

# Epistemología del enfoque sistémico. Parte I: sistemas materiales

Luis Fernando Gómez Echeverri Académico Asociado ACCV+  
Recibido 05-19-2020 Aprobado 06-15 -2020

## Resumen

El presente texto es la primera parte de un proyecto que tiene como objetivo presentar el enfoque sistémico como la visión de mundo en la que descansan los campos ecológicos como la agroecología. En consecuencia, este involucra una epistemología que requiere ser descrita. En esta primera parte, se presentan los rasgos fundamentales de los sistemas materiales, el primer tipo de sistemas que reconoce este enfoque dentro del mobiliario del mundo. Para esto, se parte de la teoría material desarrollada por el químico y sistémico ruso Ilya Prigogine, pero desde el marco del operacionalismo sistémico establecido por el biólogo chileno Humberto Maturana. Entre los aspectos más relevantes se encuentra el reconocimiento de los sistemas como poblaciones, es decir, como agregado de componentes heterogéneos; los conceptos de organización y estructura como elementos constitutivos de todo sistema y que involucran movimiento, materia y geometría; y la irreversibilidad o historicidad como fenómeno que ya está presente en este tipo de organizaciones.

**Palabras claves:** agroecología, zootecnia, operacionalismo sistémico, entropía, filosofía de la ciencia

## Abstract

This text is the first part of a project whose aim is to present the systems approach as the worldview that underlays ecological fields such as agroecology. As such, it comprises an epistemology that needs to be portrayed. Its departure point is the theory of material systems developed by the Russian chemist Ilya Prigogine, but within the systems operationalist frame proposed by the Chilean biologist Humberto Maturana. As a result, material systems are presented as the elementary furniture of the world from biological and human social systems stem. The former consist of populations, i.e., heterogeneous components that participate in both material and energy relations that can be explained through the concepts of organization and structure. Such relations always involve dynamic, material and geometrical configurations so energy, matter and geometry are rendered as basic features of material systems. Finally, irreversibility or history is showed as a trait already present in this sort of processes.

**Keywords:** agroecology, animal husbandry, systems operationalism, entropy,

<> Profesor asistente. Grupo de Investigación Agua y Desarrollo Sostenible. Universidad Central. Bogotá. Correo: lgomez1@ucecentral.edu.co

philosophy of science

## Introducción

La agroecología nace como campo científico que busca enfrentar los impactos negativos producto de la Revolución Verde. Para esto, ella desplazó el énfasis en el rendimiento productivo de los agroecosistemas a la sostenibilidad ecológica de estos (Hecht 1999). Este giro rápidamente condujo a la necesidad de cuestionar las bases epistemológicas sobre las que descansa la Revolución Verde. Efectivamente, en uno de los primeros libros de texto de agroecología, publicado en 1983, Norgaard y Sikor (1999) afirmaban que la insostenibilidad de los agroecosistemas diseñados bajo el modelo agrícola industrial tenía sus raíces en la visión de mundo de la modernidad ortodoxa y que, por lo tanto, era necesario partir de unas bases epistemológicas diferentes a las de ésta para lograr el desarrollo de agroecosistemas sostenibles. Posteriormente, Gómez (2002) señaló que la ciencia moderna convencional partía de unas bases epistemológicas que, por un lado, no permitían comprender los fenómenos biológicos y que, por otro lado, habían conducido al deterioro de la biosfera que se ha venido a denominar crisis ambiental. En consecuencia, este autor resaltaba la necesidad de abandonar el enfoque propio de la ciencia clásica y adoptar uno sistémico, en el que se estudiaran relaciones en vez de objetos y en el que se integrara el medio del objeto de estudio al proceso epistemológico. Poco después, Gomes (2005) escribió que no se podía alcanzar modelos sostenibles de producción con seres vivos si se usaban las mismas bases epistemológicas de la Revolución Verde, reforzando la idea de los autores anteriores de que era necesario sentar unas bases para la agroecología diferentes a las de ciencia moderna convencional.

La epistemología se ha definido como el campo que estudia el conocimiento y su justificación (Fumerton 2006). Desde

un enfoque sistémico, el rompimiento con la visión de mundo moderna ortodoxa se ha planteado para varios tipos de sistemas. Por ejemplo, Prigogine (1999) ha mostrado que ésta se ocupa de procesos que se encuentran cercanos al equilibrio, pero los sistemas son precisamente procesos alejados del equilibrio y, además, los primeros no son más que casos límites de las dinámicas materiales, por lo que la física clásica ha obviado casi la totalidad del mundo. En consecuencia, este autor afirma que es necesario reformular la física clásica. Por su parte, Maturana y Varela (2003, 2006) han partido del concepto de máquina para explicar los seres vivos, pero han mostrado que estos no pueden derivarse de los procesos materiales que se llevan a cabo entre las moléculas que los constituyen. Igualmente, han establecido el lenguaje como la operación de distinción de los seres humanos y han formulado una epistemología que se basa en una noción de realidad distinta a la de la objetividad desarrollada por la modernidad ortodoxa. Por último, Luhmann (1998) se ha centrado en los sistemas sociales para desarrollar una teoría basada en el enfoque sistémico propuesto por Maturana, que se aleja de los postulados de la filosofía y sociología modernas convencionales al afirmar que las sociedades están constituidas por sistemas comunicacionales, en vez de sistemas humanos.

