



## SUMA DE NEGOCIOS



### Artículo de revisión

# Principios del pensamiento complejo en la formulación de políticas energéticas sustentables



Rubén Alexander Acevedo Rueda<sup>1</sup>, Carmen Luisa Vásquez Stanescu<sup>2</sup> y Ennodio Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Profesor asistente en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) y Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (Unexpo). Venezuela. (Autor de correspondencia). Correo electrónico: [ruben.a.acevedo@gmail.com](mailto:ruben.a.acevedo@gmail.com), ORCID: 0000-0003-3818-643X.

<sup>2</sup> Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora titular Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Venezuela. Correo electrónico: [cvasquez@unexpo.edu.ve](mailto:cvasquez@unexpo.edu.ve), ORCID: 0000-0002-0657-3470.

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias Matemáticas. Profesor del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Nacional Experimental Politécnica. Venezuela, Correo electrónico: [ennodiotorrescruz@gmail.com](mailto:ennodiotorrescruz@gmail.com), ORCID: 0000-0001-9219-2094.

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 7 de Septiembre de 2019  
Aceptado el 2 de Noviembre de 2019  
Online el 13 de diciembre de 2019

Códigos JEL:  
O13, P48, Q42, D81

**Palabras clave**  
Políticas energéticas,  
sustentabilidad, desarrollo  
sustentable, complejidad,  
pensamiento complejo.

**Keywords:**  
Energy policies, sustainability,  
sustainable development,  
complexity, complex thinking.

#### R E S U M E N

La formulación de políticas energéticas es un proceso natural en cualquier país, que sobrepasa el aspecto económico y adquiere una importancia cada vez mayor, por su repercusión en el bienestar de la sociedad. Con el tiempo se han incorporado variables, especialmente en los conceptos de desarrollo sustentable, que reflejan la importancia de la conservación del ambiente y los recursos naturales. Este trabajo presenta una investigación analítica, con base en una revisión documental, que permite formar una visión de los factores que conforman la complejidad de la formulación de las políticas energéticas y su evaluación, mediante los principios del pensamiento complejo planteados por Édgar Morin, con las variantes propuestas por Torres (2009), destacando su valor como herramienta para la comprensión de este proceso.

#### Complex thinking principles in sustainable energy policy-making

#### A B S T R A C T

Energy policies formulation is a natural process in any country, which exceeds the economic aspect and is of growing importance, because of its impact over the welfare of society. Over time variables have been added, especially within the concepts of sustainable development, reflecting the importance of the environment and natural resources conservation efforts. This paper presents an analytical research, based on a documentary review, which allows forming a view of the factors that make up the complexity of the formulation of energy policies and their evaluation, through the principles of complex thinking proposed by Edgar Morin, with the variants proposed by Torres (2009), highlighting its value as a tool for understanding this process.

## Introducción

El aprovechamiento de los recursos energéticos es un aspecto relevante que, con base en los criterios de sustentabilidad, debe enmarcarse en políticas de estado que permitan un desarrollo armónico y duradero. La formulación de esas políticas reviste una complejidad debido a la amplia gama de variables relacionadas a este proceso. La incertidumbre derivada de la falta de una medida precisa para esa cantidad de variables y claridad, en cuanto a su incidencia sobre el proceso, motiva la consideración del uso de métodos de análisis de sistemas complejos, para apoyar en la toma de decisiones para este fin.

En este trabajo se presenta un análisis documental que parte de la definición de los conceptos y aspectos económicos que rodean al desarrollo sustentable, posteriormente se expone la complejidad y problemática de la formulación de políticas energéticas, la incertidumbre que afecta ese proceso y, finalmente, la aplicación de los principios del pensamiento complejo de Édgar Morin (Torres, 2009), como una herramienta para su mejor comprensión.

## Metodología

El trabajo desarrolla una investigación analítica (Hurtao, 2010) que tiene como objeto: i) identificar las dimensiones del desarrollo sustentable, ii) analizar las particularidades de la formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable y iii) aplicar los principios del pensamiento complejo a este proceso.

Para cumplir estos objetivos, el trabajo se desarrolla en las tres secciones subsiguientes, que comprenden: i) revisión documental de definiciones de sustentabilidad, desarrollo sustentable, sustentabilidad energética y los indicadores de sustentabilidad propuestos por la Sustainable Society Foundation (2017), ii) análisis del proceso de formulación de políticas energéticas, caracterización de las metodologías utilizadas y los indicadores recomendados por el Consejo Mundial de Energía en su metodología del trilema energético (WEC, 2019) para alcanzar la sustentabilidad energética y iii) revisión documental de conceptos de complejidad y sistemas complejos, finalizando con la aplicación de los principios del pensamiento complejo, con las variantes propuestas por Torres (2009), a la dinámica del proceso de formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable.

## El desarrollo y la sustentabilidad energética

La principal referencia para el concepto actual de sustentabilidad y desarrollo sustentable se ubica en 1987, cuando la ONU (Brundtland, 1987) la define como “satisfacer las necesidades de esta generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades”. Previamente, en 1980, “La Estrategia Mundial de Conservación”, aporta un enfoque ecológico, al esbozar tres objetivos considerados necesarios para la conservación de

los recursos vivos: el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas que dan sostén a la vida, la preservación de la diversidad genética y el aprovechamiento sustentable de las especies y los ecosistemas.

Desde entonces, la sustentabilidad se ha definido como el mantenimiento en el tiempo de los beneficios, para lo cual se incluyen diferentes visiones, que consideran de forma general, el respeto al medioambiente, la cultura y la justicia social. En sus diferentes enfoques se confluye al concepto de la ONU en la garantía del bienestar sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras. Daly (2008), por ejemplo, amplía el concepto, agregando que la capacidad del ecosistema debe mantener el flujo físico de las fuentes naturales, a través de la economía y de vuelta a los sumideros naturales.

Goodland (2002) identifica cuatro tipos de sustentabilidad: humana, social, económica y ambiental. La sustentabilidad humana se refiere al mantenimiento del capital humano: salud, educación, habilidades y conocimientos, liderazgo y acceso a servicios básicos. La social se refiere al capital social, que son las inversiones que se realizan para crear y mantener las bases de la sociedad: cohesión, beneficio mutuo, participación civil, reciprocidad, tolerancia, compasión, paciencia, entre otros. La económica contempla el mantenimiento del capital en el tiempo. Finalmente, la ambiental se refiere a la mejora del bienestar de los seres humanos, a través de la conservación de los recursos naturales, así como la seguridad de que los desechos no excedan la capacidad de reciclaje, para evitar los daños a la salud de las personas.

