crews, T. E., Mohler, C., Power, A. G. 1991. "Energetics and Ecosystem Integrity: The Defining Principles of Sustainable Agriculture". *American Journal of Alternative Agriculture*. 6, pp. 146-149.
- Crutzen, P. J., Stoermer, E. F. *The Anthropocene*. IGBP Newsletter, 41. Royal Swedish Academy of Sciences. Stockholm. Sweden. 2000.
- Downing, J.A., 1997. Marine nitrogen: Phosphorus stoichiometry and the global N:P cycle. *Biogeochemistry*. 37, pp. 237-252.
- Elser JJ, Hamilton A., 2007. Stoichiometry and the new biology: The future is now. *PLoS Biology* 5, pp.1403:1405.
- Elser, J. J., Dobberfuhl, D., MacKay, N. A., Schampel, J. H., 1996. Organism size, life history, and N:P stoichiometry: towards a unified view of cellular and ecosystem processes. *BioScience*. 46, pp. 674-684.
- Elser, J.J. & Hamilton, A. 2007. Stoichiometry and the new biology: the future is now. *PLoS Biology*, 5, e181.
- Elser, J.J., Hasset, R. I., 1994. A stoichiometric analysis of zooplankton-phytoplankton interactions in marine and freshwater

- systems. *Nature*. 370, 211-213.
Federation of Institutes for Advanced Study. Nobel House. Stockholm. Sweden
- Gafsi, M., Legagneux B., Nguyen G., Robin P. 2006. Toward sustainable farming systems: effectiveness and deficiency of the French procedure of sustainable agriculture, *Agricultural systems*. 90, pp. 226-242.
- Gliessman, S. 2006. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. CRC Press, 2nd ed., 384 p.
- Golley, F. B. A history of the ecosystem concept in ecology: More than the sum of the parts. Yale University Press, USA. 1993.
- Grooten, M. 2012. Living report planet. Biodiversity, biocapacity and better choices. WWF.
- Haeckel, E. *Generelle morphologie der organismen*. Berlin, 1866.
- Hairston, N. G., Smith, F.E., Slobodkin, L.W., 1960. Community Structure, Population Control, and Competition. *The American Naturalist*. 879, pp. 421-425.
- Hall, S. R., Shurin, J. B., Diehl, S. and Nisbet, R. M. 2007. Food quality, nutrient limitation of secondary production, and the strength of trophic cascades. *Oikos*. 116, pp. 1128-1143.
- Halpern, B. S.; Borer, E.T., Seabloom, E. W., Shurin, J. 2005. Predator effects on plant and herbivore stability. *Ecology Letters*. 8, pp. 189-194.
- Hau, J. L., Bakshi, B. R., 2004. Promise and problems of emergy analysis. *Ecological Modelling*. 178, pp. 215-225.
- Henry, J, A. *A New English Dictionary on Historical Principles*. Oxford: Clarendon Press, 1888
- Hortolà, P., Eudald, C., 2006. Ciencia paradigmática y paradigma científico: una prospectiva para el nuevo milenio". *Elementos: Ciencia y Cultura*. 063, pp. 9-13.
- Hutchinson G.E., 1959. Homage to Santa rosalia, or why are there so many kinds of animals? *The American Naturalist*. 93, pp. 145-159.
- Hutchinson, G.E., 1970. The biosphere. *Scientific American*. 223, 3.
- IFIAS, 1974. Energy analysis workshop on methodology and conventions. International.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*. 69, pp. 373-386.
- Kuhn, T.S. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de cultura económica. México 1986.
- Lal R. (2008) Soils and sustainable agriculture. A review, *Agronomy for Sustainable Development*. 28: pp. 57-64.
- Lamine C., Bellon S. 2008. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. *Agronomy for Sustainable Development*, DOI: 10.1051/agro:2008007.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souch'ere, V., Alberola, C. M'énassieu, J. 2009. Agronomy for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 29, pp. 1-6.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystem. *BioScience*. 24, pp. 447-456.
- Lindeman, R., 1942. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*. 4. pp. 399-417.
- Lotka, A.J. *Elements of Physical Biology*. William and Wilkins, Baltimore 1925.
- Lotka, A.J., 1922a. Contributions to the energetics of evolution. *Proceedings of the National Academy Sciences of USA*. 8, pp. 147-151.