No obstante, la articulación de estos tres tipos de sistemas dentro del enfoque agroecológico aún es un reto. Por un lado, el aumento de textos sobre el enfoque sistémico ha sido abrupto en las últimas décadas. Por ejemplo, libros por investigadores de diferentes regiones del país como *Sistémica y Pensamiento Complejo* (Rozo 2003) o *Pensar Sistémico* (García 2011) han sido publicados en este siglo. Igualmente, libros por autores de otras regiones de nuestro continente sobre sistemas complejos (de la Reza 2010, García 2008) han salido en editoriales comerciales en el mismo periodo. Además, libros que cambian

el enfoque al de pensamiento complejo también han aumentado la oferta (Corona y Cortés 2015, Sametband 1999). Por otro lado, la epistemología, ya sea desde el enfoque sistémico o desde el pensamiento complejo, también ha sido un tema que ha sido desarrollado en amplias obras (Maturana 2002, Maturana y Varela 2003, Morin 2009). Por lo anterior, el presente ensayo pretende presentar una teoría del enfoque sistémico desde una trayectoria epistemológica clara, que toma como punto de partida la teoría de sistemas materiales del químico y sistémico ruso Ilya Prigogine, particularmente los elementos básicos delineados en su texto *Las Leyes del Caos* (1999), pero que descansa en el operacionalismo sistémico desarrollado principalmente por el biólogo chileno Humberto Maturana. Asimismo, se sigue la línea narrativa de textos de ecología de comienzos del siglo XX como *A Sand County Almanac* (Leopold 1989) o *A Stroll Through the Worlds of Animals and Men* (von Uexküll 1992) y que ha estado presente en varios textos de pensamiento sistémico como *El Árbol del Conocimiento* (Maturana y Varela 2003) o *Investigaciones* (Kauffman 2003), donde las imágenes y el tono divulgativo son característicos. Esta primera parte se limita a los sistemas materiales para luego presentar, en una segunda parte, las implicaciones epistemológicas de esta concepción de la parte material del mobiliario del mundo.

## Sistemas materiales

En la física contemporánea se acepta que el movimiento es un atributo –i.e., propiedad inalienable– de la materia (Guerasimov et al 1980). De esta manera, materia y movimiento son indisolubles de una manera en que el movimiento no es más que el desplazamiento de la materia y que la forma de la materia es producto del desplazamiento que se da dentro de ella. Efectivamente, cuando hablamos de estados de la materia, nos referimos a una estructura que emerge del movimiento de los elementos que

la conforman. Así, toda sustancia está compuesta por átomos o moléculas que se desplazan y se relacionan entre sí. Cuando las partículas se encuentran bastante separadas, tienen relaciones débiles que configuran una estructura gaseosa (figura 1). Por el contrario, si los átomos o moléculas están más cercanos, establecen múltiples tipos de relaciones y esta relación configura estructuras de fase condensada, es decir, líquida o sólida (Chang y College 2002).



Figura 1. Sustancia simple en tres estados: sólido, líquido y gaseoso

Al ser el movimiento producto de relaciones entre componentes y encontrarse en cualquier arreglo material, *toda forma material está constituida por diferentes elementos en movimiento*. Por ejemplo, el metano es una sustancia que se distingue de las demás por la formación de enlaces entre electrones de un átomo de carbono y cuatro átomos de oxígeno (figura 2a) (Chang y College 2002). Al mismo tiempo, la interacción entre moléculas configura la sustancia (figura 2b). De esta manera, el estado o fase de esta sustancia está determinado por las relaciones al interior de las moléculas que permite que ella sea metano y no otro compuesto y por la relación entre las moléculas que determina que ella se encuentre como sistema gaseoso, líquido, sólido o de otro tipo. En consecuencia, un sistema posee una operación establecida por relaciones entre relaciones y son éstas las que definen al sistema. Así, un sistema es un conjunto de relaciones entre elementos que generan una operación de distinción (Maturana y Varela 2003). Para el caso

de la configuración sustancial de la materia, un sistema gaseoso es una unidad cuya operación de distinción es las relaciones entre los átomos o moléculas que la componen que se dan producto de la distancia entre ellos (de alrededor de 10 veces el diámetro de las moléculas o átomos) (Castellan 1987).

La existencia de por lo menos dos escalas espaciales en un sistema material, microscópico y macroscópico, genera emergencias. Con este término, se denota propiedades o relaciones que resultan de la interacción entre componentes ausentes en ellos (Bunge, 2004). Así, cuando una sustancia se encuentra en estado líquido o sólido, las moléculas que la constituyen se encuentran tan cerca que los electrones del último nivel de energía de los átomos que las conforman establecen relaciones no espe-

cíficas y no direccionales, denominadas fuerzas de van der Waals, que están ausentes en las interacciones entre los átomos de una misma molécula (Pollard et al 2017).