En el caso venezolano, la Ley Orgánica del Ambiente (2006) define *desarrollo sustentable* como un

Proceso de cambio continuo y equitativo para lograr el máximo bienestar social, mediante el cual se procura el desarrollo integral, con fundamento en medidas apropiadas para la conservación de los recursos naturales y el equilibrio ecológico, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las generaciones futuras (art. 3).

Con base en los conceptos anteriores se caracterizan las dimensiones del desarrollo sustentable (véase figura 1) y su mutua dependencia, incorporando un componente político-institucional, como elemento necesario para garantizar el cumplimiento de las iniciativas en cada una de ellas.

- **Dimensión económica:** al considerar el máximo bienestar y la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales y futuras, la dimensión económica se establece como un eje fundamental en el concepto de desarrollo sustentable.
- **Dimensión humana/social:** atendiendo al concepto, el bienestar social, que en algunos casos se encuentra contemplado como *calidad de vida*, se refiere a cubrir no solo las necesidades de consumo, sino también aquellas propias de los seres humanos en su condición de parte activa dentro de una sociedad. Por tanto, aspectos como la justicia y equidad social, en cuanto a las libertades de acceso a los bienes y servicios, sin restricciones más allá de las necesarias para garantizar el mismo derecho a las demás personas, el respeto a la identidad cultural, la educación y la participación en los procesos sociales, se consideran parte del concepto.

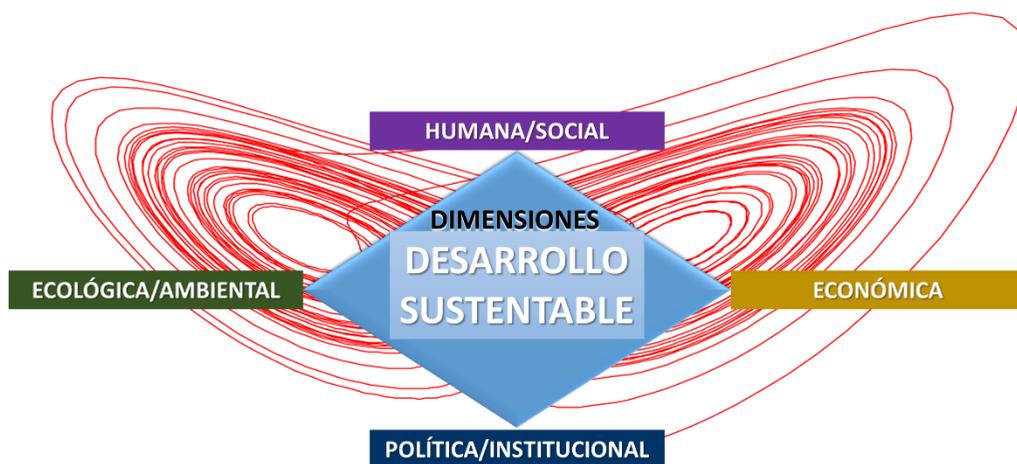


Figura 1. Dimensiones del concepto de desarrollo sostenible.  
Fuente: elaboración propia.

- **Dimensión ecológica/ambiental:** los procesos productivos se han caracterizado por el uso de los recursos naturales. Incluso, al considerar modelos que asumen los recursos naturales como una constante, sin evaluar su agotamiento, no puede dejar de reconocerse el impacto que, sobre la salud y habitabilidad de la tierra, llega a representar la explotación indiscriminada de los mismos. Un modelo sustentable, debe garantizar el uso y explotación eficiente de los recursos naturales y su disponibilidad para las generaciones futuras.
- **Dimensión política/institucional:** se entiende como la existencia de instituciones sólidas, dentro de un marco político y jurídico que garantice los derechos y su estabilidad, el cumplimiento de las políticas y normas del Estado, evitando desviaciones como la corrupción y la aplicación selectiva de las leyes, que atentan contra la sustentabilidad de los avances en las demás dimensiones.

Dentro del concepto de desarrollo sostenible, Oxilia y Blanco (2016) definen la energía sustentable como:

La provisión de servicios de energía asequibles, accesibles y confiables que satisfagan las necesidades económicas, sociales, con atención a los aspectos ambientales... implica siempre un contexto amplio, que abarca la dotación de recursos, la infraestructura energética existente y las necesidades de desarrollo.

De acuerdo con el Consejo Mundial de Energía (WEC, 2019), conformado por 93 países miembros, la sostenibilidad energética se encuentra definida en tres dimensiones:

- Seguridad energética. Refleja la capacidad de una nación para satisfacer la demanda de energía actual y futura de manera confiable, resistir y recuperarse rápidamente de las perturbaciones del sistema con una interrupción mínima de los suministros.
- Equidad social. Evalúa la capacidad de un país para proporcionar acceso universal a energía asequible, justa y abundante para uso doméstico y comercial.
- Sustentabilidad ambiental de los sistemas energéticos. Representa la transición del sistema energético de un país para mitigar y evitar posibles daños al medioambiente y los impactos del cambio climático.

A estas dimensiones se incorpora el contexto país, que consiste en elementos que permiten a los países desarrollar e implementar efectivamente políticas energéticas y alcanzar objetivos energéticos.

Uno de los problemas que presenta el concepto de desarrollo sostenible es la medición del cumplimiento de sus dimensiones, tema que ha sido objeto de numerosos estudios y propuestas, como la que plantea Bluszcz (2016). Este autor señala que la multidimensionalidad del desarrollo sostenible dificulta la medición precisa e integral de sus componentes social, económico y ambiental, por lo que se hace necesario el uso de indicadores compuestos (también llamados “sintéticos”), que permiten la agregación de indicadores individuales con diferentes unidades de medida e incluso de carácter cualitativo.

La Fundación Sociedad Sustentable (Sustainable Society Foundation, 2017) presenta el Índice de Sociedad Sustentable, con indicadores clasificados en las tres dimensiones (humana/social, ecológica/ambiental y económica) y, dentro de estas, agrupados a su vez por categoría: necesidades básicas, desarrollo personal y salud, equidad social, recursos naturales, clima y energía, transición y economía, como se describe en mayor detalle en la tabla 1.

Szopik-Depczyńska et al. (2018) señalan que las iniciativas de innovación en el marco de los indicadores de sustentabilidad, presentados en la agenda 2030 de la ONU, han motivado a las empresas a realizar inversiones en nuevas tecnologías o modernización de los activos existentes, lo que podría resultar en la disminución del gasto energético y el uso de recursos naturales no renovables.

Los responsables de formulación de políticas energéticas se ven obligados a colaborar mutuamente con sus colegas de otras áreas y se establecen estructuras gubernamentales para activar y mantener esa coordinación (Nerini et al., 2018).

