

Potencial de la gramática del MuSIASEM en la representación del análisis de la sostenibilidad

CEPROEC Documento de Trabajo 2015_01

Juan Cadillo Benalcazar^{a,d} (*), Roberto Aguirre Fernández de Lara^b, Evelyn Fraga Ramos^c, Gabriel Rosero Asqui^c, Freddy Llive Córdora^a, Pablo Meneses Játiva^c, Francisco Arroba Benítez^c, Belén Liger Cisneros^c, Santiago Jaramillo Proaño^c, Santiago Verdesoto Escobar^c, Moisés Gualapuro Gualapuro^c, Bolívar Quispe^c, Rony Parra^a, Patricio Jarrín^c, Mireya Barrera^c, Verónica Santillán^c, Alevgul Sorman^d, Jaime Cevallos Sierra^a, François Diaz-Maurin^d, Karla Cabrera Jiménez^c, Bernardo Bustamante^a, Sofia Carpio León^c, Carlos Zuleta Salmon^c, Cristina Madrid-López^{d, e}, Maja Celinscak^c, Jesús Ramos-Martín^a - Jan 12, 2015

^a Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC), Instituto de Altos Estudios Nacionales – Ecuador.

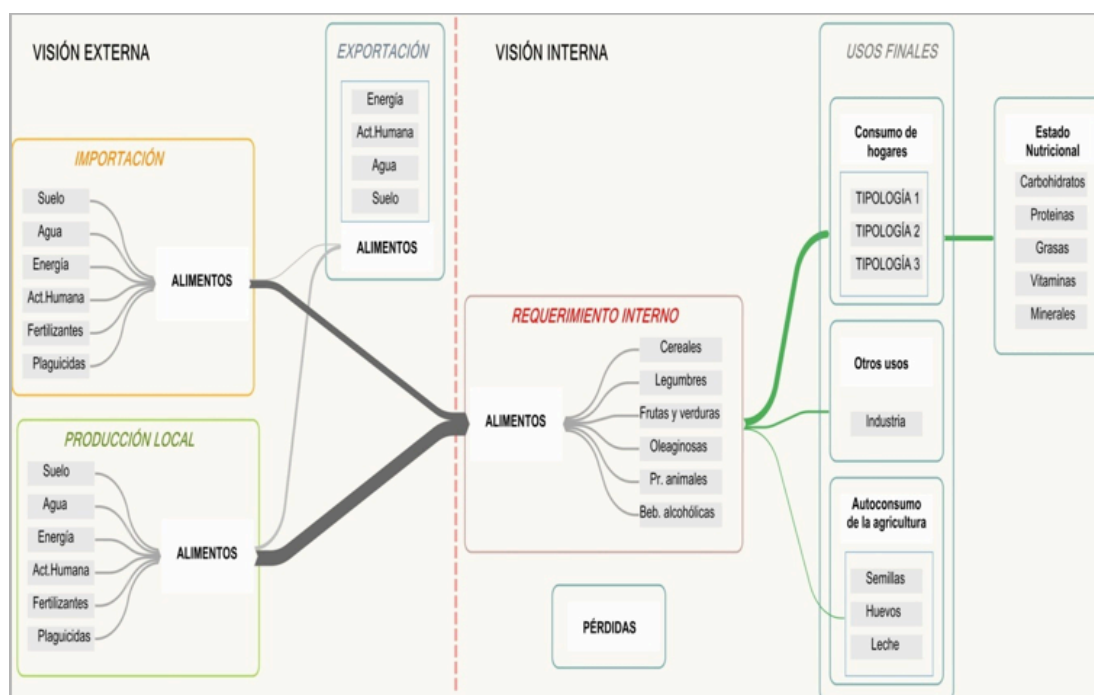
^b Centro de Investigación Básica en Psicología. Universidad de la República – Uruguay.

^c Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Ecuador.

^d Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (ICTA), Universidad Autónoma de Barcelona – España.

^e Center for Industrial Ecology, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University – Estados Unidos.

(*) E-mail: juan.cadillo@iaen.edu.ec



INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES
LA UNIVERSIDAD DE POSGRADO DEL ESTADO

Centro de Prospectiva Estratégica
(CEPROEC)
Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN)
Av. Río Amazonas N37-271 y Villalengua
Quito, Ecuador



CEPROEC
CENTRO
DE PROSPECTIVA
ESTRATÉGICA

Juan Cadillo Benalcazar, Roberto Aguirre Fernández de Lara, Evelyn Fraga Ramos, Gabriel Rosero Asqui, Freddy LLive Cóndor, Pablo Meneses Játiva, Francisco Arroba Benítez, Belén Liger Cisneros, Santiago Jaramillo Proaño, Santiago Verdesoto Escobar, Moisés Gualapuro Gualapuro, Bolivar Quispe, Rony Parra, Patricio Jarrín, Mireya Barrera, Verónica Santillán, Alevgül H. Sorman, Jaime Cevallos Sierra, François Diaz-Maurin, Karla Cabrera Jiménez, Bernardo Bustamante, Sofia Carpio León, Carlos Zuleta Salmon, Cristina Madrid-López, Maja Celinscak, Jesús Ramos-Martín, 2014

Potencial de la gramática del MuSIASEM en la representación del análisis de la sostenibilidad

Documento de Trabajo 2015_01

http://ceproec.iaen.edu.ec/wps/2015_01.pdf

Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC)

Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN)

Av. Río Amazonas N37-271 y Villalengua

Quito, Ecuador

<http://ceproec.iaen.edu.ec>

Imagen de Portada: Gramática de los Alimentos

Juan Cadillo Benalcazar

Potencial de la gramática del MuSIASEM en la representación del análisis de la sostenibilidad

Juan Cadillo Benalcazar^{a,d} (*), Roberto Aguirre Fernández de Lara^b, Evelyn Fraga Ramos^c, Gabriel Rosero Asqui^c, Freddy Llive Cóndor^a, Pablo Meneses Játiva^c, Francisco Arroba Benítez^c, Belén Liger Cisneros^c, Santiago Jaramillo Proaño^c, Santiago Verdesoto Escobar^c, Moisés Gualapuro Gualapuro^c, Bolívar Quispe^c, Rony Parra^a, Patricio Jarrín^c, Mireya Barrera^c, Verónica Santillán^c, Alevgul Sorman^d, Jaime Cevallos Sierra^a, François Diaz-Maurin^d, Karla Cabrera Jiménez^c, Bernardo Bustamante^a, Sofia Carpio León^c, Carlos Zuleta Salmon^c, Cristina Madrid-López^{d, e}, Maja Celinscak^c, Jesús Ramos-Martín^a - Jan 12, 2015

^a Centro de Prospectiva Estratégica (CEPROEC), Instituto de Altos Estudios Nacionales – Ecuador.

^b Centro de Investigación Básica en Psicología. Universidad de la República – Uruguay.

^c Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo – Ecuador.

^d Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental (ICTA), Universidad Autónoma de Barcelona – España.

^e Center for Industrial Ecology, School of Forestry and Environmental Studies, Yale University – Estados Unidos.

(*) E-mail: juan.cadillo@iaen.edu.ec

Resumen

Una alta capacidad para representar el análisis de la sostenibilidad es la exigencia central de cualquier metodología que pretenda encontrar en dicho análisis una herramienta para el desarrollo social y un diagnóstico de relación de las sociedades humanas con el entorno. Los requerimientos de dicha capacidad representadora se cifran en un lenguaje lo suficientemente recursivo y sintético en sus rasgos y principios como para ser flexible y en ello ofrecer pertinencia y operacionalidad para diversidad de escenarios y situaciones que, en todo caso, se caracterizan por la complejidad del tejido entre sus múltiples niveles y dimensiones. A través de una gramática el MUSIASEM ha cifrado en ello su potencial analítico y predictivo. El presente artículo argumenta las ventajas y alcances de las gramáticas como alternativa a los modelos en la representación del análisis de la sostenibilidad, explica cómo está fundamentado y construido el caso de la gramática del MUSIASEM y expone aplicaciones ya elaboradas a los temas de alimentos, suelos, energía, construcción y energía.

Palabras Clave

Gramática, representación, MuSIASEM, sostenibilidad.

Códigos JEL

C00, Q01, Q57

1. Introducción

Las actividades humanas actuales están produciendo impactos ambientales tan importantes que los problemas regionales, potencialmente controlables, se están convirtiendo en desastres globales incontrolables (Dittmar, 2014). Esto sugiere que los procesos de transformación de los recursos naturales, por parte de las sociedades humanas, tienen consecuencias que ocurren en distintas escalas y niveles.