Por otro lado, aunque un sistema es relaciones o movimiento, es producto de elementos materiales que, a su vez, son producto de relaciones o movimiento. En física, esto fue formulado por Einstein mediante la proposición “energía es igual a masa por velocidad de la luz al cuadrado” o  $E= MC^2$ , y ha sido interpretada desde el positivismo como “la materia es una forma de energía” (Dilwort 2009, p. 76). Sin embargo, esta hipótesis puede interpretarse desde un enfoque sistémico como *existe una circularidad entre materia y energía*, lo que quiere decir que, si bien desde un enfoque se distinguen objetos materiales y desde el otro procesos,

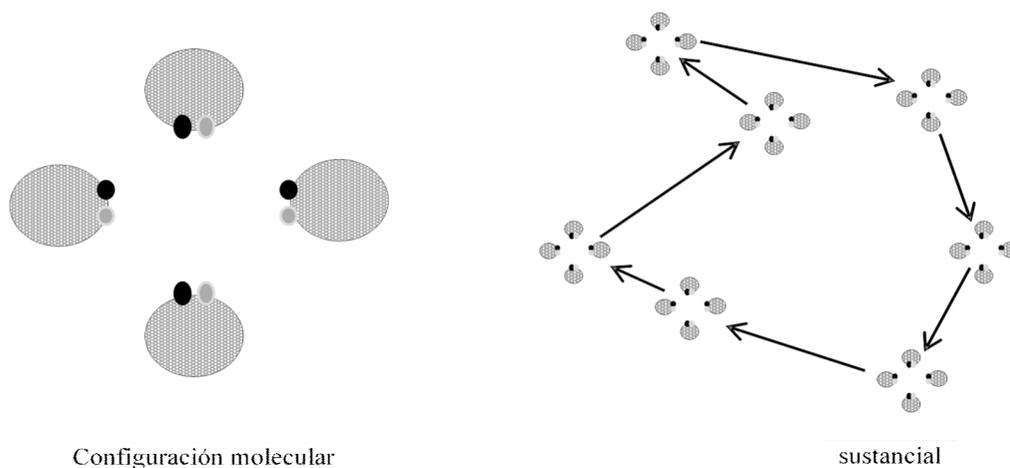


Figura 2. Constitución del metano. En su configuración molecular, el círculo del centro representa el átomo de carbono, mientras los cuatro círculos punteados representan los átomos de hidrogeno. Los puntos negros y gris entre cada unión de átomos representan el enlace de electrones que establece la relación entre los átomos que hace posible el sistema molecular metano. Los dos electrones que conforma cada relación se presentan con colores distintos para indicar que cada átomo aporta un electrón a la relación. En su configuración sustancial, la relación se da, en primera instancia, por los choques entre las moléculas de metano. Si la distancia es alta entre cada una de ellas, habrán menos choques y la sustancia exhibirá una operación gaseosa.

éstos son inseparables y no tienen una relación causal lineal. Esta observación ya se encontraba presente en la famosa dualidad onda-partícula que formuló de Broglie en 1924, en la que afirmaba que la luz se comportaba tanto como onda – movimiento- como partícula – materia- y que lo mismo sucedía con los electrones (Gettys et al 1991). Además, esto nos lleva a la hipótesis de que *todo sistema es dinámico*.

El enfoque sistémico recoge estas dos propiedades bajo los conceptos de organización y estructura. El primero denota aquel proceso que permite diferenciarlo de su entorno. En el caso del metano, el proceso es la permanencia de una relación entre un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno a través de enlaces formados por un par de electrones compartidos. La estructura, por su parte, es el arreglo de componentes que permite que la organización se dé. Esta cambia y la organización se puede lograr mediante diferentes arreglos estructurales (Maturana y Varela 2006). La organización de los sistemas materiales se puede lograr por arreglos de átomos de características similares (elementos), moléculas similares (compuestos) o combinación de átomos y/o moléculas (mezclas). Igualmente, estos se pueden arreglar espacialmente como sólidos, gases, líquidos u otras formas de arreglos.

Esto introduce otros dos conceptos fundamentales para comprender y explicar el enfoque sistémico: espacio y tiempo. Como se mencionó más arriba, la fase de una sustancia (figura 2b) depende de la distancia entre las moléculas que la constituyen. Este rasgo de los sistemas fue formulado originalmente por Newton en 1687 bajo la famosa fórmula de la *ley de gravitación universal*. A diferencia de sus leyes para el movimiento, esta definía la relación entre dos cuerpos como función tanto de la masa de los sistemas como de la distancia entre éstos (Gettys et al 1991). En la actualidad, dicha proposición ha servido para