## Formulación de políticas energéticas

El acceso a la energía se ha posicionado como uno de los principales retos en el desarrollo, para la erradicación de la pobreza y la transformación social y económica (Mulugetta, Hagan & Kammen, 2018). La problemática presente en el

**Tabla 1 - Indicadores utilizados para determinar el SSI.**

Ítem	Dimensión	Categoría	Nombre	Medida	Fuente
1		Necesidades básicas	Suficiente alimento	Número de personas subnutridas en porcentaje de la población total	FAO FSI
2			Suficiente para beber	Número de personas en porcentaje de la población total, con acceso sostenible a una fuente de agua mejorada	FAO FSI
3			Saneamiento seguro	Número de personas en porcentaje de la población total, con acceso sostenible a saneamiento mejorado	FAO FSI
4	HUMANA / SOCIAL	Desarrollo personal y salud	Educación	Tasa bruta de matriculación en educación primaria, secundaria y terciaria (combinada)	Unesco
5			Vida saludable	Esperanza de vida al nacer en número de años de vida saludables	WHO HALE
6			Igualdad de género	Índice de brecha de género	WEF
7		Equidad social	Distribución del ingreso	Diferencia de ingresos del 10% más rico al 10% más pobre de un país	WB
8			Crecimiento de la población	Cambio del tamaño total de la población en cinco años (porcentaje de la población total)	WB
9			Buen gobierno	Suma de los seis indicadores mundiales de gobernanza	WB
10A	ECOLÓGICA / AMBIENTAL	Recursos naturales	Biodiversidad - Área de bosques	Cambio del área forestal en diez años	Protected Planet
10B			Biodiversidad - Área protegida	Tamaño de la superficie protegida (en porcentaje de la superficie total)	Protected Planet
11			Recursos hídricos renovables	Aprovechamiento anual de agua (metro cúbico per cápita) en porcentaje de recursos hídricos renovables	FAO Aquastat
12		Consumo	Huella ecológica menos huella de carbono	GFN	
13		Clima y energía	Energía usada	Consumo de energía (toneladas de petróleo equivalente per cápita)	IEA
14			Ahorros de energía	Cambio en el uso de energía durante cuatro años (porcentaje)	IEA
15	Gases de invernadero		Emisiones de CO <sub>2</sub> por persona y año	IEA	
16		Energía renovable	Consumo de energía renovable en porcentaje del consumo total de energía	IEA	
17	ECONÓMICA	Transición	Agricultura ecológica	Área de agricultura ecológica en porcentaje de la superficie agrícola total de un país	FiBL
18			Ahorros reales	Ahorros reales (ahorros netos ajustados) en porcentaje del ingreso nacional bruto (INB)	WB
19		Economía	PIB	Producto interno bruto per cápita, PPP, en \$ internacionales actuales	IMF
20	Empleo		Número de desempleados en porcentaje de la población activa total	WB	
21	Deuda pública		Nivel de deuda pública de un país en porcentaje del PIB	IMF	

Fuente: elaboración propia. Información de Sustainable Society Foundation (2017).

aprovechamiento de los recursos energéticos puede encontrarse reflejada en la eficiencia y el crecimiento de la demanda eléctrica, señalada por Acevedo (2013), con base en los indicadores del Banco Mundial y la Agencia de Información de Energía (EIA, por sus siglas en inglés), que reflejan pérdidas por encima de 30% en el caso venezolano, dato que se confirma en la Memoria y Cuenta del Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (Acevedo, 2013).

Oxilia y Blanco (2016) definen la política energética como un “conjunto de disposiciones y lineamientos estratégicos consensuados y asumidos por una autoridad gubernamental competente, dirigidos a enfrentar situaciones públicas y a satisfacer requerimientos sociales relacionados con el sector de la energía”. Los autores plantean un enfoque sistémico del sector energía, considerando no solo la cadena energética oferta-uso final, sino también la complejidad de sus relaciones con el medioambiente, necesidades de infraestructura,

participación y desarrollo de las ciencias y tecnología, intervención del recurso humano y el marco institucional que rige estas relaciones. En la figura 2 se esquematiza este concepto.

Franco (1996) identifica las deficiencias de las metodologías clásicas para la formulación de políticas energéticas, en una lista que básicamente señala la visión simplificada del problema, la linealización del comportamiento y otras condiciones que limitan la evaluación de la formulación de las políticas energéticas en toda su complejidad. Para solucionar esto, aplica la teoría de sistemas y la dinámica de sistemas bajo un modelo desagregado, que permite evaluar la formulación de políticas de ahorro energético. Kat (2011) y Del Granado, Van Nieuwkoop, Kardakos y Schaffner (2018) en más recientes y extensas revisiones bibliográficas, caracterizan los modelos energéticos en una detallada clasificación, con base en distintos criterios. Los modelos analizados por Franco (1996) se encuentran entre estos como metodologías vigentes y en uso. El autor resalta como la más utilizada, la clasificación que se realiza de acuerdo con el enfoque analítico:

- Modelos verticales ascendentes (Bottom-Up, denominación en inglés): reflejan una visión de ingeniería, con un trato detallado de las tecnologías para la producción de energía, con objeto de seleccionar, aplicando programación lineal o programación no lineal, el escenario de acciones que cubran la demanda esperada al menor costo, considerando restricciones técnicas. Explica que generalmente estos modelos “carecen de interacciones con el resto de la economía”.

- Modelos verticales descendentes (Top-Down, denominación en inglés): consideran un sistema de variables macroeconómicas agregadas, con parámetros calculados con herramientas econométricas de data histórica o calibración. Pueden ser modelos macroeconómicos o de equilibrio general calculable (CGE, por sus siglas en inglés). Destaca que han sido criticados por carecer de detalles del sector energético y opciones tecnológicas actuales y futuras.
- Modelos híbridos: combinan las dos perspectivas anteriores y se identifican en las tendencias más recientes en los modelos de energía, donde se integran los detalles del sector energético de los modelos Bottom-Up y las bases macroeconómicas de los modelos Top-Down (Del Granado, et al., 2018). Kat (2011) desarrolla un modelo con este enfoque híbrido integrando ambos aspectos en un problema de optimización.

Los indicadores de la sustentabilidad energética han sido abordados por el Consejo Mundial de Energía (WEC, 2019), que presenta una comparación del desempeño de 128 países en el campo energético y la sustentabilidad, aplicando una metodología denominada “trilema energético”, que evalúa 32 indicadores en cada una de las dimensiones de la sustentabilidad energética, descritas en la sección anterior, como se presenta en la tabla 2. El trilema energético se presenta también como una herramienta de apoyo a la formulación de políticas energéticas.

