

# Desarrollo sostenible, complejidad y anticipación del futuro

**Gilberto Carlos Gallopín (Investigador Autónomo)\***

## Resumen

El artículo desarrolla una perspectiva sistémica para considerar la posibilidad y utilidad de intentar anticipar el futuro de los sistemas socio-ecológicos (SES-unidades de análisis fundamentales de la investigación del desarrollo sostenible desde lo global hasta lo local) en el contexto de su complejidad y de la situación cambiante del mundo. Se identifican las principales fuentes de incertidumbre involucradas, los desafíos que plantea la problemática del desarrollo sostenible a la Ciencia y la Tecnología, y las implicaciones para explorar el o las posibles evoluciones futuras de los sistemas considerados. Dos de las más importantes herramientas utilizadas para la anticipación, los modelos matemáticos de simulación y los escenarios del futuro, se discuten comparativamente identificando sus fortalezas y debilidades.

**Palabras clave:** Complejidad, desarrollo sostenible, anticipación, sistemas socio-ecológicos, incertidumbre.

PhD en Ecología por la Universidad de Cornell, co-autor del Modelo Mundial Latinoamericano (MMLA), se ha especializado en las áreas de análisis de sistemas ecológicos, evaluación de impacto ambiental, modelos mundiales de simulación, construcción de escenarios del futuro, pobreza y ambiente, y desarrollo sostenible.

## Abstract

The article presents a systemic perspective for the consideration of the possibility and usefulness of attempting to anticipate the future of the socio-ecological systems (SES-fundamental units of analysis of the research of sustainable development from the local to the global) in the context of their complexity and the changing world situation. The main sources of uncertainty are identified, as well as the challenges posed by the problematique of sustainable development to Science and Technology, and the implications to explore the possible future evolution or evolutions of the considered systems. Two of the most important tools used for the anticipation, the mathematical simulation models and the scenarios of the future, are compared identifying their strengths and weaknesses.

**Key words:** complexity, sustainable development, anticipation, socio-ecological systems, uncertainty.

## Introducción

Es cada vez más evidente que a pesar de resonantes éxitos en la comprensión y manipulación de muchos fenómenos (particularmente a las escalas moleculares e inferiores), los enfoques científicos y tecnológicos prevalecientes están exhibiendo deficiencias importantes en la comprensión y gestión de los problemas de “complejidad organizada” (Weaver 1948) típicos de la problemática del desarrollo sostenible (DS).

La situación actual del planeta se caracteriza por vastos cambios desde la escala local hasta la global, tanto en sus componentes humanos como en los ecológicos: por una parte, el mundo está atravesando un período de turbulencia extraordinaria que refleja la génesis e intensificación de profundos cambios económicos, sociales, políticos, y culturales asociados a la actual revolución tecno-económica y sus crisis. Adicionalmente, la velocidad y magnitud del cambio global, la conectividad creciente a nivel planetario de los sistemas ecológicos y sociales, y el aumento de complejidad de las sociedades y de sus impactos sobre la ecósfera, están generando un alto nivel de incertidumbre e impredecibilidad, presentando nuevas amenazas (y también nuevas oportunidades) para la humanidad.

Por otra parte, las tendencias actuales se perciben como insostenibles, tanto ecológica como socialmente (UNEP 2002, UNCSO 1997, Ortiz y Cummings 2011, MA 2005). La necesidad de un cambio de dirección fue oficialmente reconocida ya en la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro en 1992, y reafirmada en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en septiembre del 2002 en Johannesburgo.

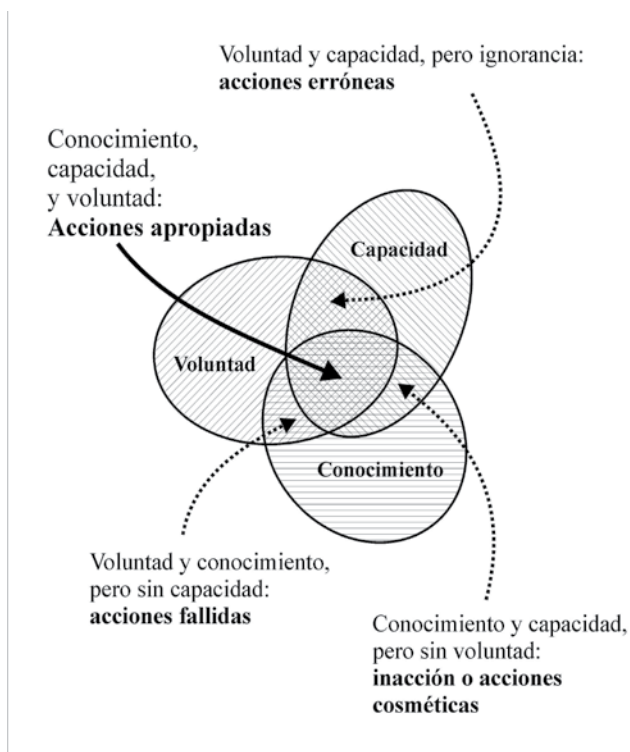
Sin embargo, los avances han sido claramente parciales e insuficientes y, a pesar de acuerdos mundiales tales como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM 2014), los acuerdos sobre el clima global, y otros, el DS sigue esquivo y es necesario reco-