Por ejemplo, las emisiones de dióxido de carbono de las ciudades (escala local) contribuyen al efecto invernadero que es el responsable del cambio climático (escala global). Por lo tanto, se hace indispensable analizar el desarrollo sostenible utilizando representaciones que consideren las relaciones que ocurren en distintas escalas y niveles entre las sociedades humanas y su entorno. Ello supone un cambio de concepción del análisis de la sostenibilidad, superando a la heredada de la ciencia clásica decimonónica, hacia una visión holística.

Desde esta perspectiva holística, las sociedades humanas y su entorno deben ser considerados como sistemas que interactúan entre ellos, mediante relaciones e intercambios de masa y energía. Las sociedades humanas se articulan a través de un conjunto de relaciones sociales en las que, también, se manifiesta el aspecto económico. Por este motivo, y para el interés de esta discusión, conviene denominar a las sociedades humanas como un sistema socio-económico. Mientras, el entorno, que es la fuente de recursos y el sumidero de residuos, se denominará sistema ecológico.

Como es propio del pensamiento sistémico, ambos sistemas no pueden ser entendidos exclusivamente a partir de los componentes que los conforman, debido a que en dichos sistemas surgen propiedades emergentes que difieren de las propiedades individuales de sus componentes. En consecuencia, las relaciones, los intercambios y las propiedades emergentes del sistema socio-económico y del sistema ecológico hacen que estos sean considerados como sistemas complejos.

Los elementos del pensamiento complejo han sido desarrollado en las últimas décadas desde distintas disciplinas (Cibernética -Von Foerster [1979]; Sociología - Luhmann [1990], Morin [2007]; Biología -Rosen, [1977a], Maturana & Varela [1987; 1991]), sin embargo, a pesar de sus diferencias en sus enfoques, han coincidido en que el paradigma de la complejidad ha hecho evidente que el conocimiento científico es una representación flexible y limitada a un punto de vista.

Según Rosen (1977b), un sistema complejo es aquel que nos permite discernir algunos subsistemas, entendiéndose como subsistema a la descripción del sistema en base a una elección de determinadas propiedades o cualidades, que dependerá totalmente de la forma como deseamos interactuar con el sistema.

Es posible entender la definición de Rosen desde el sentido epistemológico de la complejidad, es decir, como una relación de comprensión con algo que desborda nuestro entendimiento, pero que, sin embargo, se puede tener una comprensión parcial y transitoria (Moreno, 2002) de ello. En tal sentido, Rosen sugiere que los sistemas complejos no pueden ser completamente entendidos. Por eso, solo podemos percibir parte de ellos, partiendo de unos atributos o características que sean de nuestro interés.

Los párrafos anteriores permiten preguntarnos por el tipo de representación posible y deseable en el análisis de la sostenibilidad desde la perspectiva de la complejidad. Si seguimos el planteamiento de Rosen, la representación de los sistemas y su interacción, subyacente en el análisis de la sostenibilidad, será siempre parcial, pero a su vez tendremos presente ese limitante para realizar nuevos análisis y generar nuevos puntos de vista. Respecto a lo deseable, podemos decir que alcanzar los objetivos propuestos y evaluar los resultados puede ser suficiente para someter a prueba las bondades explicativas y diagnósticas de la representación subyacente.

En términos de esta reflexión, la representación de los sistemas y su interacción constituyen una base conceptual desde la cual se desarrollan enfoques metodológicos orientados al análisis de la sostenibilidad. Sin embargo, éstos carecen de un marco conceptual que les permita elaborar representaciones que consideren los procesos de transformación de energía y de materiales y mantengan, al mismo tiempo, la noción de escala y nivel en las cuales actúan y funcionan. Entendiéndose, el término escala como las dimensiones analíticas, temporales, espaciales o cuantitativas que son utilizadas para estudiar objetos y/o procesos. Mientras, el término nivel debe considerarse como las posiciones que se puedan dar dentro de una escala (Gibson et al., 2000).

Esta carencia de marco conceptual para elaborar representaciones supone, a nuestro juicio, una examinación poco desarrollada de la noción de representación por parte de dichos enfoques metodológicos. Esta situación, al parecer, no les ha permitido hacer operativa esta toma de conciencia del fenómeno de la representación. Consideramos que el desarrollo e incorporación de nociones operativas de la representación a dichos enfoques pasa por el desarrollo de gramáticas. Es decir, por un cuerpo coherente y limitado de principios y reglas generales que enlacen categorías formales y categorías semánticas. El primer tipo de categorías remite a la forma de los signos usados. El segundo tipo, a los significados que a través de ellos se pretenden expresar. Los elementos de estas categorías se relacionan en distintas escalas, sin perjuicio de la representación en cada una de ellas.

Lo anterior es el caso de la noción de Gramática introducida por Giampietro (2004). La gramática que propone dicho autor forma parte del marco teórico del Multi Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIAEM) (Giampietro and Mayumi, 2000a, 2000b; Giampietro, 2004; Giampietro et al., 2012). MuSIAEM es un enfoque de análisis que integra los conceptos teóricos de distintas disciplinas científicas, tales como la termodinámica del no-equilibrio aplicada al análisis ecológico (Odum, 1996, 1983, 1971; Ulanowicz, 1995, 1986), la teoría de los sistemas complejos (Kaufmann, 1993; Morowitz, 1979; Rosen, 2000; Zipf, 1941) y la

bioeconomía, según los criterios de (Georgescu-Roegen, 1971). Precisamente, este enfoque ha sido desarrollado para hacer frente al desafío epistemológico de cómo percibir y representar procesos que ocurren a través de diferentes escalas para analizar la viabilidad, factibilidad y deseabilidad de los patrones metabólicos de las sociedades humanas (para mayor detalle véase Giampietro et al., 2012).

El objetivo de este artículo es el de proponer la noción de gramática como instrumento de construcción de representaciones adecuadas para el análisis de la sostenibilidad. Para ello, el artículo se desarrollará de la siguiente manera: en la sección 2 se discute la representación a través de gramáticas. En la sección 3 se discute la pertinencia de la gramática en comparación de los modelos para elaborar representaciones en el análisis de sistemas complejos. En la sección 4 se presenta la gramática del MuSIASEM. En la sección 5 se muestra la aplicación de la gramática del MuSIASEM y, finalmente, se presentan las conclusiones.

2. La representación a través de gramáticas

Hemos dicho anteriormente que el paradigma de la complejidad ha permitido al conocimiento científico contemporáneo darse cuenta de que, a través de las teorías, modelos, hipótesis y postulados que genera, está produciendo una representación del mundo. Esto, que pareciera una obviedad, tiene implicaciones diversas sobre los alcances del conocimiento generado. A saber, la conciencia de su incompletitud y dependencia de un punto de vista.

No es nuevo decir que en el promedio del quehacer científico se ha confiado en las matemáticas y la lógica simbólica como fuentes de códigos de representación científicamente deseables por rasgos tales como su significado unívoco, no ambigüedad o su no autorreferencia. Esta perspectiva, sin duda, ha sido la compañera de un modelo de ciencia que cuestiona el pensamiento complejo. Dicho cuestionamiento no radica en el uso del lenguaje matemático para la formulación de axiomas o el uso de algoritmos para modelar las observaciones y registros experimentales, sino en acudir a las matemáticas y la lógica como paradigmas de la representación de la que somos capaces los entes productores de conocimiento científico. Es decir, los humanos.

De algún modo, esta situación parece haber jugado en perjuicio del lenguaje como una base o paradigma, no como un código específico, para pensar la representación científica. Es decir, como el referente básico de cómo la representación se hace operativa a través de un código. El hecho histórico es que las capacidades computacionales y referenciales del lenguaje no son descritas por los estudiosos del lenguaje a través de modelos, sino de gramáticas. En este sentido, la gramática parece un referente ad hoc para una perspectiva según la cual el conocer es también un sistema complejo, ante el cual no estamos exentos de los señalamientos ya hechos por Rosen (1977a) y el pensamiento complejo en general.

Por su parte, el positivismo lógico ya había advertido que el lenguaje con el que se representa el conocimiento es crucial para dar garantías de certeza y verificabilidad de aquél.

Entonces, es necesario advertir que las formas usadas para representar los fenómenos observados son por sí mismas instrumentos a evaluar. Su capacidad para resguardar y transmitir el saber adquirido y observar con mayor o menor amplitud los acontecimientos de nuestro interés es objeto de la epistemología contemporánea (p. e., Círculo de Viena, Russell). En este sentido, tenemos un problema de representación, puesto que se está tratando de las relaciones entre las formas usadas para representar y el saber representado.

El término gramática puede hacer referencia al conocimiento intuitivo y funcional de que los hablantes disponen cuando comunican eficazmente, lo cual le da un carácter de competencia, o también puede referirse a la denominación de las explicaciones y descripciones que de tal funcionamiento pueden llevar a cabo los lingüistas, dándole así un carácter de descripción o explicación a esta competencia (Ortega, 1988). En este último caso, la gramática puede ser entendida como el conjunto de reglas y principios que gobiernan el uso del lenguaje y su organización en constituyentes de distintos dominios.