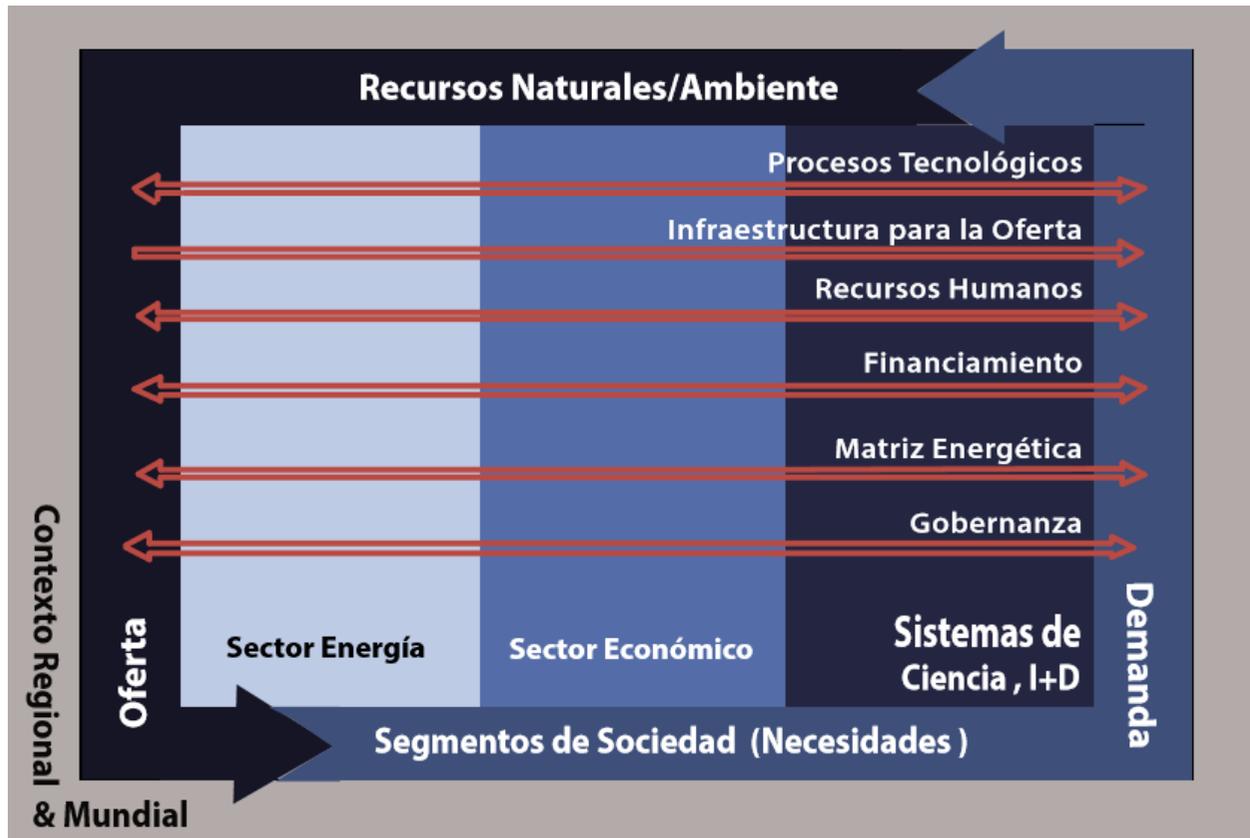


Figura 2. Esquema conceptual del enfoque sistémico del sector energético.

Fuente: Oxilia y Blanco (2016).

Tabla 2 - Indicadores del trilema energético.

DIMENSIÓN	CATEGORÍA DEL INDICADOR			INDICADOR				
<b>Seguridad Energética</b>  	A1	Seguridad del Suministro y Demanda de Energía	12%	a	Diversidad de suministro de energía primaria	6%		
				b	Dependencia de las importaciones	6%		
	30%	A2	Resiliencia de los sistemas energéticos	18%	a	Diversidad de la generación de electricidad	6%	
					b	Almacenamiento de energía	6%	
					c	Estabilidad y capacidad de recuperación del sistema	6%	
<b>Equidad Energética</b>  	B1	Acceso a la Energía	12%	a	Acceso a la electricidad	6%		
				b	Acceso a tecnología no contaminante para cocinar	6%		
	30%	B2	Acceso a Energía de Calidad	6%	a	Acceso a energía moderna	6%	
					B3	Asequibilidad	12%	a
					b	Precios de gasolina y diesel	3%	
					c	Precios de gas natural	3%	
					d	Asequibilidad de la electricidad para residentes	3%	
	<b>Sustentabilidad Ambiental de los Sistemas Energéticos</b>  	C1	Productividad de los Recursos Energéticos	9%	a	Intensidad final de la energía	5%	
b					Eficiencia en la generación, transmisión y distribución de potencia	4%		
30%		C2	Descarbonización	9%	a	Generación de electricidad baja en carbón	5%	
					b	Tendencia de emisiones GHG	4%	
C3		Emisiones y Polución	12%	a	Intensidad de CO2	2%		
				b	Emisiones de CO2 per cápita	1%		
				c	Emisiones de CH4 per cápita	1%		
				d	Exposición anual promedio PM2.5	4%		
				e	Exposición anual promedio PM10	4%		
D1		Ambiente macroeconómico	2%	a	Estabilidad Macroeconómica	2%		
D2		Gobierno	4%	a	Efectividad del gobierno	1%		
				b	Estabilidad política	1%		
				c	Estado de derecho	1%		
				d	Calidad regulatoria	1%		
	D3			Estabilidad de la inversión e Innovación	4%	a	Entradas netas de inversión extranjera directa	1%
						b	Facilidad de hacer negocios	1%
Contexto País	10%			c	Percepción de la corrupción	0,50%		
				d	Eficiencia del marco legal en impugnaciones a las regulaciones	0,50%		
				e	Protección de la propiedad intelectual	0,50%		
				f	Capacidad de innovación	0,50%		

Fuente: WEC (2019).

## Complejidad. Principios del pensamiento complejo

La idea de que algunos sistemas físicos pueden ser complicados y sensibles a pequeñas variaciones en las condiciones iniciales, haciendo imposibles las predicciones, no era aceptada entre los científicos que mantenían la opinión de que la ciencia podía explicarlo todo, hasta 1908 cuando Poincaré expuso claramente la dependencia a las condiciones iniciales: “una décima de grado menor o mayor en cualquier punto dado, y el ciclón se desencadenará acá y no allá, y devastará distritos que de otro modo no hubieran sido afectados” (Ghys, 2015, p. 25).