nocer que la trayectoria actual del planeta tiende más hacia la insostenibilidad que al desarrollo sostenible.

Para el necesario y urgente cambio de rumbo, es necesario desarrollar estrategias de corto y de largo plazo, e implementar acciones efectivas, comenzando por las que ya sabemos que son indispensables.

Tres condiciones básicas deben darse simultáneamente para implementar las acciones necesarias para corregir el rumbo: conocimiento, capacidad, y voluntad (Figura 1). La falta de información y conocimiento a menudo es presentada como el principal obstáculo, y se recomiendan nuevos estudios antes de actuar; sin embargo, y sin minimizar la necesidad de más investigación y más integración de conocimientos, en muchos casos el conocimiento existente de las variables ecológicas, sociales, políticas y económicas relevantes, aunque incompleto, es suficiente para identificar muchas de las medidas necesarias. De hecho, hay muchos diagnósticos científicamente fundamentados de los obstáculos locales y globales a la sostenibilidad y al desarrollo sostenible con propuestas de solución. Las razones por las cuales no se toman las acciones que ya se sabe que son necesarias frecuentemente son de dos tipos: incapacidad (financiera, de recursos humanos, por restricciones fuera del control de los agentes pertinentes) y falta de voluntad política para implementarlas. El fracaso de las negociaciones internacionales sobre la mitigación del cambio climático es un claro ejemplo de ausencia de voluntad política.

Figura 1



Este trabajo se focaliza en la necesidad de adoptar enfoques integrados tanto para el estudio como para diseñar las estrategias de acción en la búsqueda del DS, utilizando los sistemas acoplados socio-ecológicos (SSE) como unidad de análisis. Se presenta una conceptualización generalizada de los SSE.

Se analiza el problema de la complejidad de los SSE y las tendencias globales al aumento general de la complejidad, para luego considerar las implicaciones de esta complejidad sobre la incertidumbre acerca del estado actual y el funcionamiento de los SSE, y particularmente su evolución hacia el futuro.

Las dos herramientas más usadas por la prospectiva (o estudios del futuro) de sistemas complejos, escenarios y modelos matemáticos de simulación, son brevemente discutidas en forma comparativa en términos de sus potencialidades relativas y complementariedades.

El trabajo finaliza con las implicaciones del análisis sobre la toma de decisiones para el DS, y la necesidad de cambios educativos, científicos e institucionales que faciliten (o posibiliten) nuevos enfoques en la comprensión y en toma de decisiones para cambiar el rumbo hacia un futuro (o futuros) sostenibles.

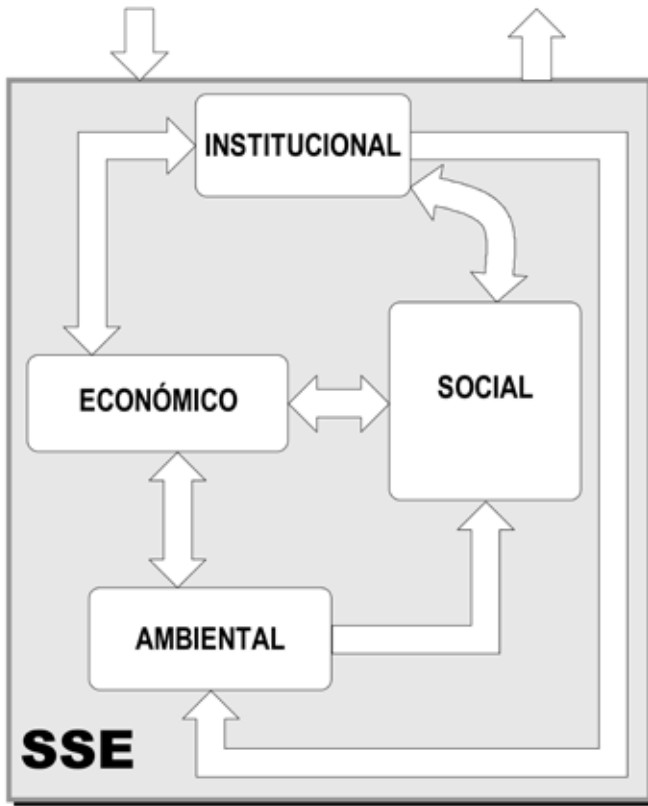
## La necesidad de la integración del conocimiento en la búsqueda de soluciones sostenibles