Es en este último sentido que interesa la proyección de la gramática a la necesidad o la persecución de una adecuada representación en el análisis de la sostenibilidad. En sintonía con una perspectiva que concede un papel central a la sintaxis, es decir, al perfil computacional de establecer un orden de los ítems lingüísticos asociado a un valor funcional que se les atribuye para realizar aseveraciones, Giampietro, Mayumi y Sorman (2012: 140) subrayan a la gramática como un conjunto de reglas dedicadas a definir las bases y la organización del habla a fin de lograr un vínculo eficaz de las aseveraciones semánticas a las sintácticas, tanto a nivel oracional como textual.

Desde la perspectiva generativista (Chomsky, 1998), a la que suele adscribirse el común de los aprovechamientos de la teoría lingüística hechos desde el mundo de las Ciencias Exactas y de la Computación, se entiende que esos principios y reglas son limitados y tienen una alta productividad al permitir la generación de una cantidad ilimitada de formaciones simbólicas gramaticales. Es decir, correctas según esas propias reglas.

Otros rasgos del lenguaje, manifiestos en la gramática y que, por lo tanto, se llegan a considerar rasgos de la misma en los enfoques generativistas, y en buena parte en la generalidad de la teoría lingüística, están la denominada doble articulación. Es decir, un conjunto de componentes gramaticales dedicados a la computación lingüística, que dan lugar a categorías formales y un conjunto de componentes semánticos, que dan lugar a categorías semánticas.

El otro rasgo en cuestión remite al carácter escalar de las categorías formales que se van desarrollando como componentes más elaborados, con cambios en su valor funcional al pasar de un dominio descriptivo del lenguaje a otro (por ejemplo, de fonemas a sílabas, de sílabas a palabras, de palabras a oraciones, etc.).

Esta arquitectura computacional permite a la gramática dar cuenta del lenguaje natural como un sistema de representación en el que los ítems del código son caracterizados funcionalmente de un modo en un dominio descriptivo (fonético, morfológico, sintáctico,

semántico), etc. y son recategorizados funcionalmente de otra manera en otro dominio descriptivo.

En este sentido, es fácil de entender que el lenguaje es un sistema de representación complejo con interfaces múltiples entre dominios descriptivos. Cada uno de estos dominios descriptivos le permite interfaces con distintos entornos (fisiológico, psicológico, cultural, social, etc.) que determinan la capacidad representadora del lenguaje.

Independientemente de las polémicas sobre si los dominios del lenguaje son módulos independientes (Gramática generativa) o hay un continuo entre dominios (Gramática cognitiva), la gramática da cuenta de un sistema de representación complejo y flexible, siendo este último uno de sus rasgos que explican su potencial representador. Este rasgo significa que hay una red de relaciones esperadas entre las categorías formales y las semánticas expresadas en lo que el sistema de reglas permite y en la alta productividad de las mismas. Kaufmann (1993) parece transportar este rasgo a su denominada gramática multipropósito.

Sin embargo, en la misma lógica del estudio gramatical del lenguaje, la competencia gramatical toma instancia en una competencia narrativa y discursiva de un hablante, que por lo mismo se constituye como un operador. Es decir, en una expresión específica que para determinados propósitos comunicativos de ese operador puede elegir las categorías formales en razón de las categorías semánticas que le permiten dar cumplimiento a dichos propósitos y elegir determinados datos del entorno.

En este sentido, este apartado subraya que cualquier descripción de las relaciones de representación entre un conjunto de categorías formales y semánticas de un código puede ser considerada como una gramática instanciada por un operador.

Puesto que representar es una condición general del conocimiento y de la actividad humana, se puede hablar de gramática para cualquier ámbito de experiencia mientras sea posible elaborar categorías formales (p. e., cantidad de litros de agua, toneladas de CO₂, etc.) susceptibles de ser asociadas a categorías semánticas (p. e., consumo de agua, contaminación atmosférica), a expectativas de esa asociación, a un grado de productividad de esa relación y a un operador que le da actualidad a dichas asociaciones.

3. ¿Por qué una gramática no es un modelo?

La exposición anterior ha mostrado algunas características básicas de las gramáticas y del tipo de fenómenos sobre los cuales podemos establecer gramáticas. Si nos atenemos al lenguaje, podemos considerar que los eventos en los que se ven implicados distintos ámbitos de experiencia y capacidades fuertemente imbricadas parecen ser explicados mediante gramáticas.

Una inspección más detallada del lenguaje como fenómeno explicado mediante gramáticas nos sugiere que los códigos o sistemas de representación son candidatos a sistemas complejos. La hipótesis fundamental es que las gramáticas, y no los modelos, nos permiten el acercamiento parcial del que habla Rosen (1977a) a los sistemas complejos, sin perder la perspectiva de su inconmesurabilidad (Martinez-Alier, Munda, y O'Neill, 1998).

Un primer argumento es que el lenguaje reúne diversas características de un sistema complejo, puesto que no es entendible a partir de los elementos discretos que lo conforman (p. e., vocales vs consonantes) y la suma de componentes suyos del mismo dominio descriptivo permite el paso a dominios adicionales (p. e., un conjunto de palabras, siguiendo ciertas reglas forman oraciones), sea que se focalice el significante (categorías formales) o el significado (categorías semánticas).

Si aplicamos la explicación de Rosen, podemos caracterizar a los dominios del lenguaje como subsistemas, es decir, como realidades describibles en base a la elección de determinadas propiedades o cualidades de los componentes de las categorías formales y las semánticas. Estas elecciones son parciales, porque remiten a atributos de nuestro interés y a datos elegidos. Sin embargo, la gramática por sí misma incluye las interacciones entre todas esas categorías formales y semánticas, sea que resulten elegidas o no, y, por lo tanto, recogidas o no en una observación.

Así, si bien un hablante, como operador, establece en el uso de determinadas estructuras lingüísticas una instancia específica de la gramática, ésta por sí misma no deja de ofrecer al operador recursos para cualquier explicación en la que dicho uso pueda ser evaluado de acuerdo a los propósitos de su uso. Giampietro, Mayumi y Sorman (2012: 141) rescatan ese rasgo de la gramática para distinguir una gramática de un modelo y señalar que las realizaciones (output) de una gramática permanecen semánticamente abiertas.

Un segundo argumento para la elección de una gramática es que ésta establece una relación simbólica entre un índice -más o menos arbitrario o motivado según el código- y un referente. Los índices se pueden agrupar en categorías formales capaces de ser relacionados en distintos escenarios con categorías semánticas. En este sentido, la gramática no establece relaciones de causa y efecto entre diversos dominios de la representación, sino relaciones que permiten la emergencia de nuevas propiedades por la interacción entre ellos.

A diferencia de las gramáticas, los modelos no permiten esa denominada diversidad de instanciaciones de la representación, puesto que los modelos son en sí mismos realizaciones de expectativas semánticas específicas válidas asociados a realizaciones sintácticas consideradas pertinentes. Aplicado al lenguaje natural, resulta el equivalente a tipos de oraciones (afirmativas, declarativas, interrogativas) o tipos de registros, tales como informes científicos, recetas de cocina o distintos géneros literarios.

Según Rosen, (2000), la complejidad no puede ser modelada porque un modelo establece una congruencia entre una secuencia de eventos que percibimos del mundo externo (orden causal) y un conjunto de proposiciones lógicas o matemáticas que describen dichos eventos (orden inferencial). Sin embargo, las relaciones de congruencia no son relaciones de representación, sino de identidad formal o funcional.

Si bien, por sí mismos, los aspectos semánticos y discursivos del lenguaje se pueden explicar mediante reglas inferenciales y se pueden realizar modelos computacionales y

matemáticos de los aspectos computacionales del lenguaje, desarrollando, por ejemplo, normas de asociación libre, ello no explica las relaciones de representación propias de una gramática.

En cambio, las relaciones de representación explican la capacidad de algo para estar en lugar de algo en algún sentido y respecto a un valor. Es decir, son relaciones de sustitución que pueden ser arbitrarias. Su congruencia es producto de una convención.

En el caso de una gramática, no podemos hablar de un orden causal formado por elementos del mundo externo que -si bien son discernibles de manera discreta- no interesan de esa manera para explicar la representación, puesto que el interés por ésta es, por definición, el de cómo algo se vincula con otra cosa.

Finalmente, puesto que por definición el desarrollo sostenible y su análisis remiten a explicar la manera en que concurren distintos dominios de experiencia con sus propios componentes y las propiedades que emergen en las interacciones entre dichos dominios en la interacción con entornos distintos, es necesaria una explicación isomórfica con esa concurrencia y emergencias. Una gramática ofrece esta posibilidad, puesto que no establece una relación lineal entre las formas de representar y lo representado, sino una que, por ser arbitraria, permite configuraciones e instanciaciones diversas.