La complejidad ha sido objeto de estudio desde entonces y con diferentes enfoques se ha buscado dar respuesta al comportamiento de los sistemas que tienen esta condición. Mitchell (2009) define el estudio de los sistemas complejos, como un “campo de investigación interdisciplinaria que busca explicar cómo se organizan grandes números de

entidades relativamente simples, sin un control centralizado, en un todo colectivo, que crea patrones, usa información y, en algunos casos, evoluciona y aprende” (p. 4). Además, Torres (2009) conceptualiza la complejidad de la siguiente manera:

... decimos que lo complejo es un entrelazado muy fino de eventos, estados, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones, azares. Para la inteligibilidad de un fenómeno complejo pueden ser necesarias ciertas operaciones intelectuales, como reducir la ambigüedad, simplificar, rechazar el desorden, desenredar, descartar lo incierto, clarificar, etc., pero la realización de algunas de ellas podría producir ceguera de conocimiento del fenómeno en consideración, cuando tales operaciones eliminan elementos característicos de lo complejo (p. 17).

De las definiciones anteriores, se identifican algunas características de los sistemas complejos: son sistemas multivariables, sin un control centralizado, con interrelaciones

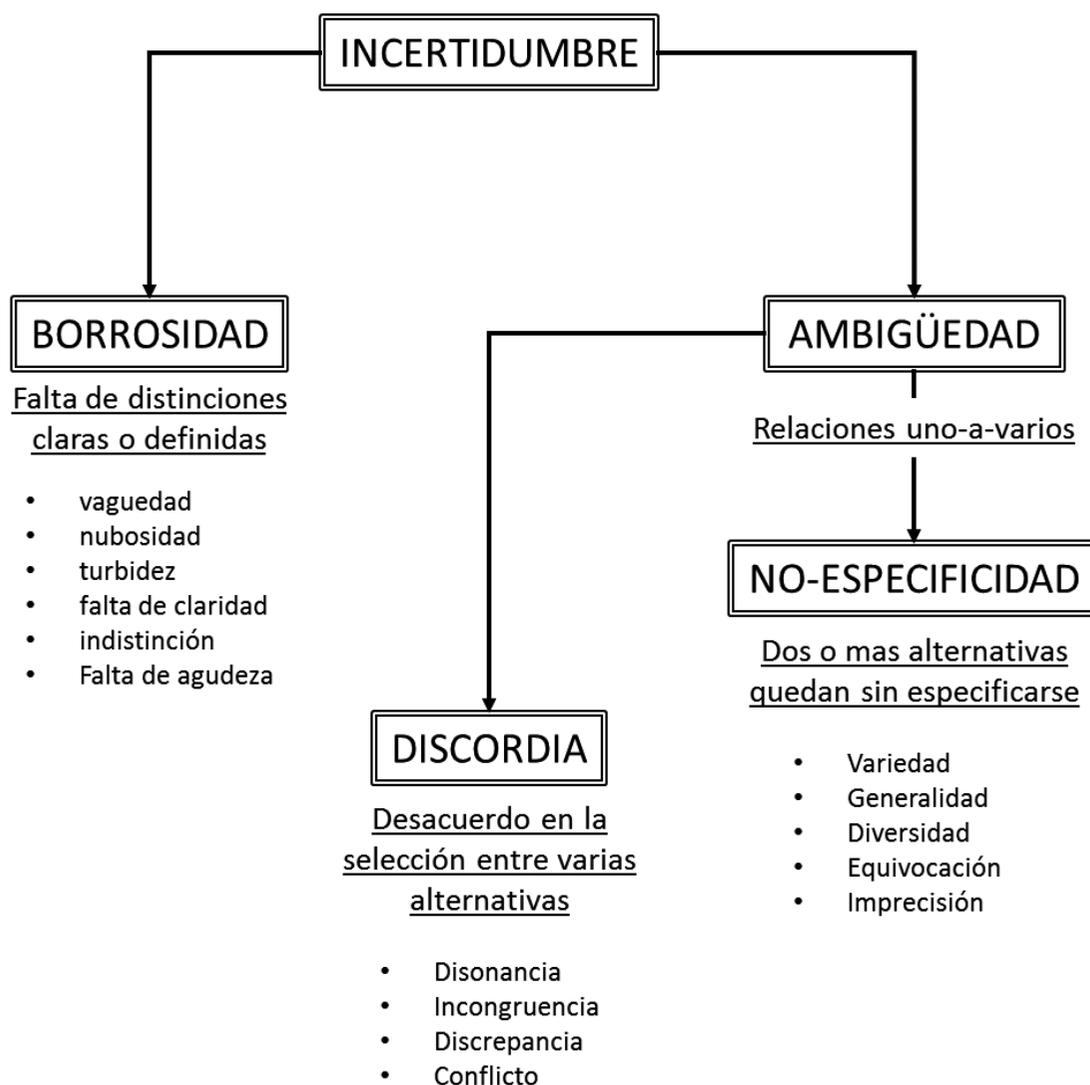


Figura 3. Tipos básicos de incertidumbre.

Fuente: Klir y Yuan (1995).

entre sus variables, que pueden producir resultados diferentes en función de las condiciones iniciales, lo que se refleja en un grado de incertidumbre que debe abordarse de manera interdisciplinaria, para lograr un cierto grado de comprensión de su naturaleza.

En particular, sobre este último aspecto, Klir y Yuan (1995) señalan que cinco teorías de conjuntos reconocen tres tipos de incertidumbre reconocidos: la no especificidad (imprecisión), que se relaciona con la cardinalidad de los conjuntos relevantes de alternativas; la borrosidad (vaguedad), que resulta de las imprecisiones en las fronteras de los conjuntos borrosos, y el conflicto (discordia), que expresa los conflictos entre varios conjuntos de alternativas. La figura 3 sintetiza esta clasificación.

Con la evolución del conocimiento, las herramientas sistémicas, informáticas y computacionales han permitido la exploración de nuevos niveles de análisis en el universo circundante. De esta forma, las aproximaciones lineales, simplicistas, de los sistemas y procesos, han dado paso a la presentación de modelos multivariantes, complejos y variantes en el tiempo, dando paso a una nueva dimensión no integrable conocida como "dimensión fractal", que forma parte de los descriptores del universo complejo.

Como toda toma de decisiones, la formulación de políticas energéticas debe manejar niveles de incertidumbre propios de la complejidad intrínseca en ese proceso. La aplicación de métodos de la ciencia de la complejidad en el estudio de los sistemas energéticos se analiza en Bale, Varga y Foxon (2015), destacando las ventajas que ofrece el enfoque de sistemas complejos sobre los tradicionales modelos económicos. Los autores analizan la aplicación a los sistemas energéticos, de las características de los sistemas complejos: agentes, redes, dinámica, autoorganización, dependencia de ruta, coevolución, aprendizaje y adaptación.

Köhler et al. (2018) analizan las metodologías utilizadas para el modelamiento de la transición hacia la sustentabilidad, destacando, en el caso de los modelos basados en sistemas complejos, la capacidad para representar comportamientos no lineales e incorporar incertidumbre y contingencias. Eppel y Rhodes (2018) señalan que la contribución de la teoría de la complejidad a la comprensión de lo impredecible y cambiante del comportamiento humano, ha marcado su relevancia en el estudio de políticas públicas y la gestión pública.