la enunciación de hipótesis acerca de la relación entre materia y geometría a nivel atómico y astronómico mediante la teoría cuántica de la gravedad y la teoría extendida de la gravedad, respectivamente, mostrando que este aspecto es continuo en las diferentes escalas de la organización material (Sharma et al 2018). Asimismo, las nuevas teorías sobre los sistemas subatómicos ubican la geometría como un factor que participa en las cuatro relaciones que ellas establecen como fundamentales a esta escala. Estos desarrollos, que han tenido especial impulso en los últimos 30 años, han llevado a algunas personas a señalar la necesidad de reformular la hipótesis de Einstein presentada en el párrafo anterior por una que muestre la relación entre materia, energía, geometría e incluso tiempo (Sobczyk y Yarman 2008). Así, podemos pensar que *existe una circularidad entre materia, energía y geometría* en la que el espacio es generado por sistemas que, a su vez, requieren un espacio para que los componentes que los generan puedan darse. Además, algunos de estos desarrollos han cuestionado la concepción del tiempo y la velocidad de la luz de Einstein y autores posteriores como Hawking (1999), de manera que la hipótesis anterior queda reformulada como *existe una circularidad entre materia, energía, tiempo y geometría en la cual estas cuatro dimensiones se generan mutuamente* (Afshordi y Magueijo 2016, Leuchs y Sánchez-Soto 2013).

De lo anterior, se puede entonces concluir que el tiempo y la geometría son emergencias de los sistemas materiales. En consecuencia, la hipótesis formulada por von Uexküll (1992, p. 326) de que “sin un sujeto vivo, no puede existir ni espacio ni tiempo” es refutada para ubicar estos dos fenómenos en los sistemas materiales. Igualmente, se matiza la hipótesis de Maldonado (2005, p. 21) de una especificidad de la temporalidad de los sistemas sociales humanos que deriva en un “distinción entre el tiempo físico y las temporalidades individuales

y colectivas” de los seres y grupos humanos, donde “no existe ninguna coincidencia necesaria entre ambos tipos de temporalidad”, la cual se basa en la idea de un tiempo físico lineal y, si se quiere, universal. Lo mostrado anteriormente indica que tampoco se puede afirmar la existencia de un tiempo como una propiedad externa de los mismos sistemas materiales, como había afirmado Hawking (1999) y que las teorías rivales anteriormente mencionadas refuerzan. Así, la búsqueda de la excepción humana, que aún obsesiona al pensamiento moderno (Shaeffer 2009), no puede descansar en una idea de temporalidad.

El tiempo como un rasgo de los sistemas materiales fue abordado por primera vez por Ludwig Boltzmann en 1872 (Prigogine 1999). Este autor planteó una explicación microscópica al segundo principio de la termodinámica formulado en 1850 por Clausius, el cual establece que “el paso de calor desde un cuerpo más frío a otro más caliente no puede ser el único resultado de un conjunto cualquiera de procesos” (Gerasimov et al 1980, p. 85). El punto de partida de Boltzmann es un recipiente dividido de dos por un tabique, donde

uno compartimiento contiene muchas partículas, mientras el otro unas pocas (figura 2). Si se entiende la temperatura como la medida promedio de la agitación de las partículas de un sistema, y se asume que todas las partículas tienen la misma agitación, se puede asumir que la temperatura del espacio con menos partículas, tendrá una temperatura mucho menor que el del espacio que tiene muchas. Si se abre el tabique, se comenzará a dar un paso de partículas del compartimiento con mayor densidad al de menor y cuando haya la misma cantidad de partículas en ambos compartimientos, el proceso se detendrá y ambos espacios tendrán la misma temperatura. La explicación de Boltzmann señalaba que la secuencia presentada en la figura dos era unidireccional, es decir, iba desde el estado a hasta el estado d, pero no podía darse en sentido contrario. Bajo esta afirmación, el tiempo, entendido como una secuencia de sucesos, tiene una historicidad, en vez de una circularidad, que impide que los sistemas materiales retornen periódicamente a sus configuraciones anteriores.

Esta direccionalidad es de tipo material pero se manifiesta tanto a nivel

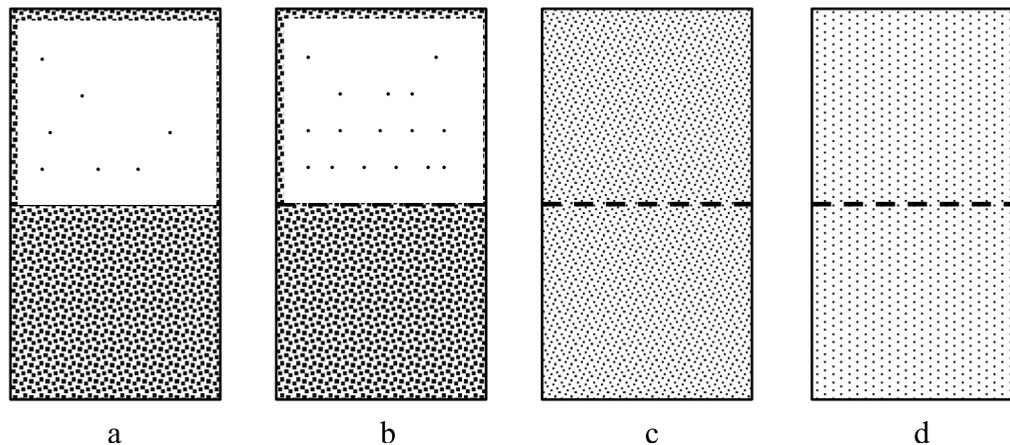


Figura 3. Secuencia de un proceso de distribución de las partículas de un sistema material en un recipiente con tabique en cuatro momentos diferentes (Lebowitz 1993).