4. La gramática del MuSIASEM

Giampietro et al. (2012) definen el concepto de gramática del MuSIASEM como un conjunto de relaciones que se establecen entre categorías semánticas y categorías formales, previamente definidas, con la finalidad de obtener una representación capaz de ser operacionalizada. En esta definición, las categorías semánticas, estrictamente, corresponden a la designación que hacemos, mediante el lenguaje, del mundo que nos rodea y que permite, a su vez, tratar como equivalentes objetos que en sí son diferentes. Asimismo, la organización coherente de estas categorías semánticas facilita diversas operaciones cognitivas, como por ejemplo, la de atribuir características o propiedades a objetos que no conocemos, establecer relaciones entre objetos, hacer inferencias, etc.

De esta manera, la organización funcional de estas categorías semánticas proporciona una estructura que sirve de base para el análisis cuantitativo. Para ello se establecen las categorías formales que pertenecen a un lenguaje formal, el cual está constituido por reglas claras, precisas y rigurosas. Un ejemplo claro de lenguaje formal es el lenguaje matemático. A diferencia de un lenguaje natural, los lenguajes formales son más limitados pero es una manera de evitar las paradojas, que son puntos muertos en la explicación, y las ambigüedades, que oscurecen los hechos a considerarse para apreciar la validez de un razonamiento (Andrade et al., 2008). Así pues, la gramática del MuSIASEM mediante las relaciones entre categorías semánticas y formales proporciona una estructura operacional a la fase pre-analítica de la percepción semántica.

La gramática del MuSIASEM parte de la noción de narrativa, es decir que refleja un significado a partir de la experiencia y no pretende, en ningún momento, ser una consideración objetiva de la realidad. De este modo, la gramática funciona como un medio de construcción que permite transmitir una experiencia entre un narrador y un oyente. Ello implica que el narrador realice, previamente, una elección acerca de lo que es relevante de la realidad (apreciación subjetiva), imponiendo así una identidad al sistema en observación e infiriendo una relación causal entre eventos (Giampietro et al., 2012). En consecuencia, se puede decir que la gramática rompe la concepción de entender totalmente la realidad, tal como lo intentan los modelos, y en su lugar proporciona una interpretación de la realidad.

Tal como se comentó anteriormente, el diseño de una narrativa requiere la elección de un conjunto de atributos que defina lo que el sistema es y lo que el sistema hace, el cual servirá de base para elaborar cualquier análisis cuantitativo. Este proceso de elección tiene relevancia en cuanto se vuelve un proceso iterativo, es decir, que a lo largo del diseño y desarrollo de la gramática se va confirmando la pertinencia de la representación según los objetivos propuestos.

Para este proceso, la gramática del MuSIASEM adopta el modelo de Flujo y Fondo propuesto por Georgescu-Roegen (1971). Este modelo permite representar los procesos socio-económicos de producción y consumo de bienes y servicios en términos biofísicos. Para ello distingue dos tipos de categorías: la categoría de fondos, que denota lo que el sistema es, hace referencia a los agentes que durante el periodo a representar no sufren modificación alguna y mantienen su propiedad de agentes transformadores. Por ejemplo, las personas, la tierra ricardina, el capital, etc. Y la categoría de flujos, que denota lo que el sistema hace, hace referencia a los elementos que sufren una modificación durante el periodo a representar. Por ejemplo, el agua, la energía, los alimentos, etc.

Asimismo, esta elección de atributos puede ocasionar que un mismo sistema tenga más de una identidad, lo cual dependerá de la escala a la que se observe. Esto supone, de por sí, que cada identidad será definida por un dominio descriptivo, que a su vez tendrá asociado un límite, relacionado a la extensión en espacio y tiempo, y en una resolución, relacionada al grain en espacio y tiempo (Ahl & Allen, 1996). Por lo tanto, la existencia de múltiples escalas en un sistema involucra la coexistencia de distintos dominios. Ante esto la gramática del MuSIASEM tiene la propiedad, inherente de las narrativas, de proporcionar una disposición en serie de eventos que tienen escalas y niveles muy diferentes (Allen et al., 1999: 232).

Como ejemplo para distinguir la diferencia entre escala y nivel, se puede considerar un país como una escala espacial y sus correspondientes niveles podrían ser las provincias, los distritos, las ciudades, etc. Mediante esta propiedad, la gramática del MuSIASEM permite caracterizar al sistema socio-económico como un tipo de jerarquía anidada constitutiva, es decir, que el nivel más bajo puede combinarse en nuevas unidades que poseen nuevas organizaciones, funciones y propiedades (Mayr, 1982).

La caracterización de los sistemas socio-económicos como un sistema jerárquico infiere al análisis de la sostenibilidad la capacidad de considerar al sistema como un conjunto sucesivo

de subsistemas, los cuales tienen una doble naturaleza: la de ser un todo y, al mismo tiempo, una parte del sistema. Esto quiere decir que son un todo porque poseen su propia organización generando sus propias propiedades emergentes y, también, son una parte porque contribuyen a la organización de un sistema más grande, siendo así participe de las propiedades emergentes de este sistema más grande. Koestler (1968) denomina a cada una de estas unidades que tienen esta doble naturaleza como holón.

La gramática del MuSIASEM permite manejar una representación de relaciones funcionales entre holones para señalar una organización estructural asociada con su función. De este modo, una gramática establece un conjunto de puentes semánticos entre diferentes requerimientos de organización estructural y funcional a través de niveles (Giampietro et al., 2012).

Implícitamente, también se puede sugerir que una mayor elaboración de la jerarquía denota una mayor organización. Sin embargo, en este caso, el grado de organización no se expresa en mediciones de la complejidad, sino más bien en mediciones de lo que tenemos que reconocer a fin de conseguir un poco de explicación coherente de la complejidad (Allen & Giampietro, 2006). Esta noción de organización presupone una frontera entre el sistema y su entorno, pero esta diferenciación no involucra, de ningún modo, una independencia del sistema con respecto a su entorno.

En esta línea, se puede hacer caso del concepto de clausura de operación, introducido por Luhman (1996, 1997). Esta noción sugiere que la diferencia se puede señalar en base a los propios límites que establece el sistema a través de sus operaciones exclusivas, ya que el sistema depende exclusivamente de su propia organización para llevar a cabo sus operaciones.

Este concepto conlleva, también, a los mecanismos de autoorganización y de autopoiesis (Maturana y Varela, 1991). La autoorganización es el mecanismo por el cual los sistemas construyen y transforman sus propias estructuras mediante operaciones que se dan dentro de sí mismo (Luhman, 1997). Mientras, la autopoiesis, que literalmente significa autoproducción, describe la complementariedad entre los tipos de funcionalidad y los tipos de estructura que se encuentran en los sistemas para que un sistema pueda producirse asimismo (Maturana y Varela, 1991; Giampietro et al., 2012).

Sin embargo, es preciso señalar que la estructura no es el factor productor de la autopoiesis sino que, únicamente, limita las relaciones posibles dentro del sistema (Luhman, 1997). La autoorganización implica que los sistemas vivos se mantienen alejados del equilibrio termodinámico mediante el intercambio de energía y materiales con su entorno. En términos de entropía, los sistemas vivos mantienen sus estructuras altamente ordenadas, es decir, de baja entropía, mediante la exportación de entropía negativa (negentropía) del entorno, convirtiéndolo a este en un sistema desordenado, es decir, de alta entropía (Schrödinger, 1944).

La interacción entre el sistema y su entorno hace que los sistemas vivos sean sistemas abiertos, porque necesitan un aporte continuo de materiales y energía para compensar la disipación de estos que ocurren en los procesos de autoorganización. Por este motivo, Prigogine

(1961, 1978) denominó a este tipo de sistemas como sistemas disipativos. El punto relevante de estos sistemas disipativos es que las interacciones no lineales, que se dan entre las diferentes escalas y niveles, pueden promover el surgimiento de la capacidad del sistema para regenerarse a grados más altos de autoorganización, como una respuesta a las “demandas” del entorno (Gómez Marín, 2002).

Del modo anterior, el entorno se convierte en un factor constituyente de la construcción del sistema (Osorio, 2012). En consecuencia, las interacciones no lineales sugieren la imprevisibilidad de la evolución de los sistemas y la fuerte conexión existente entre la organización del sistema y su entorno.

En analogía con los sistemas vivos, el sistema socio-económico también requiere de un flujo de materiales y energía para su existencia, por lo tanto se puede considerar como una entidad viva. Además, este aporte continuo de materiales y energía hacia los sistemas implica que las funciones que cumplen las estructuras del sistema actúen como un metabolismo que le permita al sistema mantener este alto grado de ordenamiento.