En lo que concierne al conocimiento sobre el funcionamiento y consecuencias de las variables sociales, ecológicas, económicas y políticas relevantes para el DS, si bien como se mencionó anteriormente, en muchos casos específicos ya permite identificar acciones para solucionar los problemas, también es cierto que el enfoque investigativo predominante es muy sectorial y compartimentalizado, típicamente orientado por la disciplina científica del investigador/es. En contraste, los problemas típicos del DS surgen de la interacción entre variables y procesos de muy diversos ámbitos (sociales, ambientales, económicos, culturales, políticos, etc.). Estos complejos sistemas sólo pueden ser comprendidos a través de un enfoque integral, sistémico, que todavía es incipiente en los sistemas de investigación de la mayoría de los países. Estos son sistemas fuertemente “acoplados” funcionalmente (a través de relaciones causales, y de flujos de materia, energía e información) y por lo tanto co-determinados. Además, estos sistemas son no-lineales, complejos, y auto organizados. Se ha argumentado (Gallopín *et al.* 2001) que el sistema socio-ecológico (Gallopín *et al.* 1989, Gallopín 1991) a la escala de interés (local, nacional, global) representa la unidad fundamental del desarrollo sostenible y por lo tanto la unidad de análisis<sup>1</sup> por excelencia para el DS.

<sup>1</sup> La entidad básica a ser analizada en una investigación y sobre la cual se coleccionan datos en forma de variables (definición estándar).

Por sistema socio-ecológico<sup>2</sup> (SSE), en la concepción del autor de este trabajo, se entiende el sistema total conformado por la naturaleza y la sociedad, incluyendo los subsistemas relevantes así como los vínculos entre los mismos. Desde un punto de vista sistémico, puede ser conveniente distinguir cuatro subsistemas principales: el social, el económico, el institucional, y el ambiental. Estos subsistemas se corresponden con las cuatro categorías básicas originalmente planteadas por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas como las dimensiones fundamentales del DS. Estos subsistemas interactúan de manera identificable entre sí, y el sistema total (a la escala considerada) interactúa con otros SSE (la Figura 2 es una representación extremadamente simplificada de un SSE generalizado). Descripciones más detalladas del sistema y sus interacciones aparecen en Gallopín (2006, 2011a).

Figura 2



<sup>2</sup> Este término fue acuñado por Gallopín *et al.* 1989. Otros términos utilizados comúnmente para referirse al sistema integrado sociedad-ambiente son sistema social-ecológico (Berkes y Folke, 1998), o sistemas acoplados humano-ambientales (Turner *et al.*, 2003 a, b).

En términos generales, y ejemplificando con un SSE a escala de país (aunque también válido a otras escalas) los componentes genéricos de un SSE son caracterizados como sigue: El primer subsistema es el social, definido en sentido amplio como incluyendo las variables de la calidad de la vida (satisfacción de las necesidades materiales y no materiales del ser humano), de la renta y de su distribución, y de los aspectos demográficos. El subsistema económico incluye la producción y el consumo de bienes y servicios, el comercio, el estado general de la economía, la infraestructura y los asentamientos humanos o ambiente construido y los desechos generados por el consumo y la producción. El subsistema institucional contiene las instituciones formales e informales de la sociedad, las leyes y las regulaciones, y las políticas, y también incluye las estructuras y los procesos sociales principales (agentes sociopolíticos, procesos políticos, estructuras de poder, etc.) y el conocimiento y los valores de la sociedad. El subsistema ambiental incluye el ambiente natural en sus aspectos de recursos naturales, procesos ecológicos, condiciones de soporte vital, y la biodiversidad.

Los flujos, interrelaciones o acoplamientos funcionales principales entre los subsistemas de un SSE los vinculan funcionalmente. Las dos flechas cortas de y hacia la caja grande que representa el sistema total representan interacciones entre el sistema y su mundo externo (por ejemplo el comercio internacional, las entradas y salidas de energía y materiales, etc.). Las interrelaciones pertenecen a dos tipos básicos: por un lado, los flujos de materia y/o energía entre algunos de los subsistemas (por ejemplo los desechos que salen de la economía o los recursos naturales que entran a ella). Por otro lado, la información, las señales de control, y/o las acciones que generan cambios en las variables y la organización de los subsistemas receptores, también fluyen entre los subsistemas (por ejemplo los flujos financieros, las regulaciones e impuestos, el establecimiento de áreas naturales protegidas). Las flechas entre los subsistemas económico e institucional representan interrelaciones tales como políticas, instrumentos económicos, fijación de precios, en un sentido, y flujos monetarios (como el pago de impuestos) en el otro.