estructural como organizacional. En el primero, se traduce como un cambio en las relaciones entre los componentes que, por un lado, reduce la asequibilidad de la materia por parte de otros procesos del entorno y que, por otro lado, genera una disipación de materia hacia el entorno. Este proceso ha sido denominado por Georgescu-Roegen (1994) como la cuarta ley de la termodinámica y señala la degradación de la materia de un sistema en términos de disponibilidad para su transformación. De manera similar, la organización del sistema se mantiene por una secuencia de cambios que van de la transferencia de masa (e.g., electrones, presión, rompimiento de enlaces químicos), que se denomina trabajo, a la de cantidad de movimiento (calor) y de arreglos estructurales que disipan energía al entorno. El primer fenómeno ha sido formulado bajo la expresión de Kelvin-Planck del segundo principio de la termodinámica, “no existe ningún ciclo en el que se extraiga calor de un foco a temperatura constante y se convierta completamente en trabajo” (Gettys et al 1991, p. 491), y el segundo bajo el concepto de estructuras disipativas (Prigogine 1999).

Retomando el metano, un cambio en la distancia entre sus moléculas o la frecuencia de sus interacciones puede inducir un cambio en su configuración que puede pasar de una fase a otra. El movimiento de las moléculas producto del choque entre sí, que las desplaza para que choquen con otras y así se mantenga su movimiento, se denomina energía calórica y su medición, temperatura. Si existe un cambio de movimiento y choques entre ellas, esto puede generar un distanciamiento entre ellas que conduzca a un cambio de fase (Guerasimov et al 1980). Como se puede apreciar en este diagrama de fases para el metano (figura 3), la cantidad de movimiento (temperatura) y la cercanía entre sus moléculas (presión) determinan su estado. Cuando él se encuentra a una presión  $p_1$  y una temperatura  $T_2$ , se encuentra en estado

gaseoso. Si disminuye la cantidad de movimiento, así se encuentren a la misma distancia ( $p_1$ ), el sistema puede alcanzar una configuración líquida. Igualmente, si se disminuye la distancia entre ellas (aumento de presión), el sistema puede alcanzar la misma fase. No obstante, esto sólo puede suceder si aumenta la temperatura o aumenta la presión en su entorno de manera tal que gatille un acercamiento en las moléculas del metano (presión) que resulta en un cambio en su estado si el cambio es el suficiente para que la presión se ubique en la región líquida. Desde la física clásica, este comportamiento se ha llamado primera ley de Newton o ley de la inercia, y puede ser formulado como “todo cuerpo material que no tiene aplicada una fuerza permanece en reposo o se mueve en línea recta con velocidad uniforme” (Sametband 1999, p. 17). Igualmente, una disminución en la temperatura en su entorno genera una diferencia en la cantidad de movimiento de las moléculas del sistema material con respecto a moléculas o átomos de otro sistema material y esto genera que la cantidad de movimiento del sistema se dirija hacia el segundo sistema (Çengel y Ghajar 2011). Desde la termodinámica clásica, a este comportamiento se le ha denominado calor, y se ha definido como “la energía transferida entre un sistema y su entorno, debida únicamente a una diferencia de temperatura entre dicho sistema y alguna parte de su entorno” (Gettys et al 1991, p. 418). Esta definición ha conducido a la formulación de la ley de la conservación de la energía dentro de la física y la termodinámica clásica, la cual afirma que “la energía total de un sistema aislado se conserva” (1991, p. 212) o, para nuestro caso, que un cambio en la energía total de un sistema sólo puede ser producto de una transferencia de energía proveniente de su entorno.

Lo anterior introduce un concepto que es fundamental en el enfoque sistémico y es el de entorno (*umwelt*). Este se puede definir como el conjunto de pro-

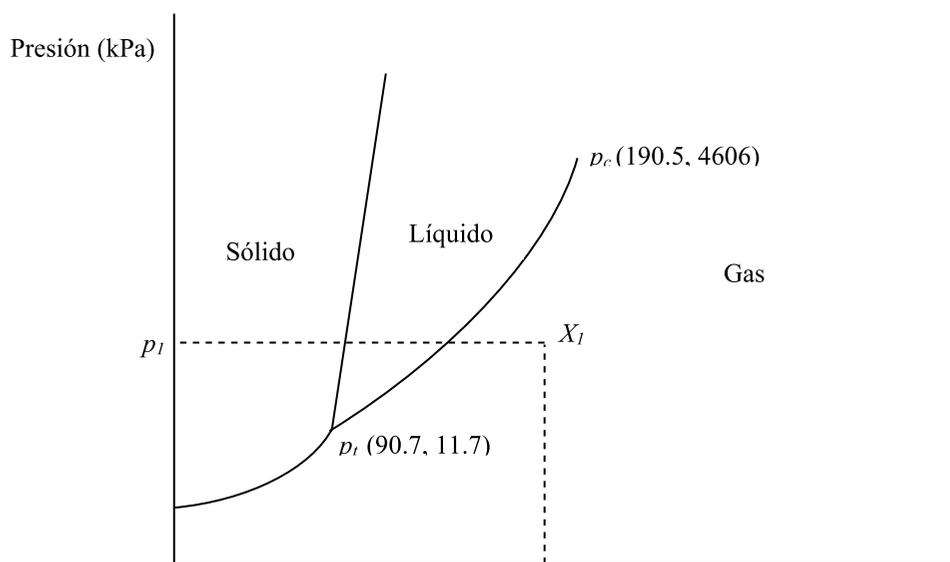


Figura 4. Diagrama de fases para el metano.