Dagoumas y Koltsaklis (2019), sobre los modelos alternativos de planificación de expansión en generación, incorporando fuentes de energía alternativa, destacan su enfoque simplificado, pero más realista de los sistemas de potencia, al considerar variables probabilísticas y múltiples criterios que no se incluyen en los modelos de optimización tradicionales.

Édgar Morin (Anselmo, 2018; Briceño & Ribas, 2012; Osorio, 2012; 2011; Torres, 2009), uno de los principales referentes en el estudio de la complejidad, plantea en sus obras los principios del pensamiento complejo: organizativo o sistémico, reintroducción, retroalimentación, recursividad organizacional, autonomía/dependencia, dialógico y hologramático, a los que Torres (2009) propone los cambios de nombre de "sujeto/objeto" en lugar de "reintroducción" y "holográfico"

en lugar de "hologramático", e incorporando los principios: borroso, estrategia situacional, incertidumbre y caórdico.

El pensamiento complejo se presenta como un proceso de pensamiento organizado, que abordan las características y propiedades complejas de los sistemas, que promueve la conceptualización en términos que permiten a los investigadores una comprensión más profunda y la planificación de acciones para estrategias de investigación o intervención (Teixeira et al., 2019).

Con base en las variantes presentadas por Torres (2009) a los principios del pensamiento complejo de Édgar Morin, en el presente trabajo se analiza la dinámica del proceso de formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable, para estudiarla desde la perspectiva de la complejidad. Para ello se consideran las dimensiones del desarrollo sustentable, explicadas anteriormente: económica, humana/social, ecológica/ambiental y política/institucional.

### Principio sujeto/objeto

Corresponde al principio de reintroducción, que postula que todo conocimiento es una reconstrucción del sujeto enmarcada por el entorno o marco situacional (cultura, espacio, tiempo) y, por tanto, se admite la existencia de una diversidad de dominios explicativos. En la formulación de políticas energéticas interviene una diversidad de sujetos con marcos situacionales diferentes, correspondientes a las dimensiones económica, humana/social, ecológica/ambiental y política/institucional.

La perspectiva de los sujetos en las dimensiones del desarrollo sustentable, se encuentra enmarcada en su entorno, estableciendo preferencias y prioridades que pueden diferir notablemente entre sí (eje.: modelos predominantemente económicos, restricciones ambientales, criterios de inversión social), lo que representa la diversidad de dominios explicativos que constituyen este principio.

### Principio sistémico

La relación, interacción o interconexión de las partes de un todo materializa propiedades o productos que superan aquellos que se derivan de ellas de manera aislada. Los elementos que componen las dimensiones del desarrollo sustentable interactúan en distintos ámbitos, con efectos resultantes de relaciones que individual y aisladamente no podrían entenderse.

El proceso en estudio, formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable, está compuesto por procesos físicos (eje.: producción y distribución de energía, evolución del ecosistema), económicos (eje.: dinámica económica de costos, precios y demanda) y sociales (eje.: preferencia de los consumidores, percepción y respuesta al bienestar y calidad de vida), determinísticos (eje.: producción de energía) y estocásticos (eje.: evolución de la demanda energética), que en conjunto conforman el todo. Cada uno de estos procesos, estudiados de manera individual, presentan características propias, pero al integrarse en un sistema, materializan relaciones y propiedades que no podrían apreciarse aisladamente, como los cambios en las preferencias

de los consumidores debido a la disponibilidad de fuentes de energía o el aumento o disminución de la demanda en función de la percepción de la calidad de vida.

### **Principio de retroalimentación**

La causalidad circular retroactiva rompe con el principio de causalidad lineal. Reconoce la mutua interacción entre causa y efecto: el efecto actúa sobre la causa y la causa sobre el efecto. La formulación de políticas energéticas no es un proceso de un solo instante de tiempo, sino un proceso continuo que se ajusta a la realidad del momento y los escenarios analizados; los resultados de las decisiones que configuran esa realidad, se convierten así en una causa inicial o entrada del proceso.

### **Principio de autonomía/dependencia**

Este principio alude a los sistemas normativamente cerrados (autónomos) pero estructuralmente abiertos (autoorganizados en función del entorno o ecosistema). El pensamiento complejo no debe aislar el objeto de estudio, sino enmarcarlo en su entorno, que incide en su organización interna. Los sistemas energéticos cambian estructuralmente con su entorno, los cambios demográficos, políticos o tecnológicos; por ejemplo, moldean la autonomía normativa del proceso en estudio (eficiencia energética, uso de las fuentes primarias de energía, contaminación ambiental, entre otros).

### **Principio de recursividad**

Este principio se cumple cuando existe un bucle recursivo/generador, en el que los efectos son resultado y, a la vez, productores de otros efectos, incluyendo aquellos que los produjeron. Los sujetos que interactúan en el proceso en estudio se encuentran influenciados entre sí, las decisiones económicas, políticas e institucionales, resultan en efectos sobre las dimensiones ecológica y social, que a su vez producen efectos sobre las mismas dimensiones que incidieron sobre estos. Las decisiones políticas y económicas pueden generar cambios en los patrones de consumo energético, que resultarán en efectos que inciden sobre las futuras decisiones en estas dimensiones y sus resultados.

### **Principio holográfico**

Las partes de un organismo o sistema tienen el todo inscrito y contenido en cada una de ellas, pero la suma de las partes no es la totalidad. El conocimiento del sistema puede aproximarse a las partes, pero el pensamiento complejo no admite simplificaciones de esa magnitud; por lo que el estudio y conocimiento del sistema debe integrar las partes, el todo y el entorno, mediante la inducción y deducción, métodos preferidos en las investigaciones científicas de la era moderna, incorporando la sensación, introspección y la intuición, reconociendo la imposibilidad de conocer el todo.

Cada una de las dimensiones del desarrollo sustentable presenta características dinámicas que reflejan el

funcionamiento del todo: demanda/necesidad, análisis, decisión, oferta/acción, resultado, retroalimentación. Al analizar en conjunto emergen en estas dinámicas relaciones que, de manera aislada, solo pueden razonarse mediante la sensación, introspección y la intuición. De igual forma, al considerar el proceso como un todo, su complejidad reconoce relaciones con el entorno para las que ese razonamiento debe aplicarse para no caer en simplificaciones.