Las flechas entre el subsistema económico y el ambiental incluyen, entre otras, los flujos de bienes y servicios ambientales (como los recursos naturales) hacia la producción económica o hacia el consumo directo, y en el otro sentido, la basura generada por el consumo y la producción, que fluye hacia el medio ambiente.

Las flechas entre el subsistema económico y el social incluyen los efectos del consumo sobre la calidad de vida, la oferta y demanda de empleo, los impactos del ambiente urbano sobre la calidad de vida.

Las flechas del subsistema ambiental al social incluyen interrelaciones como los impactos de la calidad del ambiente natural sobre la salud humana.

Las flechas entre el subsistema institucional y el social incluyen los efectos del subsistema institucional sobre el ambiente social de las personas (educación, seguridad, sistemas de valores) y el impacto de la calidad de vida sobre las instituciones (influencia del crecimiento de la pobreza sobre las reivindicaciones sociales).

Finalmente, las flechas entre el subsistema institucional y el ambiental incluyen fenómenos como los impactos institucionales y políticos directos sobre el subsistema ambiental (áreas protegidas, impactos ambientales de acciones militares y terroristas).



La mayoría de las flechas entre subsistemas representan influencias recíprocas entre los mismos, y por lo tanto son bidireccionales. Dos de las flechas representadas son unidireccionales; es el caso de las interrelaciones entre los subsistemas institucional y social con el ambiental.

El subsistema institucional tiene un efecto directo sobre el ambiental, pero la recíproca no es cierta: el esquema supone que los cambios en el subsistema ambiental sólo influyen sobre el subsistema institucional a través de sus repercusiones sobre el subsistema social (por ejemplo impacto de la contaminación sobre la salud humana) o sobre el subsistema económico (por ejemplo impactos de la degradación de suelos sobre la agricultura).

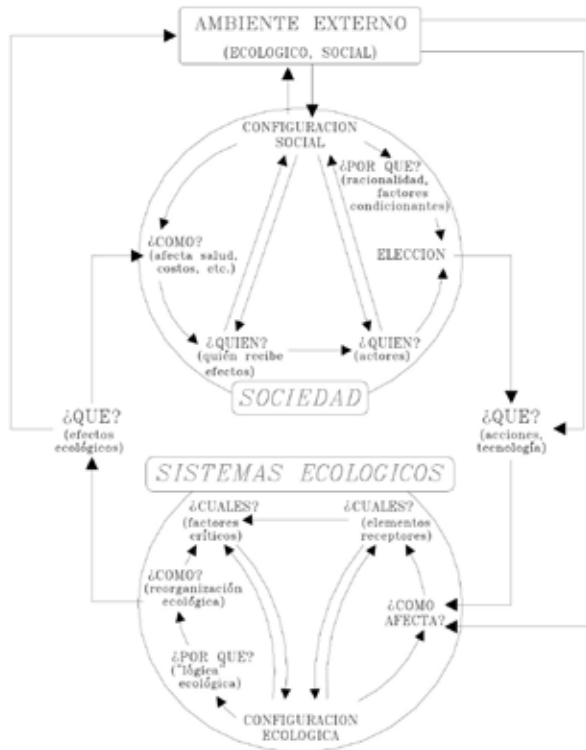
En el caso de subsistema social, se enfatizan los efectos del subsistema ambiental sobre el social, pero no se plantean efectos directos en la dirección inversa, ya que se supone que las influencias del subsistema social sobre el ambiental se canalizan a través de los procesos de consumo, incluidos en el subsistema económico.

El que la unidad básica de observación incluya tanto a los subsistemas humano como natural requiere necesariamente un enfoque interdisciplinario e integrador. La investigación integrada obviamente no significa meramente añadir más variables, o abarcar una porción mayor de la realidad; la integración de la investigación científica en términos de relevancia para la toma de decisiones requiere de un enfoque holístico (mirar a las totalidades en vez de solamente a sus partes componentes), y un estilo de investigación interdisciplinario.