Por el anterior motivo, la gramática del MuSIASEM utiliza el enfoque del metabolismo de la sociedad (Georgescu-Roegen, 1975; Martínez-Alier, 1987) para caracterizar los flujos de materiales y energía que se dan a través de los distintos holones (compartimientos) que constituyen el sistema socio-económico. Esta caracterización del metabolismo de la sociedad, también llamado patrón metabólico, se basa en la categorización en flujos y fondos que se comentó anteriormente.

La caracterización anterior es relevante para los análisis de sostenibilidad del sistema socio-económico porque permite identificar cuáles son los compartimientos que más requerimientos tienen y qué tipo de requerimiento son. Al tener este tipo de representación se proporciona una visión panorámica de cómo funciona el sistema socio-económico y la dependencia hacia el sistema ecológico.

Un aspecto importante a tener en cuenta al analizar el funcionamiento de los procesos autoorganizativos de las estructuras disipativas y de la autopoiesis son los mecanismos que explican la dinámica de los bucles generadores de la no-linealidad. Estos mecanismos hacen referencia a la clase de redes de reacciones no-lineales con propiedades únicas que permiten una integración y evolución adecuada de un conjunto de entidades acopladas de una manera funcional. A estos mecanismos, que son una forma de autoorganización, se les conoce con el nombre de hiperciclos (Eigen and Schüster, 1979; Ulanowicz, 1986).

La gramática del MuSIASEM utiliza la noción del hiperciclo para representar procesos acoplados, entre categorías semánticas, como parte del metabolismo del sistema socio-económico o del sistema ecológico y que son necesarios para la estabilidad del mismo. Por ejemplo, en el proceso para producir energía útil para el sistema socio-económico, se tiene que utilizar ya energía útil. Esto señala un bucle en la producción que representa un conjunto de procesos acoplados que son indispensables para la obtención, en este caso, de energía útil.

Finalmente, la gramática del MuSIASEM es etiquetada como semánticamente abierta por Giampetro et al. (2012) porque tiene la cualidad de incorporar categorías y de relacionarlas, según las necesidades del observador. No obstante, debido a que en secciones anteriores se ha utilizado la analogía entre la gramática del lenguaje y la gramática del MuSIASEM para explicar el funcionamiento de este último, se hace necesario señalar que la definición de semánticamente abierto que proporciona Giampetro et al. (2012) difiere de la definición que se utiliza en el lenguaje. En éste se considera semánticamente abierto cuando un fragmento no tiene el problema de la autorreferencia o cuando no contiene su propio predicado de verdad (Andrade et al., 2008).

5. Casos de Aplicación

El presente apartado explica la aplicación de la gramática del MuSIASEM al estudio de la sostenibilidad en distintas interacciones entre el sistema socio-económico y el sistema ecológico. Estas interacciones están agrupadas en torno a los alimentos, el suelo, la energía, los materiales de construcción y el agua. Como ya se ha sugerido, estas aplicaciones representan puntos de vista desde los cuales se decide observar y construir categorías formales y semánticas que permitan el análisis.

5.1 Gramática de los alimentos

En la Figura 1 se muestra la gramática propuesta para caracterizar el patrón metabólico de los alimentos. En ella se ilustra la visión externa que representa los recursos y los factores productivos que se necesitan para producir y abastecerse de los alimentos necesarios para el normal funcionamiento de la sociedad. En base a esta información se pueden relacionar las limitaciones que pueden poner en riesgo el suministro de alimentos.

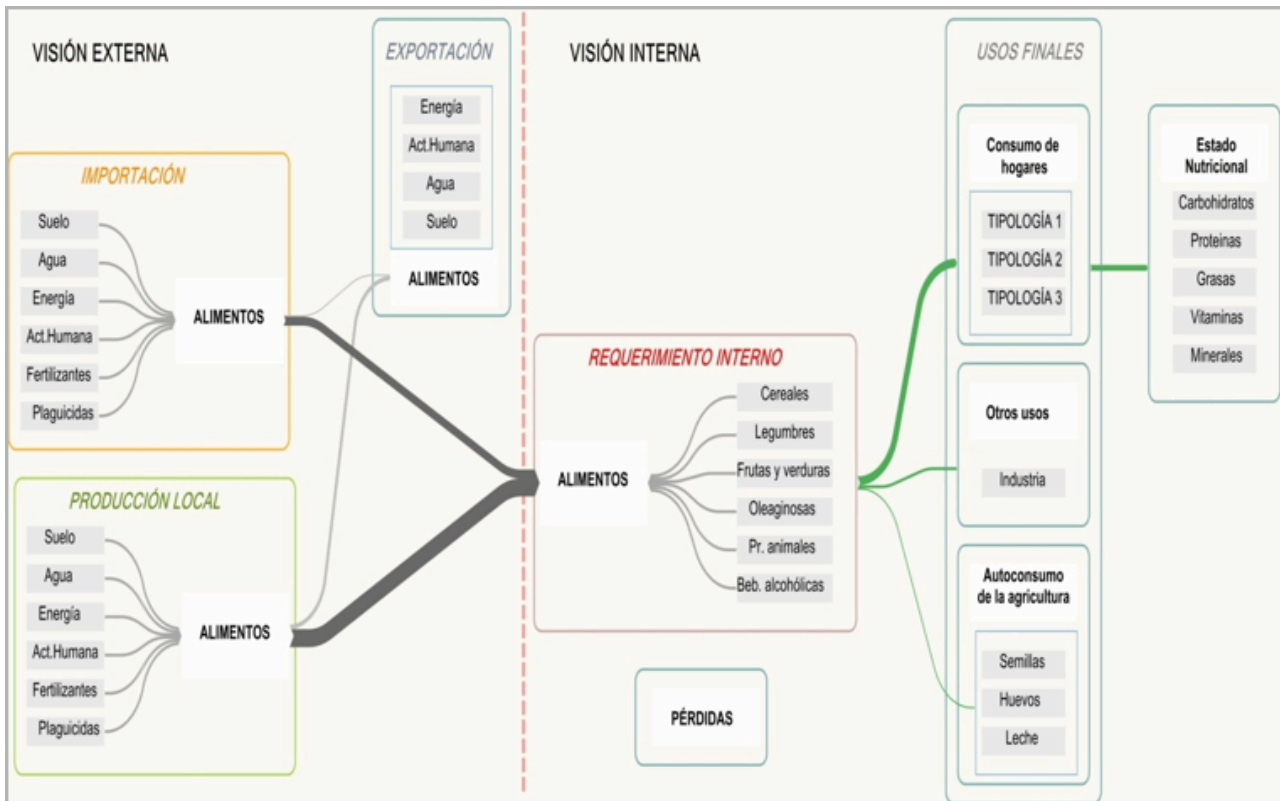
Por ejemplo, la falta de suelo para aumentar la producción agrícola, la dependencia de determinados productos agrícolas importados, el debilitamiento del suelo por la excesiva producción de monocultivos, la contaminación de acuíferos por un uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, la pérdida de suelo por falta de un adecuado manejo, etc.

Dentro de esta visión, la gramática del MuSIASEM permite analizar la disponibilidad y la accesibilidad de los alimentos por parte de la población, según las tipologías que se deseen caracterizar (por ejemplo por su condición socioeconómica, su condición etaria, su condición geográfica, etc.). Al mismo tiempo, se proporciona información acerca del estado nutricional de las personas.

Este panorama integral del sistema alimentario proporciona un diagnóstico de la situación actual que es muy útil para la elaboración de estrategias y de políticas. A su vez, el desarrollo de un sistema de contabilidad con estas características facilita la generación de escenarios en donde se revise la factibilidad, la viabilidad y la deseabilidad de dichas propuestas.

También se ilustra la visión interna que representa el uso final de los alimentos y las pérdidas que se originan en el procesamiento, en la cadena de distribución y en el consumo final.