### **Principio de incertidumbre**

En complemento a la visión de escenarios deterministas, el principio de incertidumbre incorpora la probabilidad de ocurrencia de resultados no esperados, por acciones o conductas resultantes de un acto de inteligencia. Resulta imposible predecir con exactitud el resultado de las decisiones sobre el aprovechamiento de las reservas energéticas, solo con base en el conocimiento de patrones individuales de consumo o series económicas, porque la multiplicidad de relaciones no lineales con otras variables, como la evolución tecnológica, economía global, cambios ambientales, introducen factores que exceden la capacidad de análisis determinístico.

### **Principio borroso**

Con base en la lógica borrosa y el trabajo, principalmente, de Lofti Zadeh, el pensamiento borroso rompe el paradigma del razonamiento binario, reconociendo la existencia de grados de pertenencia, que permiten analizar los problemas con una mayor aproximación de la realidad. Las decisiones en el proceso en estudio, no admiten una lógica binaria. El análisis, considerando la diversidad de dominios explicativos y la incertidumbre en el proceso, requiere de herramientas que permitan un tratamiento adecuado a estas características.

### **Principio de estrategia situacional**

La estrategia situacional reconoce los niveles de incertidumbre en la formulación de acciones para el logro de los objetivos, explorando los futuros probable, posible y deseable, para fundamentar las decisiones en el presente, estableciendo planes de contingencia para atender eventuales desviaciones no esperadas o potenciales errores. Conjugando los principios de incertidumbre y borroso, la estrategia situacional se presenta como herramienta apropiada para el tratamiento del problema del proceso en estudio. Al no poder conocer con precisión el escenario futuro, los resultados de las acciones (incertidumbre, borrosidad) y la incidencia de factores externos sobre la estructura del proceso (autonomía/dependencia), puede conformarse una diversidad de escenarios, probables, posibles y deseables, para tomar las decisiones y establecer planes de contingencia, evaluando la evolución del sistema (recursividad) para ajustar las acciones o activar las contingencias (retroalimentación).

### **Principio caórdico**

El término caórdico, una unión entre caos y orden, fue utilizado por Dee Hock, fundador de VISA, para describir a las organizaciones o sistemas autoorganizados, autonormados,

adaptativos, no lineales, que funcionan en una conjunción de caos y orden. Bajo esta característica, la emergencia de nuevos atractores y la bifurcación de un atractor a otro, permite la creación de un nuevo orden en el sistema y, por ende, su transformación, evitando así el potencial colapso que representa una condición de equilibrio sostenido durante intervalos largos de tiempo.

Las políticas energéticas, en el marco de las dimensiones del desarrollo sustentable, se conforman como un sistema multivariable, de relaciones no lineales, con alto grado de incertidumbre y dependencia sensible a las amenazas o las oportunidades derivadas de los cambios en su entorno de inter-retro-acción. Con estas características dinámicas, una condición de equilibrio permanente resulta una desviación del comportamiento adaptativo esperado, que solo puede derivar en el colapso del sistema. La identificación de nuevos atractores y la bifurcación a un nuevo orden normativo, derivado de la adaptación a las condiciones cambiantes del entorno, se presenta como la dinámica deseable para la subsistencia del sistema.

En la tabla 3 se resume el análisis de la dinámica del proceso de formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable, desde la perspectiva de la complejidad, con base en los principios del pensamiento complejo.

## Conclusiones

En este trabajo se analiza el concepto de desarrollo sustentable considerando los elementos comunes que presentan diferentes autores, respecto a la definición presentada por la ONU (Brundtland, 1987) y los indicadores de sustentabilidad propuestos por la Sustainable Society Foundation (2017). Se presentan los conceptos de sustentabilidad energética, en particular el propuesto por el Consejo Mundial de Energía y los indicadores recomendados en su metodología del trilema energético (WEC, 2019).

Las metodologías empleadas en la formulación de políticas energéticas se han caracterizado en tres modelos: Top-Down, Bottom-Up y modelos híbridos, que ofrecen herramientas de optimización, orientadas a la toma de decisiones en esta materia. El trilema energético, en este sentido, es una herramienta que permite evaluar el desempeño de los países en materia de sustentabilidad energética.

La revisión documental y la aplicación de los principios del pensamiento complejo presentada en este trabajo, permite formar una visión del proceso de formulación de políticas energéticas en el marco del desarrollo sustentable, en cuanto a su dinámica, la interrelación de sus elementos y la necesidad de abordar con un enfoque interdisciplinario la toma de decisiones en esta materia.

## REFERENCIAS

- Acevedo, R. (2013). Análisis de la criticidad de los sistemas de distribución como parte fundamental en la prestación del servicio eléctrico. *Interciencia*, 38(7), 535-541.
- Anselmo, A. (2018). Édgar Morin: From vicious circles to virtuous circles. *World Futures*, 74(2), 68-83.
- Bale, C. S., Varga, L., & Foxon, T. J. (2015). Energy and complexity: New ways forward. *Applied Energy*, 138, 150-159.
- Bluszcz, A. (2016). A comparative analysis of selected synthetic indicators of sustainability. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 220, 40-50.
- Briceño, J., & Ribas, Y. (2012). La realidad que envuelve el ser desde la perspectiva del pensamiento complejo. *Educere*, 16(55), 267-271.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on environment and development: "Our common future"*. United Nations.
- Dagoumas, A. S., & Koltsaklis, N. E. (2019). Review of models for integrating renewable energy in the generation expansion planning. *Applied Energy*, 242, 1573-1587.
- Daly, H. (2008). Desarrollo sustentable. Definiciones, principios, políticas. *Aportes*, 7, 7-22.
- Del Granado, P. C., van Nieuwkoop, R. H., Kardakos, E. G., & Schaffner, C. (2018). Modelling the energy transition: A nexus of energy system and economic models. *Energy Strategy Reviews*, 20, 229-235.
- Eppel, E. A., & Rhodes, M. L. (2018). Complexity theory and public management: A 'becoming' field. *Public Management Review*, 20(7), 949-959. DOI: 10.1080/14719037.2017.1364414.
- Franco, C. J. (1996). *Un modelo nacional desagregado para la formulación de políticas para el uso racional de energía*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ghys, É. (2015). The butterfly effect. In *The Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 19-39). Cham: Springer.
- Goodland, R. (2002). Sustainability: Human, social, economic and environmental. *Encyclopedia of Global Environmental Change*, 5, 481-491.
- Hurtado, J. (2010). *Metodología de la investigación: guía para la comprensión holística de la ciencia*. Venezuela: Quirón Ediciones.
- Kat, B. O. R. A. (2011). *Mathematical modeling for energy policy analysis*. Middle East Technical University.
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.
- Köhler, J., De Haan, F., Holtz, G., Kubeczko, K., Moallemi, E., Papachristos, G., & Chappin, E. (2018). Modelling sustainability transitions: An assessment of approaches and challenges. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21(1).
- Ley Orgánica del Ambiente. (2006). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela 5833.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.
- Mulugetta, Y., Hagan, E. B., & Kammen, D. M. (2018). Energy access for sustainable development. *Environmental Research Letters*.
- Nerini, F. F., Tomei, J., To, L. S., Bisaga, I., Parikh, P., Black, M., Borrión, A., Sparatu, C., Broto, V. C., Anandarajah, G., Milligan, B., & Mulugetta, Y. (2018). Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals. *Nature Energy*, 3(1), 10-15.
- Osorio G., S. (2011). El pensamiento complejo y la transdisciplinariedad: fenómenos emergentes de una nueva racionalidad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 20(1), 269-291.
- Oxilia, V., & Blanco, G. (2016). *Política energética. Guía práctica*. Documento preparado para OLADE, Quito. Recuperado de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0358.pdf>.
- Sustainable Society Foundation. (2017). Indicator description. *Sustainable Society Index - your compass to sustainability*. Recuperado de <http://www.ssindex.com/ssi/indicator-description/>.
- Szopik-Depczyńska, K., Kędzierska-Szczepaniak, A., Szczepaniak, K., Cheba, K., Gajda, W., & Ioppolo, G. (2018). Innovation in sustainable development: An investigation of the EU context using 2030 agenda indicators. *Land Use Policy*, 79, 251-262.
- Teixeira de Melo, A., Caves, L. S. D., Dewitt, A., Clutton, E., Macpherson, R., & Garnett, P. (2019). Thinking (in) complexity: (In) definitions and (mis) conceptions. *Systems Research and Behavioral Science*.
- Torres, E. (2009). Complejidad y postmodernidad: dos paradigmas emergentes. *Principia*, 32, 17-32.
- WEC. (2019). *World energy trilemma index*. Recuperado de <https://www.mmc.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2019/sep/world-energy-trilemma-index-2019-full.pdf>.