El enfoque holístico desde un punto de vista científico incluye la identificación de los eslabonamientos causales más importantes y, lo que es más difícil, la comprensión de la dinámica del sistema. Las no-linearidades y la auto-organización tienen un papel crucial en la generación del comportamiento contraintuitivo típico de la mayoría de los sistemas complejos. Esto implica que es necesario investigar cómo los diferentes componentes y procesos del sistema interactúan funcionalmente para generar respuestas y propiedades emergentes a nivel de todo el sistema, y cómo el sistema se transforma y se adapta.

La Figura 3 (Gallopín 1994) presenta una propuesta de "preguntas guía" para la investigación de los SSE (aquí representados en su forma más simple como dos subsistemas en interacción: la sociedad y los componentes ecológicos). En la referencia citada se provee una descripción y justificación de las preguntas-guía, pero la figura es suficientemente explicativa.

FIGURA 3



## La complejidad del SSE y el contexto cambiante del mundo

El DS se aplica a sistemas inherentemente complejos (no meramente complicados) de seres humanos socialmente organizados en interacción funcional con los ecosistemas (SSE). Esto significa grados de complejidad muy altos y además, rápidamente crecientes. El DS requiere:

- ▷ Integrar las dimensiones económicas, sociales, culturales, políticas, y ecológicas
- ▷ Considerar simultáneamente diferentes escalas
- ▷ Ampliar los horizontes de tiempo y espacio para incluir la equidad intergeneracional y la intrageneracional
- ▷ Tomar en consideración diferentes perspectivas irreductibles y legítimas.

Los enfoques tradicionales de la ciencia muchas veces no pueden responder a estos requerimientos (Kates *et al.* 2001). En otras palabras, la investigación para el DS plantea la necesidad de un enfoque de sistemas complejos en la práctica y método de la ciencia, incluyendo: 1) desarrollar una comprensión holística focalizada en el sistema



socio-ecológico interconectado; 2) comprender la dinámica de los sistemas e identificar sus eslabonamientos causales importantes (horizontales –entre subsistemas o sistemas de la misma escala, y verticales –entre sistemas de escalas diferentes); 3) reconocer la especificidad contextual de los problemas y soluciones; y 4) utilizar el conocimiento útil y utilizable de diferentes tipos, fuentes, y escalas.

No sólo entra en juego la complejidad actual de los SSE, sino que hay muchas señales que sugieren que la complejidad de los problemas está aumentando rápidamente (Gallopín *et al.* 2001, Munn *et al.* 1999). Esto se debe a diferentes razones:

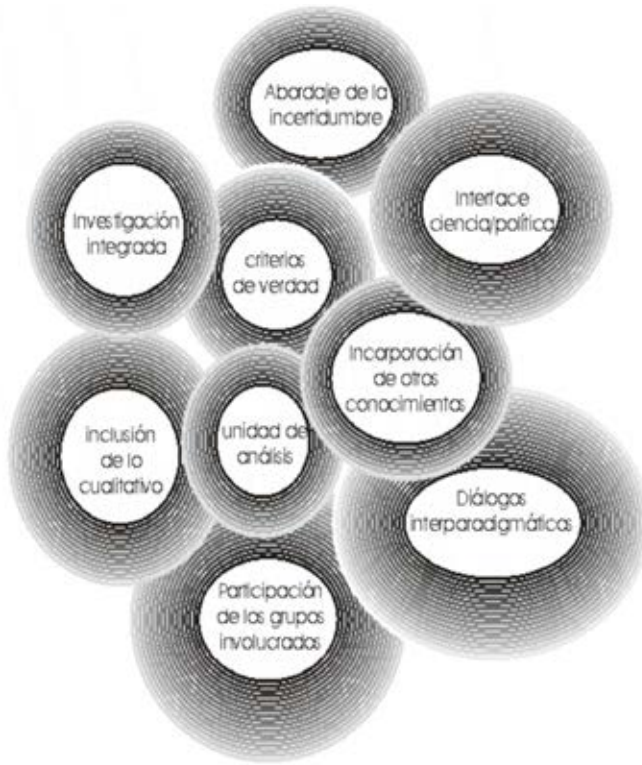
**Ontológicas.** Los cambios inducidos por los humanos sobre el mundo natural, a tasas y escalas sin precedentes, y que también resultan en aumentos de la conectividad e interdependencia a varias escalas. Las moléculas de anhídrido carbónico emitidas por el uso de los combustibles fósiles se suman a las moléculas de anhídrido carbónico generadas por la deforestación potencializando el cambio climático global; una crisis económica en Asia reverbera a través del sistema económico mundial afectando países lejanos.