cesos ajenos a la operación de distinción del sistema que gatillan cambios en él o que son cambiados por él (Izuzquiza, 2008). Además, el enfoque sistémico establece unos rasgos del entorno que permiten ampliar lo que se ha mencionado hasta aquí, al igual que alejarlo del enfoque clásico o positivista. En primer lugar, el entorno es relativo al sistema. Con base en su definición, el entorno no está constituido por la totalidad del mundo (*welt*) sino por los procesos que afectan al sistema o se ven afectados por él. Así, se debe entender como perturbación todo cambio del entorno que pueda gatillar en el sistema un cambio estructural (Maturana y Guillof 1996). Si un elemento ajeno al sistema no gatilla cambios en él o viceversa, este no hace parte de su entorno.

En segundo lugar, el entorno contiene un exceso de relaciones y posibilidades para el sistema (Izuzquiza 2008). Cambios en el entorno pueden no ser percibidos por el sistema –i.e., gatillar cambios en él- o pueden gatillar diferentes cambios. Efectivamente, en la figura 4 se puede apreciar que un cambio en la temperatura del entorno puede gatillar un cambio de fase en el metano, si esta

tiene una magnitud suficiente para que cruce alguna línea de interfase, o gatillar un cambio de temperatura, de presión o de ambos sin cambiar su estado. Igualmente, cambios en el entorno puede posibilitar a que el metano alcance una fase líquida, sólida o de fluido supercrítico –i.e., un estado con una temperatura interna superior a 190.5 K y una presión interna superior a 4606 kPa-.

En tercer lugar, el entorno es la posibilidad de existencia del entorno. El metano puede encontrarse en estado gaseoso a unas condiciones de temperatura y presión  $X_1$  porque el entorno se encuentra en unas condiciones de temperatura y presión que posibilitan esto. Si el entorno se encuentra a una temperatura media muy inferior, esto puede conducir a una transferencia de calor que conduzca a que la temperatura interna del metano disminuya por debajo de la temperatura de interfase líquido-gas y alcance un estado líquido. Así, la configuración de fase del metano en la que se da su operación de distinción y emergen todas las propiedades asociadas al metano en ese estado son posibles por unas condiciones de blindaje otorgadas por el entorno para que se encuentre en

dicha configuración. En otras palabras, un sistema es un proceso con unas características recurrentes en un entorno lo suficientemente estable para que este pueda mantenerse en el tiempo (Cartwright 1997). En consecuencia, existe una circularidad entre sistema y entorno en que el primero es producto de unas relaciones de relaciones que se distinguen mediante un proceso del resto de procesos del mundo pero que es posible a las condiciones relativamente estables de su entorno.

Lo anterior no implica que el entorno determine el comportamiento –i.e., dinámica– del sistema. Los sistemas están estructuralmente determinados, es decir, su cambio estructural es posible a las relaciones entre relaciones de los componentes que originan su operación de distinción y no por cambios del entorno (Maturana y Guillof 1996). El diagrama de fases es similar para los diferentes compuestos o elementos. No obstante, las líneas que indican las interfases cambian. Así para las condiciones de temperatura y presión del punto  $X_1$ , el metano se encuentra en estado gaseoso, mientras el agua en fase sólida (figura 5). Además, si se superponen los puntos triple ( $p_t$ ) y

crítico ( $p_c$ ) del metano en el diagrama de fases del agua, se puede apreciar que las tres líneas de interfase del metano se ubican en su totalidad en una región donde el agua siempre exhibe un estado sólido. Además, las leyes de conservación de la energía y la de inercia muestran que lo que se han llamado leyes naturales no son leyes del mundo o el entorno sino regularidades en las propiedades de los sistemas materiales, es decir, procesos recurrentes de la estructura de un sistema bajo condiciones estables de su entorno (Cartwright 1997). En otras palabras, las leyes físicas denotan procesos recurrentes por estructuras recurrentes en sistemas materiales y no fuerzas externas a los sistemas que determinan su operación y configuración estructural, como lo da a indicar la denominación habitual de leyes naturales.