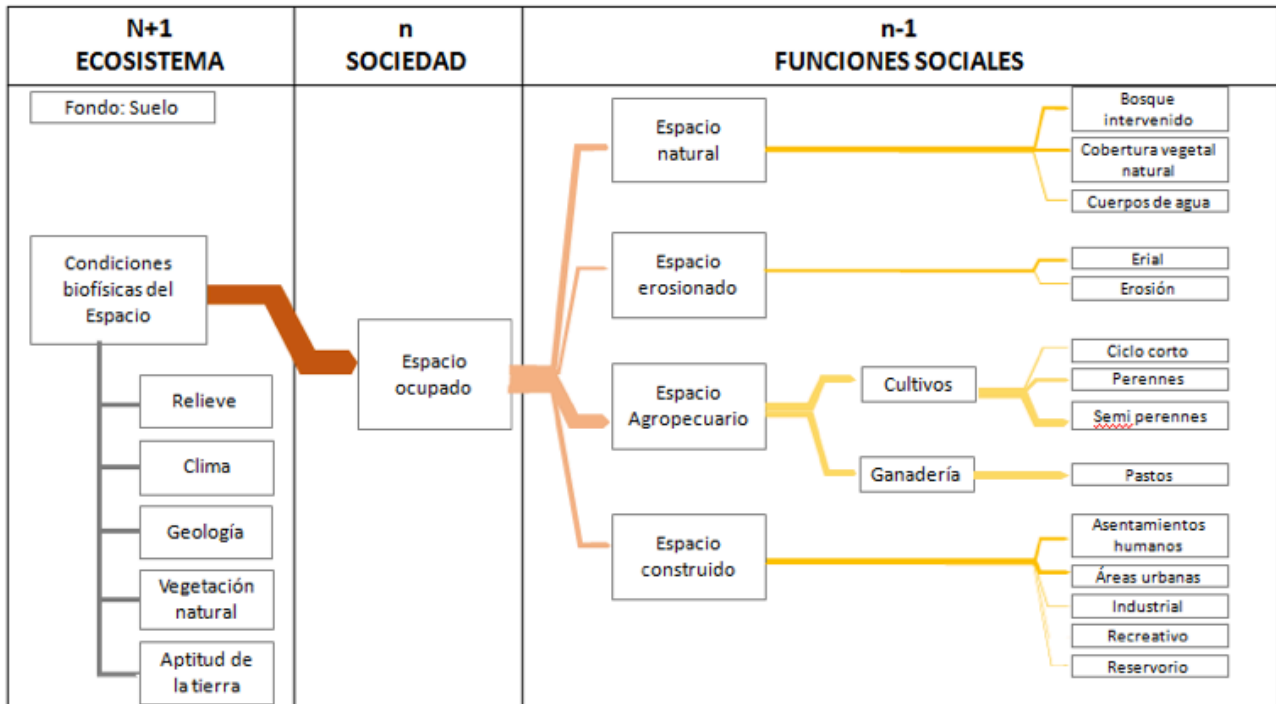
Figura 1. Gramática para el análisis de los alimentos



5.2. Gramática del uso del suelo

La gramática del uso del suelo, que se presenta en la Figura 2, define al suelo como un fondo natural sobre el cual se establecen y desarrollan las actividades humanas en un espacio determinado. En tal sentido, la gramática muestra la relación existente entre las condiciones naturales del espacio frente a su uso y las formas de ocupación que los seres humanos hacen de este. Bajo este antecedente la gramática del uso del suelo permite analizar por un lado las condiciones y especificidades biofísicas del territorio de acuerdo con sus características ecosistémicas, y por el otro, los usos del espacio y funciones que estas están cumpliendo en el sistema territorial.

Figura 2. Gramática para el análisis del uso del suelo



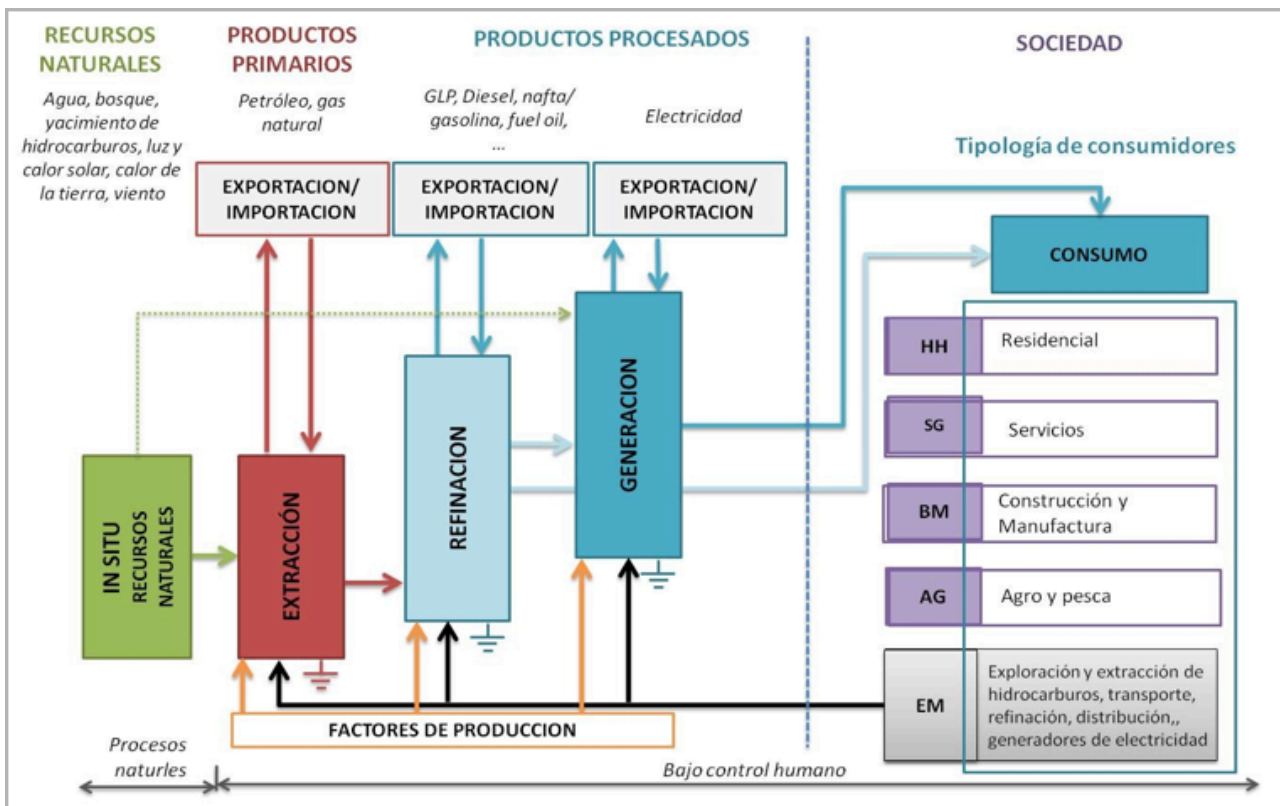
5.3. Gramática de la energía

En la Figura 3 se presenta la gramática para caracterizar el flujo de la energía a través del sistema socio-económico. Tal como se puede apreciar, la gramática de los alimentos y la de la energía son muy similares. Esto se puede entender mejor recurriendo a la clasificación que hizo Lotka (1956) acerca del uso de la energía. Él definió a la energía endosomática como aquella energía que es utilizada por el organismo para mantener sus funciones metabólicas, en otras palabras hace referencia a la energía que proviene de los alimentos. En cambio, la energía exosomática la definió como aquella que es utilizada fuera del organismo, es decir es aquella que, por ejemplo, utilizamos cotidianamente para nuestras actividades como la proveniente de los combustibles fósiles. De esta manera, ambas sufren procesos de transformación relativamente similares.

La energía es un recurso esencial para la existencia de cualquier sociedad humana. Por lo tanto, estudiar la sostenibilidad involucra tener en cuenta la visión interna y externa, que se explicaron anteriormente, para determinar la soberanía energética e identificar cuáles son los compartimientos de la sociedad que más demanda de este recurso tienen. Asimismo, la gramática puede proporcionar una idea clara de los procesos que están involucrados para obtener la energía que se utiliza en las sociedades, así como también la eficiencia de dichos procesos. Al igual que la gramática de los alimentos, esta representación muestra el hiperciclo o bucles que sugieren procesos acoplados. De este modo, la gramática del MuSIASEM incluye la

energía que es necesaria para producir más energía. Este hecho no solo tiene relevancia en el impacto ambiental sino también en la viabilidad económica de las fuentes energéticas.