**Epistemológicos.** Los cambios en nuestro conocimiento debidos a la comprensión científica moderna del comportamiento de los sistemas complejos, incluyendo la percepción que la impredecibilidad y la sorpresa pueden formar parte intrínseca de la trama de la realidad, no sólo en el mundo microfísico (ej. el bien establecido principio de incertidumbre de Heisenberg), sino también en el nivel macroscópico.

**Cambios en la naturaleza de la toma de decisiones.** En muchas partes del mundo, está ganando espacio un estilo más participativo de adopción de decisiones, superando los estilos autoritarios y los tecnocráticos. Esto, aunado a la aceptación creciente de criterios adicionales a los tradicionales, tales como los ambientales, los derechos humanos, de igualdad de género, y otros, así como la emergencia de nuevos actores sociales como los organismos no gubernamentales y las compañías transnacionales, está resultando en un aumento en el número de dimensiones utilizadas para definir temas, problemas, y soluciones, y por lo tanto a una mayor complejidad.

Esta situación y tendencias hacen que la problemática del DS plantee serios desafíos a la Ciencia y la Tecnología (Gallopín 2013). Estos desafíos no serán discutidos en detalle aquí, pero un listado de los más identificables aparece en la Figura 4.

Figura 4



## La anticipación del futuro de los SSE

La constatación que la trayectoria actual del mundo (y de muchos de los SSE a escalas más locales) parece no ser sostenible a largo plazo, obliga a identificar y discutir estrategias para cambiar de rumbo. Esto implica analizar la situación actual y sus tendencias, lo que puede también requerir analizar la historia que nos llevó a esta situación (para ayudar a comprender las causalidades) pero además, y sobre todo, explorar el futuro o futuros posibles.

La complejidad de los SSE genera incertidumbres de varios tipos: incertidumbres fundamentales e irreductibles pueden surgir de procesos no lineales (por ejemplo, el comportamiento caótico), de los procesos de auto-organización (por ejemplo, Ilya Prigogine [Nicolis y Prigogine 1977] demostró que la nueva estructura sistémica que surge de la reorganización de los elementos de un sistema abierto en intercambio con su entorno puede ser inherentemente impredecible incluso en sistemas químicos sencillos). Finalmente, la existencia de comportamientos deliberados de diferentes actores o agentes, cada uno con su propio objetivo, hace que el futuro sea indetermi-

nado. Además, los sistemas complejos “autoconscientes” (o “reflexivos”) que incluyen subsistemas humanos e institucionales, son capaces de observarse a sí mismos y su propia evolución, y actuar sobre la misma, con lo cual abren nuevos repertorios de respuestas y nuevas interconexiones. En tales sistemas, surge otra fuente de incertidumbre “dura”; una especie de “efecto Heisenberg”, donde los actos de observación y análisis se convierten en parte de la actividad del sistema estudiado y, por lo tanto, influyen en él de diversas maneras. Esto es bastante conocido en los sistemas sociales reflexivos, a través del fenómeno del “riesgo moral”, las profecías autocumplidas y el pánico de masas.

La investigación científica de los SSE en tanto sistemas complejos, autoconscientes, a menudo tiene que lidiar con una combinación de complejidades a diferentes niveles. El juego entre los factores en los diferentes niveles aumenta la complejidad intrínseca de cada uno de los niveles. Hay al menos tres niveles en que la complejidad influye en la investigación científica:

- ▷ La realidad física, donde entran en juego las propiedades de auto-organización, incertidumbre irreductible, emergencia y otros elementos.
- ▷ La necesidad de tener en cuenta diferentes “epistemologías” (se debe reconocer y respetar una pluralidad de percepciones o perspectivas, aunque no necesariamente aceptables como igualmente válidas).
- ▷ La necesidad de tener en cuenta diferentes “intencionalidades” (objetivos de los diferentes actores sociales).

Ante esta situación, la pretensión de “predecir” el futuro es totalmente ilusoria (aunque puedan existir algunos procesos relativamente predictibles, sobre todo en el corto plazo) la predicción en su sentido riguroso es imposible para los SSE como totalidades. Si sumamos a esto el hecho que el futuro todavía no existe, y que además depende no sólo de procesos y leyes físicas<sup>3</sup> sino también de decisiones y acciones humanas todavía no realizadas (y algunas todavía no pensadas), las afirmaciones de aquellos analistas que pretenden predecir el futuro carecen de fundamento.

## Escenarios y modelos matemáticos

A través de la historia, siempre se ha buscado anticipar el futuro para intentar avizorar los peligros y para aprovechar las oportunidades. Los principales modos y herramientas para pensar sobre el futuro pueden categorizarse como:

- ▷ Profecía
- ▷ Consulta a expertos (encuestas, método Delphi, etc.)