Por último, se pueden dar dos tipos de interacciones entre un sistema y entorno. Por un lado, si los cambios en el entorno generan perturbaciones para el sistema que gatillan cambios estructurales en éste que permitan que continúe su operación de distinción, se da un acoplamiento estructural. Si, por el contrario, el entorno gatilla cambios que conducen a la desa-

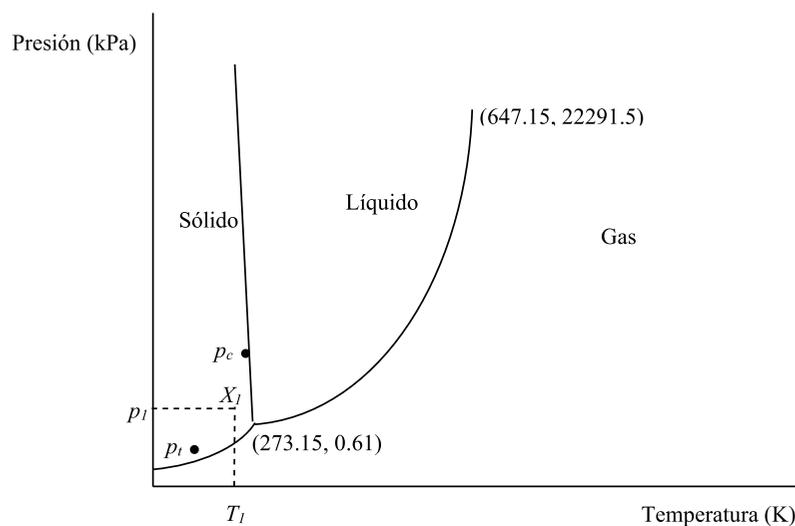


Figura 5. Diagrama de fases del agua (Castellan 1987).

parición de la organización del sistema o el sistema gatilla cambios de este tipo en otros sistemas de su entorno, se da un proceso de perturbaciones destructivas que conducen a la separación del sistema de su entorno o, incluso a la desintegración de éste o de uno o varios procesos que constituyen su entorno (Maturana y Guillof 1996). Tómese, por ejemplo, el caso de una molécula de metano en un entorno donde se encuentra dos moléculas de oxígeno (figura 6). Si hay una temperatura lo suficientemente alta en algún lugar del entorno, la operación de distinción del metano desaparecerá y los átomos de hidrógeno comenzarán a compartir sus electrones con átomos de oxígeno, al mismo tiempo que el átomo de carbono hará lo mismo, de manera tal que se crearán tres nuevos sistemas materiales, una molécula de dióxido de carbono y dos de agua, y desaparecerán los tres iniciales. De esta manera, se puede decir que una reacción es un sistema que se caracteriza por la transformación molecular o atómica de sistemas materiales y que opera mediante perturbaciones destructivas que deshacen las relaciones que definían a los sistemas reactivos.

## Conclusiones

El mobiliario del mundo material está

constituido por sistemas, es decir, por relaciones entre elementos materiales que generan procesos que una observadora puede diferenciar del resto del entorno. Dichas relaciones constituyen la organización del sistema. Si dicha organización desaparece, como sucede en una molécula que entra en una reacción química, el sistema desaparece. Estas relaciones generan movimientos y fuerzas, cuya medición se ha denominado energía en física clásica. Asimismo, estas relaciones generan arreglos espaciales de los componentes materiales involucrados en ellas que constituyen la estructura del sistema. Dichas configuraciones cambian en función de perturbaciones del entorno que conducen a una historicidad en la dinámica estructural de los sistemas materiales. Aún se considera que puede haber algunos cambios reversibles en los sistemas materiales, pero la gran mayoría determinan un desarrollo que introduce el tiempo dentro de la dinámica material. De esta manera, los sistemas materiales son relaciones de relaciones entre elementos materiales que se dan espacial e históricamente. Por último, las relaciones entre componentes o subsistemas generan características en el proceso resultante que no están presentes en los elementos involucrados en las relaciones. A éstas se les llama emer-

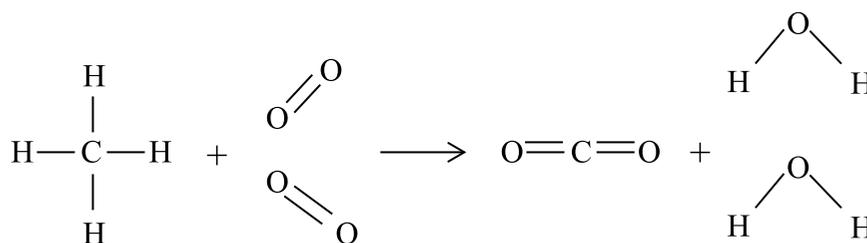


Figura 6. Reacción de combustión del metano. Este sistema consta de cuatro componentes: dos sistemas reactivos (metano y oxígeno), dos sistemas producto (dióxido de carbono y agua) y requiere de unas condiciones de temperatura altas en algún lugar del entorno, como una llama o una chispa (condición de blindaje).

gencias dentro del enfoque sistémico.