Figura 3. Gramática para el análisis de la energía

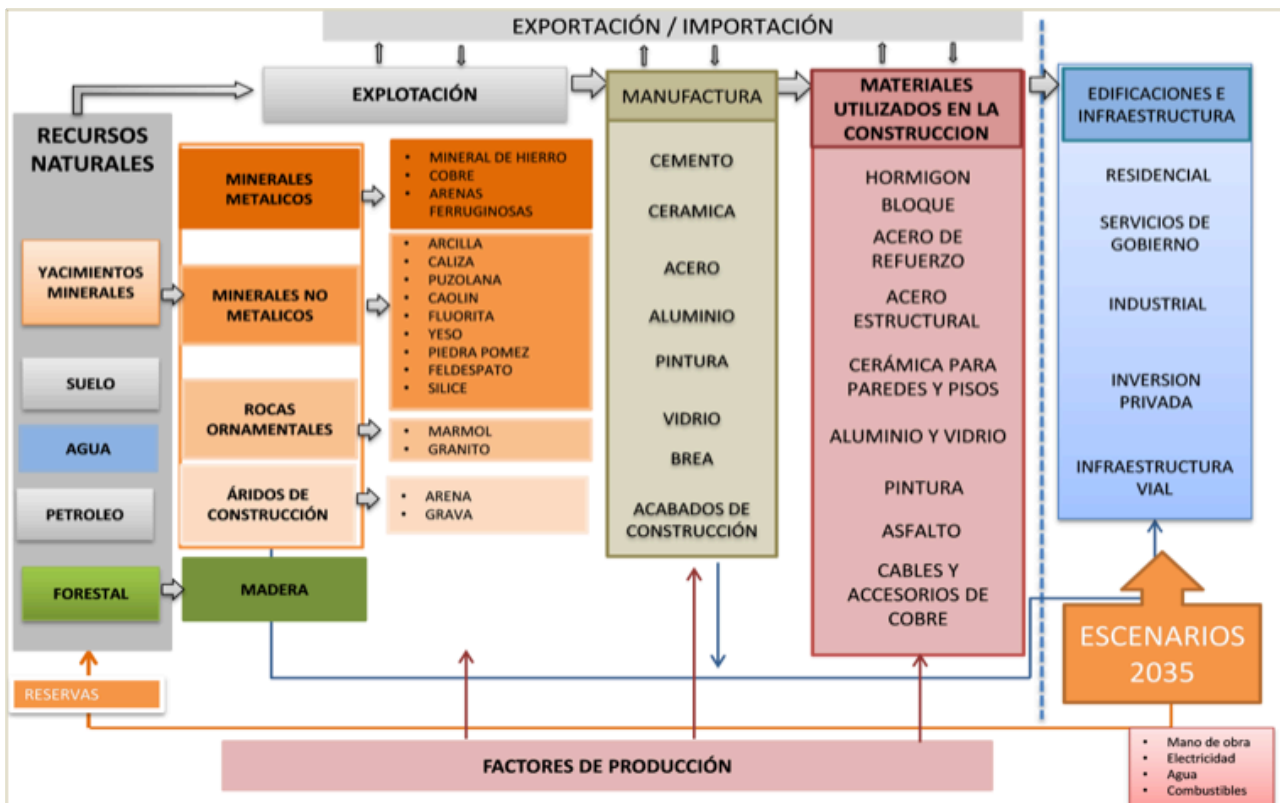


5.4. Gramática de los materiales de construcción

La demanda de materiales de construcción se encuentra ligada al desarrollo de la infraestructura, a los asentamientos humanos, la implementación de nuevos proyectos, etc. Para construir cualquier tipo de infraestructura, se requiere de recursos minerales, agua, suelo y recursos forestales que, de acuerdo a la factibilidad técnica, económica y ambiental son explotados para el beneficio de la sociedad. En tal sentido, en la Figura 4 se explica la gramática que representa el flujo de los materiales de construcción. Esta gramática permite analizar, por un lado, cuáles son las principales fuentes de obtención de materia prima mineral que sirven de insumos para la fabricación de los materiales de construcción y su respectivo stock, y por el otro permite analizar los requerimientos necesarios para la planificación futura de nueva infraestructura. Desde esta perspectiva integral, que une la extracción y los requerimientos, es factible reconocer cuales son los limitantes, si los hubiese, por ejemplo de recursos. Por lo tanto, en términos de sostenibilidad implicaría, en primer lugar, desarrollar mecanismos que reduzcan al máximo el posible impacto ambiental que ocasiona la explotación de recursos minerales, la fabricación de materiales de construcción y el desarrollo de la infraestructura y en segundo lugar,

diseñar nuevas estrategias de construcción que reduzcan la demanda de materiales convencionales.

Figura 4. Gramática para el análisis de los materiales de construcción



5.5. Gramática del agua

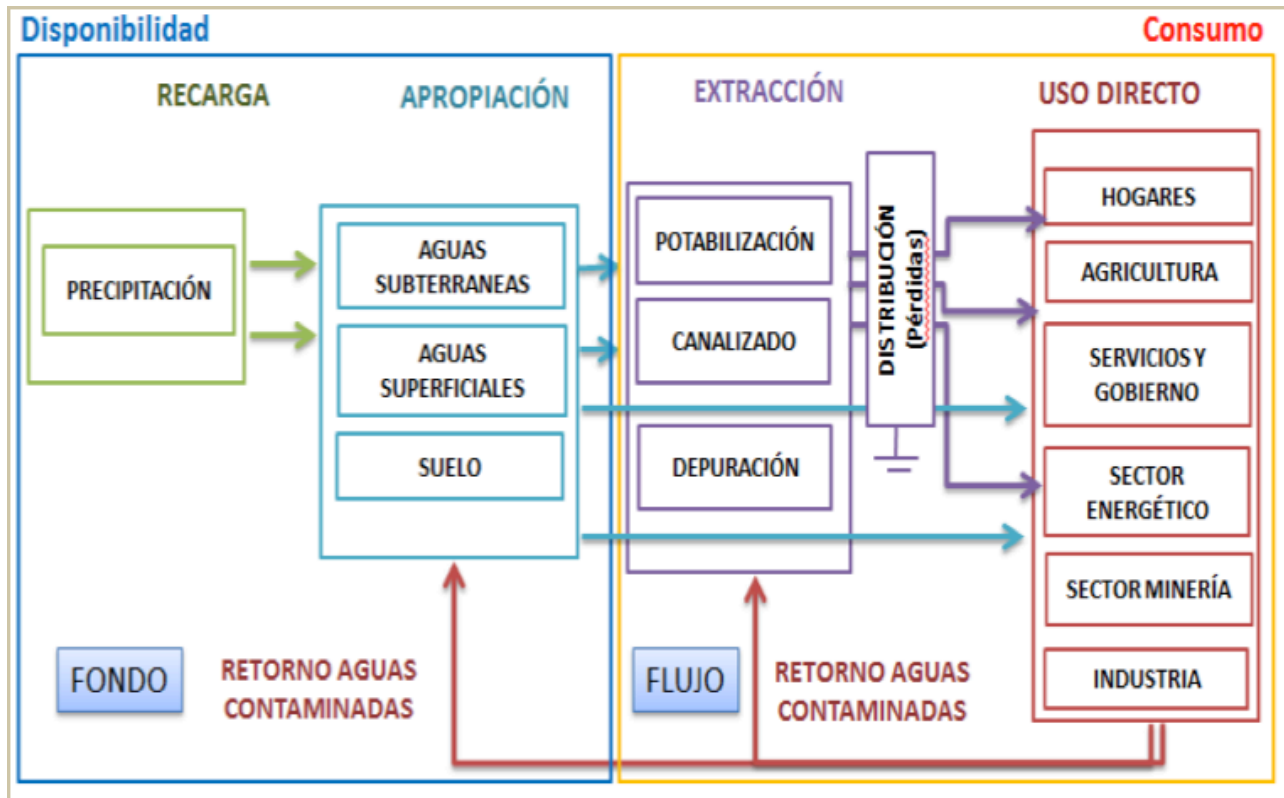
En la Figura 5 se muestra la gramática propuesta para el estudio del agua. El agua tiene un carácter muy diferente al resto de elementos estudiados ya que es multidimensional. Cada una de las dimensiones del agua es relevante en ciertos niveles.

Por ejemplo, el caudal del agua en un río no es relevante para un hospital. De hecho, al hospital no le interesa si el agua se cogió de un río o un acuífero, sino si ésta está suficientemente limpia y es abundante como para abastecer todas las necesidades del hospital (limpieza personal y de las instalaciones, bebida y quizás también el llenado de piscinas para recuperación de ciertos enfermos). Algunas de estas dimensiones del agua forman parte de las características del agua como fondo y otras son características del agua como flujo.

La condición del agua como fondo natural queda reflejada en los niveles eco-sistémicos que se incluyen en su análisis. Niveles particulares del estudio del agua son: i) el ciclo hidrológico: a este nivel se estudian fenómenos como la precipitación; ii) el ecosistema: a este nivel se estudian los fenómenos que intervienen en la disponibilidad de agua tales como escorrentía, infiltración, etc.; iii) el nivel nacional: a este nivel se estudian las diferentes

infraestructuras que son necesarias para hacer el agua efectivamente disponible a los usuarios finales; iv) el nivel de cuencas: que son las divisiones naturales para estudiar el resultado de la apropiación del agua; v) el nivel de subcuencas: nivel que se incluye en los análisis sólo si se requiere este de detalle, vi) la escala social queda representada a distintos niveles por los diferentes compartimentos sociales.