---

<sup>3</sup> En este contexto, incluyendo los procesos químicos, biológicos, etc.

- ▷ Modelos anticipatorios (proyecciones, modelos econométricos, modelos estadísticos, modelos de insumo/producto, modelos de optimización, modelos basados en agentes, modelos de simulación dinámica, etc.)
- ▷ Escenarios

Salvo el primero, los tres modos son utilizados hoy en forma más o menos rigurosa, (dependiendo de los operadores y los objetivos), y los tres son parte del bagaje de la Prospectiva (a menudo llamada también Futurología) definida como la disciplina que estudia el futuro para comprenderlo y poder influir en él.<sup>4</sup>

Esta sección focaliza en la comparación de las dos herramientas de la prospectiva que incluyen de alguna manera la dinámica y causalidad de los sistemas analizados: los modelos matemáticos de simulación digital, y los escenarios cualitativos.

En línea con lo discutido anteriormente, el objetivo de la prospectiva no es predecir el futuro, sino explorar futuros alternativos posibles (incluyendo futuros deseables). Así, se han construido modelos y escenarios exploratorios (qué podría pasar) y normativos (futuros que queremos que se materialicen). Por ejemplo, el Modelo Mundial Latinoamericano (Herrera *et al.* 2004) es un ejemplo de ambos, ya que se corrió en modo exploratorio (qué trayectoria futura podría seguir el mundo en ausencia de cambios importantes de política), y también en modo normativo (optimizado) generando una trayectoria deseable (y posible). Desde otro punto de vista, los escenarios pueden ser más analíticos (concentrándose en el despliegue de los procesos básicos) o más impresionistas (introduciendo vívidos eventos específicos para ilustrar).

Los escenarios y los modelos son modos complementarios de explorar el futuro, y ambos tienen sus ventajas y desventajas.

Un escenario es una secuencia hipotética de eventos que culminan con un estado o imagen del futuro, con el propósito de enfocar la atención en procesos causales, puntos de decisión, y bifurcaciones donde las acciones humanas podrían cambiar el curso de eventos. Los escenarios no son predicciones del futuro, sino intentos de percibir futuros en el presente (Schwartz 1991). En general, se recomienda definir un número reducido de escenarios alternativos (pero más de uno) que posibiliten explorar el “espacio de lo posible”. Se apoyan en la ciencia –para la comprensión de los patrones históricos, de la condición actual, y el conocimiento de los procesos físicos y sociales- y en la imaginación, para concebir, articular y evaluar un rango de senderos de futuro. Para más información ver Global Scenario Group 2014, Schwartz 1991, Gallopín 2004.

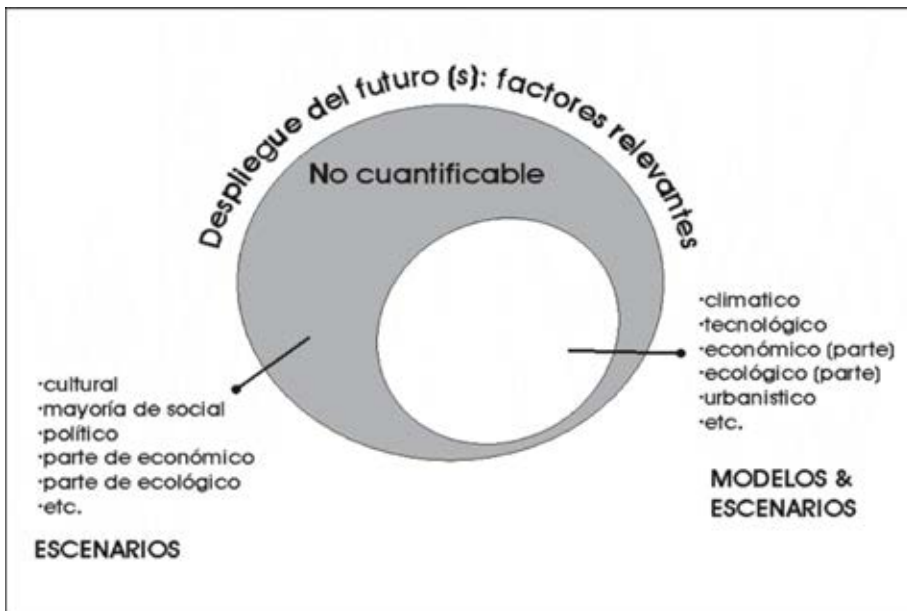
Un modelo es una representación simplificada de la realidad donde se supone una correspondencia entre los elementos y relaciones contenidos en el modelo y los elementos y relaciones de la realidad; un modelo matemático representa los elementos y relaciones como variables y funciones matemáticas respectivamente. Un modelo de simulación es un modelo matemático que (se supone) imita en algunos aspectos esenciales el funcionamiento de un sistema del mundo real cuando evoluciona en el tiempo.