- Lotka, A.J., 1922b. Natural selection as a physical principle. *Proceedings of the National Academy Sciences of USA*. 8, pp. 151-154.
- Lubchenco, J. 1998. Entering the century of environment: A new social contract for science. *Science*. 279, pp. 491-497
- Machado, G., Schaeffer, R., Worrell, E., 2001. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach. *Ecological Economics*. 39. pp. 409- 424.
- Manzoni S, Jackson RB, Trofymow JA, Porporato A. 2008. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. *Science* 321-684.
- McIntyre, P.M. 2010. Ecological Stoichiometry as an Integrative Framework in Stream Fish Ecology. *American Fisheries Society Symposium*, 73, pp. 539-558
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Moe, S. J., Stelzer, R. S., Forman, M. R., Harpole, W. S., Daufresne, T. and Yoshida, T. 2005. Recent advances in ecological stoichiometry: insights for population and community ecology. *Oikos*. 109, pp. 29-39.
- Morowitz, H.J. *Energy Flow in Biology*. Academic Press, New York, 1968.
- Nye, P. H., 1958. The relative importance of fallows and soils in storing plant nutrients in Ghana. *Journal of the West African Science Association*. 4:31-50
- Nye, P. H., 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil*. 13, pp. 333-345.
- Nye, P. H., 1977. The rate-limiting step in plant nutrient absorption from soil. *Soil Science*. 123, pp. 292-97
- Nye, P. H., Greenland, D. J. *The Soil under Shifting Cultivation*. Technical communication. 50, 1960.
- Nye, P. H., Tinker, P. B. *Solute Movement in the Soil-Root System*. University Press. Berkeley, California, 1977.
- Odum E.P., 1968. Energy Flow in Ecosystems: A Historical Review. *American Zoology*. 8, pp.11-18.
- Odum H T. 1957. Trophic structure and productivity of Silver Springs. *Ecological Monographs*. 27, pp. 55-112.

- Odum, E.P. *Ecología: Bases científicas para un nuevo paradigma*. Ediciones Vedral. Barcelona. 1993.
- Odum, E.P. *Ecología: El puente entre ciencia y sociedad*. McGraw-Hill Interamericana. México. 1998.
- Odum, E.P., Barrett, G. W. *Fundamentals of Ecology*. 5th ed. Thompson/Brooks Cole. USA. 2004.
- Odum, H. T., Odum, B., 2003. Concepts and methods of ecological engineering. *Ecological Engineering*. 20, 339-361.
- Odum, H.T. *Environmental accounting: E-Mergy and decision making*. John
- Odum, H.T., 1988. Self-organization, transformity and information. *Science*. 242, pp. 1132-1139.
- Odum, H.T., Odum, E.P., 1955. Trophic structure and productivity of a windward coral reef at Eniwetok atoll, Marshal Islands. *Ecological Monographs*. 25, pp. 291-320.
- Odum, H.T., Pinkerton, R.C., 1955. Time's speed regulator: the optimum efficiency for maximum power output in physical and biological systems. *American Scientist*. 43, 331-343.
- Persley, G.J., Lantin, M.M. 2000. *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington DC: Consultative Group on International Agricultural Research.
- Phillippot L, ASG E, Battin TJ, Prosser JI, Schimel JP, Whitman WB, Hallin S. 2010. The ecological coherence of high bacterial taxonomic ranks. *Nature Reviews Microbiology*. 8, pp. 523-529.
- Pimentel, D., Harvey, P., Resosudarmo, K., Sinclair, D., Kurz, M., McNair, S., Crist, L., Shpritz, L., Fitton, R., Saffouri, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*. 267, pp. 1117-1123.
- Pimentel, D., Pimentel, M., 1979. *Food, Energy and Society*. Halstead, Wiley, New York. USA.
- Popper, K.R., 2002. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge* (<http://www.amazon.com/dp/0415285941>), p. 417.
- Postel, S.L., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. 1996. Human appropriation of renewable fresh water. *Science*. 271, pp. 785-788.
- Redclift, M. 1993. Sustainable development: Concepts, contradictions and conflicts. In *Food for the future: Conditions and contradictions of sustainability*. P. Allen (Ed). New York: John Wiley and Sons.