Figura 5. Gramática para el análisis del agua



6. Conclusiones

En la actualidad de las sociedades humanas existen buenas razones para caracterizar su capacidad transformadora del entorno como un hecho urgido de una atención capaz de dar cuenta de la complejidad de los intercambios con dicho entorno y sus efectos en escalas distintas.

Una breve revisión de las capacidades de los recursos y estrategias para analizar y conocer la sostenibilidad de las relaciones entre el sistema socio-económico y el sistema ecológico muestra que los paradigmas científicos heredados del siglo XIX no ofrecen hoy maneras pertinentes de representar esas relaciones. Y, por tanto, de tener una descripción adecuada.

En este sentido, el análisis de la sostenibilidad tiene, a nuestro juicio, la necesidad de encontrar una forma adecuada para representar esas relaciones, su complejidad, flexibilidad y multidimensionalidad. En tal sentido, la representación de esas relaciones por vía de gramáticas

parece ofrecer el instrumento adecuado para dar cuenta del perfil complejo del sistema socio-económico, del sistema ecológico y de las interacciones entre ellos.

Tal pertinencia y adecuación parece radicar en el isomorfismo de las gramáticas respecto a las relaciones y los sistemas representados. Es decir, las gramáticas provienen de la explicación del lenguaje natural como un fenómeno que ha sido descrito como sistema complejo, flexible y multidimensional. De hecho, esos rasgos parecen vitales en la capacidad del lenguaje natural para poder representar nuestro conocimiento.

La capacidad representadora de las gramáticas está en que ofrecen un sistema limitado de reglas y principios para relacionar categorías semánticas y sintácticas, distinguiendo, en distintos dominios descriptivos, los componentes computacionales y las representaciones del lenguaje. La aspiración es entonces desarrollar metodologías de análisis de la sostenibilidad capaces de contar con ese poder representador. En este sentido, las gramáticas son una epistemología y un método que se exige poder atender a la diversidad de propósitos y mantener un perfil semántico abierto. Es decir, que puede reusar y ajustar las categorías formales para la explicación (lo que los lingüistas llaman un lenguaje de explicación) de nuevas o las mismas categorías semánticas.

Sin embargo, para servir al análisis de la sostenibilidad, las gramáticas deben ser capaces de mantener la relación funcional jerárquica entre las categorías semánticas, porque de esta manera permiten entender, en base a los parámetros establecidos, cuales son los requerimientos de energía y materiales que los holones (compartimientos) de la sociedad necesitan y como estos influyen en la existencia de la sociedad. En este sentido, la gramática del MuSIASEM es una herramienta potente para dicho análisis ya que, tal como se mencionó en secciones anteriores, integra un conjunto de conceptos de distintas disciplinas científicas para lograr una versatilidad que permite caracterizar un patrón metabólico de la sociedad manteniendo la funcionalidad jerárquica de las categorías a considerar.

Finalmente, hemos ejemplificado, en las interacciones agrupadas en torno a los alimentos, la energía, los materiales de construcción y el agua, la aplicación de la noción de gramática en distintas narrativas, entendida como instanciación por parte de un observador (un punto de vista, un objetivo de análisis en un límite espacio-temporal) de los recursos y posibilidades de una gramática.

Referencias bibliográficas

Ahl, V.& Allen, T.F.H. (1996). *Hierarchy Theory*. NY: Columbia University Press

Allen, T., Tainter, J. & Hoekstra, T. (1999). Supply-side sustainability. *Syst. Res. Behav. Sci.*,16, 403–427.

Allen, T.F.H. & Giampietro, M. (2006). Narratives and transdisciplines for a post-industrial world. *Syst. Res. Behav. Sci.* 23, 595–615. doi:10.1002/sres.792

-
- Andrade, E.J., Cubides, P., Márquez, C.M., Vargas, E.J., Cancino, D. (2008). *Lógica y pensamiento formal*. Bogota: Editorial Universidad del Rosario
- Chomsky, N., (1998). *On language*. NY: New Press
- Dittmar, M. (2014). Development towards sustainability: How to judge past and proposed policies? *Sci. Total Environ.* 472, 282–288. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.11.020
- Eigen, M. & Schuster, P. (1979). *The hypercycle: A principle of natural self-organization*. Berlin: Springer
- Georgescu-Roegen, N. (1971). The Entropy Law and the Economic Process. *The Economic Journal*.
- Georgescu-Roegen, N. (1975). Energy and Economic Myths. *Southern Economic Journal*, 41, 347. doi:http://dx.doi.org/10.2307/1056148
- Giampietro, M. (2004). *Multi-scale integrated of agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton.
- Giampietro, M. & Mayumi, K. (2000a). Multiple-scale integrated assessments of societal metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales. *Popul. Environ.*, 22, 155–210.
- Giampietro, M. & Mayumi, K. (2000b). Multiple-scale integrated assesment of societal metabolism: Introducing the approach. *Popul. Environ.*, 22, 109–153.
- Giampietro, M., Mayumi, K. & Sorman, A.H., (2012). *The Metabolic pattern of societies : where economists fall short*. London: Routledge
- Gómez Marín, R. (2002). Arquitectura teórica de la complejidad paradigmática, in: *Manual de Iniciación Pedagógica Al Pensamiento Complejo*. Corporación para el desarrollo complexus.
- Kaufmann, S., (1993). *The origins of order*, Oxford University Press.
- Koestler, A., (1968). *The Ghost in the Machine*. The MacMillan Co., New York.
- Lotka, A. (1956). *Elements of Mathematical Biology*. New York: Dover.
- Luhman, N., (1990). *Sociedad y sistema: la ambición de la teoría*. Paidós, Barcelona.
- Luhman, N. (1996). *La ciencia de la sociedad*. Universidad Iberoamericana. México: Anthropos, ITESO.
- Luhman, N., (1997). *Hacia una teoría científica de la sociedad*, in: *Revista Anthropos*. p. 192.
- Martinez-Alier, J. (1987). *Ecological economics: energy, environment and society*. *Ecological Economics Energy Environment and Society*.
- Martinez-Alier, J., Munda, G., & O'Neill, J. (1998). Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics*, 26, 277–286. doi:10.1016/S0921-8009(97)00120-1
- Maturana, H.R., Varela, F.J., (1987). *The tree of knowledge: the biological roots of human understanding*.
- Maturana, H., Varela, F., (1991). *Autopoiesis and Cognition : The Realization of the Living (Boston Studies in the Philosophy of Science)*, Living in Boston Studies in the Philosophy of Science Vol 42 D Reidel Dordrecht.
- Mayr, E., (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution and inheritance*. The Belknap Press of Harvard University Press Cambridge, Canbridge, MA.
- Moreno, J.C. (2002). Fuentes, autores y corrientes que trabajan la complejidad, in: *Manual de Iniciación Pedagógica Al Pensamiento Complejo*. Corporación para el desarrollo complexus.
- Morin, E., (2007). *Complejidad restringida y Complejidad generalizada o las complejidades de la Complejidad*. (Spanish). *Utop. y Prax. Latinoam.* 12, 107–119.
- Morowitz, H., (1979). *Energy flow in biology*. Woodbridge: Ox Bow Press.

-
- Odum, H., (1971). *Environment, power, and society*. Wiley-Interscience, New York.
- Odum, H., (1983). *Systems ecology*. Wiley, New York.
- Odum, H., (1996). *Environmental accounting: energy and decision making*. Wiley, New York.
- Ortega, J., (1988). Gramática, pragmática y enseñanza de la lengua, in: *Actas Del Primer Congreso ASELE*. Centro Virtual Cervantes, pp. 9–20.
- Osorio, S.N., (2012). *Ciencias de la complejidad, pensamiento complejo y conocimiento transdisciplinar*.
- Prigogine, I., (1961). *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, 2nd editio.ed. Wiley, New York.
- Prigogine, I., (1978). *From Being to Becoming*. W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Rosen, R., (1977a). Complexity and system descriptions, in: *Systems- Approaches, Theories, Applications*. pp. 169–175.
- Rosen, R., (1977b). Complexity as a system property. *Int. J. Gen. Syst.*
- Rosen, R., (2000). *Essays on Life Itself, Axiomathes*.
- Schrödinger, E., (1944). *What is life? The physical aspect of the living cell*, Trinity College.
- Ulanowicz, R., (1986). *Growth and development: ecosystem phenomenology*. Springer, New York.
- Ulanowicz, R., (1995). Ecosystem integrity: A causal necessity, in: Westra, L., Lemons, J. (Eds.), *Perspectives on Ecological Integrity*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 77–87.
- Von Foerster, H., (1979). Cybernetics of Cybernetics. *Rev. Lit. Arts Am.* 8, 5–8.
- Zipf, G., (1941). *National unity and disunity: the nation as a bio-social organism*. Bloomington: The Principia Press.