Tabla 3 - Principios del pensamiento complejo y su aplicación al objeto de estudio.

Principio	Descripción	Aplicación al objeto de estudio
Sujeto/Objeto	Interpretación/explicación en relación con fenómenos, problemas o procesos complejos (objeto) vinculada al marco situacional del sujeto que la realiza. Se admite la existencia de una diversidad de dominios explicativos.	La perspectiva de los sujetos en las dimensiones del desarrollo sustentable, se encuentra enmarcada en su entorno. Esto representa la diversidad de dominios explicativos que constituyen este principio.
Sistémico	La organización de partes aisladas, en conjunto, producen nuevas propiedades. El conocimiento de las partes está unido al conocimiento del todo.	Procesos físicos, económicos y sociales, determinísticos y estocásticos, que en conjunto conforman el todo.
Retroalimentación	Causalidad circular retroactiva: la causa actúa sobre el efecto y el efecto sobre la causa.	No es un proceso de un solo instante de tiempo, sino un proceso continuo que se ajusta a la realidad del momento y los escenarios analizados. Los resultados se convierten en una causa inicial o entrada del proceso.
Autonomía/Dependencia	El pensamiento complejo no debe aislar el objeto de estudio, sino enmarcarlo en su entorno, que incide en su organización interna.	Los sistemas energéticos cambian estructuralmente con su entorno, los cambios en el entorno, moldean la autonomía normativa del proceso en estudio.
Recursividad	Existe un bucle recursivo/generador, en el que los productos y efectos son resultado y, a la vez, productores de otros productos y efectos.	Los sujetos que interactúan en el proceso en estudio se encuentran influenciados entre sí en un bucle recursivo/generador.
Holográfico	Las partes de un organismo o sistema tienen el todo inscrito y contenido en cada una de ellas, pero la suma de las partes no es la totalidad. El estudio y conocimiento del sistema debe integrar las partes, el todo y el entorno, mediante la inducción y deducción, incorporando la sensación, introspección y la intuición, reconociendo la imposibilidad de conocer el todo.	Cada una de las dimensiones del desarrollo sustentable presenta características dinámicas que reflejan el funcionamiento del todo. En conjunto emergen en estas dinámicas relaciones que, de manera aislada, solo pueden razonarse mediante la sensación, introspección y la intuición. De igual forma, al considerar el proceso como un todo, su complejidad reconoce relaciones con el entorno para las que ese razonamiento debe aplicarse para no caer en simplificaciones.
Incertidumbre	El principio de incertidumbre incorpora la probabilidad de ocurrencia de resultados no esperados, por acciones o conductas resultantes de un acto de inteligencia.	Resulta imposible predecir con exactitud el resultado de las decisiones sobre el aprovechamiento de las reservas energéticas, solo con base en el conocimiento de patrones individuales de consumo o series económicas, porque la multiplicidad de relaciones no lineales con otras variables introduce factores que exceden la capacidad de análisis determinístico.
Borroso	El pensamiento borroso rompe el paradigma del razonamiento binario, reconociendo la existencia de grados de pertenencia, que permiten analizar los problemas con una mayor aproximación de la realidad.	Las decisiones en el proceso en estudio, no admiten una lógica binaria. El análisis, considerando la diversidad de dominios explicativos y la incertidumbre en el proceso, requiere de herramientas que permitan un tratamiento adecuado a estas características.
Estrategia situacional	La estrategia situacional reconoce los niveles de incertidumbre en la formulación de acciones para el logro de los objetivos, explorando los futuros probable, posible y deseable, para fundamentar las decisiones en el presente, estableciendo planes de contingencia para atender eventuales desviaciones no esperadas o potenciales errores.	Al no poder conocer con precisión el escenario futuro, los resultados de las acciones (incertidumbre, borrosidad) y la incidencia de factores externos sobre la estructura del proceso (autonomía/dependencia), puede conformarse una diversidad de escenarios, probables, posibles y deseables, para tomar las decisiones y establecer planes de contingencia, evaluando la evolución del sistema (recursividad) para ajustar las acciones o activar las contingencias (retroalimentación).
Caórdico	La emergencia de nuevos atractores y la bifurcación de un atractor a otro, permite la creación de un nuevo orden en el sistema y, por ende, su transformación, evitando así el potencial colapso que representa una condición de equilibrio sostenido durante intervalos largos de tiempo.	Las políticas energéticas, en el marco de las dimensiones del desarrollo sustentable, se conforma como un sistema multivariable, de relaciones no lineales, con alto grado de incertidumbre y dependencia sensible a las amenazas o las oportunidades derivadas de los cambios en su entorno de inter-retro-acción. Una condición de equilibrio permanente resulta una desviación del comportamiento adaptativo esperado, que solo puede derivar en el colapso del sistema. La identificación de nuevos atractores y la bifurcación a un nuevo orden normativo, derivado de la adaptación a las condiciones cambiantes del entorno, se presenta como la dinámica deseable para la subsistencia del sistema.

Fuente: elaboración propia.