## Referencias

1. Afshordi N, y Magueijo J. Critical geometry of a thermal big bang. *Physical Review D*, N.94 (2016):101301(R).
2. Bunge M. Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento. Gedisa. Barcelona. 2004.
3. Cartwright N. Where do laws of nature come from? *Dialectica*, Vol.51(1997):65-78.
4. Castellan GW. *Fisicoquímica*, 2da ed. Adison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (DE), Estados Unidos. 1987.
5. Çengel YA, y Ghajar AJ. *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones*, 4a ed. McGraw-Hill. México, D.F. 2011.
6. Chang R, y College W. *Química*, 7a ed. McGraw-Hill. México, D.F. 2002.
7. De la Reza GA. *Sistemas complejos. Perspectivas de una teoría general*. Anthropos. México. 2010.
8. Dilworth C. General principles. En JJ Boersema y L Reijnders (Eds.), *Principles of environmental sciences*. Springer Science/Business Media B.V. Dordrecht, Países Bajos. pp.:75-83. 2009.
9. Fumerton R. *Epistemology*. Blackwell. Malden (MA), Estados Unidos. 2006.
10. García R. *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa. Barcelona. 2008.
11. Garciandía JA. *Pensar sistémico. Una introducción al pensamiento sistémico*, 2da ed. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 2011.
12. Georgescu-Roegen N. Nicholas Georgescu-Roegen sobre sí mismo. En M Szenberg (Ed.), *Grandes economistas de hoy. El testimonio vivo y la visión del mundo de los grandes economistas de hoy*. Debate. Madrid. pp.:149-186. 1994.
13. Gettys WE, Keller FJ, y Skove MJ. *Física clásica y moderna*. McGraw-Hill. Madrid. 1991.
14. Gomes JCC. Bases epistemológicas da agroecología. En AM de Aquino y RL de Assis (Eds.), *Agroecología. Principios e técnicas para uma agricultura orgánica sustentável*. Embrapa. Brasília, D.F. pp.:71-99. 2005.
15. Gómez LJ. *Introducción a la ecología global*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2002.
16. Guerasimov YA, Dreving V, Eriomin E, Kiseliov A, Lebedev V, Panchev G, y Shliguin A. *Curso de química física I*, 3ra ed. Mir. Moscú.
17. Hawking SW. *Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros*, 16a ed. Grijalbo Mondadoria. Santafé de Bogotá. 1999.
18. Hecht SB. La evolución del pensamiento agroecológico. En MA Altieri (Ed.), *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordand-Comunidad. Montevideo. pp.:15-30. 1999.
19. Izuzquiza I. *La sociedad sin hombres. Niklas Luhmann o la teoría como escándalo*, 2da ed. Anthropos. Barcelona. 2008.
20. Kauffman S. *Investigaciones. Complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*. Tusquets. Barcelona. 2003.
21. Lebowitz JL. Macroscopic laws, microscopic dynamics, time's arrow and Boltzmann's entropy. *Physica A*, Vol.194(1993):1-27.
22. Leopold A. *A sand county almanac and sketches here and there*. Oxford University Press. Nueva York. 1989.
23. Leuchs G, y Sánchez-Soto LL. A sum rule for charged elementary particles. *The European Physical Journal D*, VOL. 67(2013):57.
24. Luhman N. *Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general*, 2da ed. Anthropos. Barcelona. 2011.
25. Maldonado CE. *Complejidad y ciencias sociales. El problema de la medición de los sistemas humanos*. En CE Maldonado (Ed.), *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad*. Universidad Externado de Colombia. Bogotá. pp.:19-66. 2005.
26. Maturana H. *La objetividad: un argumento para obligar*, 2da ed. Dolmen. Santiago de Chile. 2002.
27. Maturana H, y Guillof G. En búsqueda de la inteligencia de la inteligencia. En J Luzoro (Ed.), *Humerto Maturana. Desde la biología a la psicología*. Universitaria. Santiago de Chile. pp.:15-35. 1996.
28. Maturana H, y Varela F. *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*, 6a ed. Universitaria. Santiago de Chile. 2006.
29. Maturana H, y Varela F. *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano*. Lumen. Buenos Aires. 2003.

30. Morin E. El método 3. El conocimiento del conocimiento, 6a ed. Cátedra. Madrid. 2009.
31. Norgaard RB, y Sikor TO. Metodología y práctica de la agroecología. En MA Altieri (Ed.), Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordand-Comunidad. Montevideo. pp.:31-46. 1999.
32. Pollard TD, Earnshaw WC, Lippincott-Schwartz J, y Johnson GT. Cell biology, 3ra ed. Elsevier. Philadelphia (PA), Estados Unidos. 2017.
33. Prigogine I. Las leyes del caos. Crítica. Barcelona. 1999.
34. Rozo J. Sistémica y pensamiento complejo I. Paradigmas, sistemas, complejidad. Biogénesis. Medellín. 2003.
35. Sametband MJ. Entre el orden y el caos. La complejidad, 2da ed. Fondo de Cultura Económica Argentina. Buenos Aires. 1999.
36. Schaeffer, J-M. El fin de la excepción humana. Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires. 2009.
37. Sharma LK, Yadav AK, Sahoo PK, y Singh BK. Non-minimal matter-geometry coupling in Bianchi I space-time. Results in Physics, N.10(2018):738-742.
38. Sobczyk G, y Yarman T. Unification of space-time-matter-energy. Applied and Computational Mathematics, VOL.7(2008):255-568.
39. Von Uexküll J. A stroll through the worlds of animals and men: a picture book of invisible worlds. Semiotica, Vol.89(1992):319-391.