- Redfield A C. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In: Daniel, R. J. James Johnstone Memorial Volume. Liverpool: Liverpool University Press. 176-192. 1934
- Redfield, A. C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientific*. 46, pp. 205-221.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F. A. The influence of organisms on the composition of seawater. In: Hill, M. N., *The Sea*. New York: Wiley. 1963
- Reiners, W. A., 1986. Complementary models for ecosystem. *The American Naturalist*. 127, 59-73.
- Richter, J. B. *Anfangsgründen der Stöchiometrie oder Messkunst chemischer Elemente (Foundations of stoichiometry or surveying chemical elements)*. Breslau, 1792.
- Rodin, L.E., Bazilevich, N. I. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. Oliver y Boyd, eds. London, 1967.
- Rojstaczer, S., Sterling, S.M., Moore, N.J. 2001. Human appropriation of photosynthesis products. *Science*. 294, pp. 2549-2552.
- Sardans, J., Rivas-Ubach, A., Peñuelas, J. 2011. The elemental stoichiometry of aquatic and terrestrial ecosystems and its relationships with organismic lifestyle and ecosystem structure and function: a review and perspectives. *Biogeochemistry*.
- Sheraz, S., Hassan, G. I., Samoon, S. A. Rather, H. A., Showkat, A. Zehra, B. 2010. Bio-fertilizers in Organic Agriculture. *Journal of Phyto*, 2(10), pp. 42-54.
- Simpson, R., Christensen, N. *Ecosystem function and Human activities. Reconciling economics and ecology*. Chapman and Hall. New York, USA, 1996.
- Singh, A., Khare, A., Singh, A. P. 2012. Use of Vegetable Oils as Biopesticide in Grain Protection-A Review. *Journal of Biofertilizers and Biopesticides* 3:114. doi:10.4172/2155- 6202.1000114.
- Smith, V.H. 1993b. Implications of resource-ratio theory for microbial ecology. *Advances Microbial Ecology*. 13, pp. 1-37.
- Smith, V.H., 1993a. Resource competition between host and pathogen. *BioScience* 43, pp. 21-31.
- Soto-Zarazúa, G. M., Romero-Archuela, B.A., Mercado-Luna, A., Toledo-Ayala, M., Rico-García, E., Peniche-Vera R.R., Herrera-Ruiz, G. (2010). Trends in automated systems development for greenhouse horticulture. *International Journal Agricultural Research*, 6, pp. 1-9.
- Sterner, J. J., Elser, E. J., Fee, S. J., Guilford, Chrzanowsky, T.H., 1997. The light: nutrient ratio in lakes: The balance of energy and materials affect ecosystems structure and process. *American Naturalist*. 150, pp. 663-684.
- Sterner, R.W., 1990. The ratio of nitrogen to phosphorus resupplied by herbivores: zooplankton and the algal competitive arena. *American naturalist*. 136, 209-229
- Sterner, R.W., Elser, J.J. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*, Princeton Press. 2002.
- Sterner, R.W., Hessen, D. O., 1994. Algal nutrient limitation and the nutrition of aquatic herbivores. *Annual Reviews in Ecology*. 25, pp. 1-29.
- Tansley, A.G. 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*. 3, pp. 284-307.
- Taylor PG, Townsend AR. 2010. Stoichiometric control of organic carbon-nitrate relationships from soils to the sea. *Nature*, 464, pp. 1178-1181.

- Tezuka, Y., 1989. The C:N:P ratio of phytoplankton determines the relative amounts of dissolved inorganic nitrogen released during aerobic decomposition. *Hydrobiologia*. 173, pp. 55-62.
- Tutin, T. G. 1941. The hydrosphere and current concepts of the climate. *Journal of ecology*. 29, 268-279.
- Vitousek, P. M., 1982. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. *American Naturalist*. 119, pp. 553-572.
- Vitousek, P., Ehrlich, P., Ehrlich, A., Matson, P. 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience*. 36, pp. 368-373.
- Vitousek, P.M., Howarth, R.W. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? *Biogeochemistry*. 13, pp. 87-115.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A, Lubchenco, J. & Melillo, J.M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*. 277, pp. 494-499.
- Vitousek, P.M., Reiners, W., 1975. Ecosystems succession and nutrient retention: a hypothesis. *BioScience*. 25, pp. 376-381.