<sup>4</sup> Ésta es una de las varias definiciones existentes.

Los modelos utilizados para estudiar el comportamiento de los sistemas relevantes para el DS son prácticamente todos de este último tipo, y existe abundante bibliografía sobre ellos, incluso disponible en Internet (información introductoria se puede encontrar en Wikipedia: Computer Simulation, 2014 o en Maria, 1997). Si bien en teoría ciertos tipos especiales de modelos matemáticos podrían incluir variables de tipo cualitativo,<sup>5</sup> prácticamente la totalidad de modelos matemáticos que intentan simular el comportamiento de sistemas sociales, ecológicos, y socio-ecológicos sólo permiten operar con variables cuantitativas. Los escenarios, por el contrario, pueden incluir tanto factores cuantitativos (climáticos, hidrológicos, algunos de los económicos, algunos de los demográficos, etc.) como cualitativos (culturales, políticos, sociales, etc.).

La Figura 5 muestra gráficamente las principales áreas cuantificables y no cuantificables de los SSE. La Tabla 1 provee una comparación más detallada entre escenarios y modelos. La Tabla muestra que los escenarios cualitativos y los modelos numéricos pueden exhibir importantes complementariedades, y su uso combinado, cuando es posible, puede ser de gran utilidad.

Figura 5



5 Por ejemplo, en los años 60 Karl Deutsch (1963) fue un pionero en la construcción de modelos de procesos políticos (aunque estos modelos no eran integrados sino sectoriales).

Tabla I

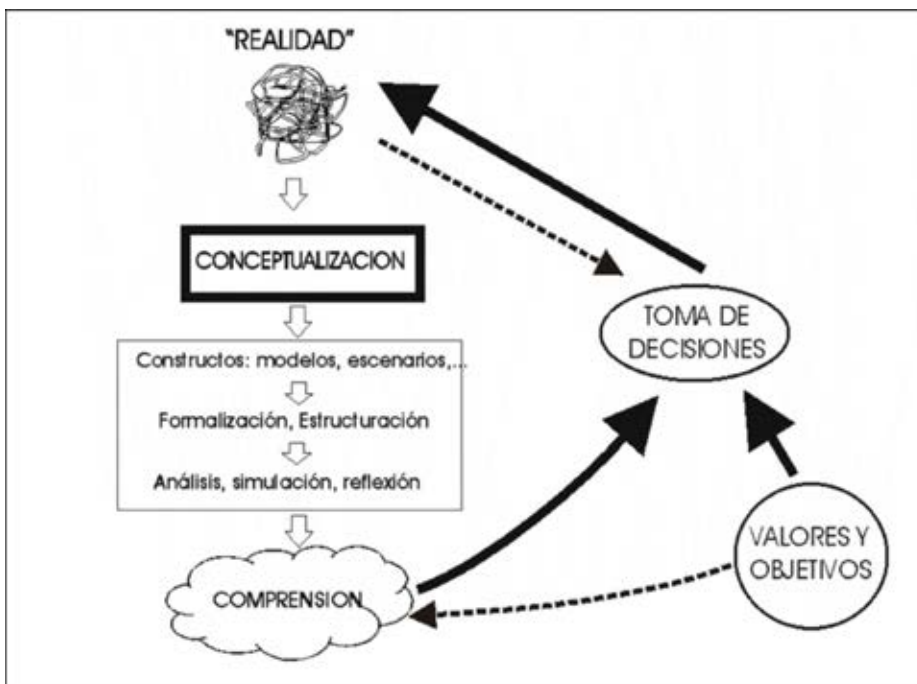
ESCENARIOS CUALITATIVOS	MODELOS DE SIMULACIÓN
Pueden incluir factores cuantificables y no cuantificables. Son más <u>comprehensivos</u> que los modelos cuantitativos	Limitados a los factores cuantificables pero suelen ser más <u>precisos</u> que los escenarios cualitativos
Transparentes	Opacos a los que no son técnicos especializados
Definitivamente no predictivos, sino exploratorios del futuro	Exploratorios o predictivos
Pueden incluir la incertidumbre "dura" y la verdadera novedad	Pueden manejar la incertidumbre probabilística
Siempre enfocados al futuro	No todos son orientados al futuro. Cuando se utilizan para explorar futuros alternativos se los puede considerar como escenarios cuantitativos

## Conclusiones. El DS, la incertidumbre y la toma de decisiones

Naturalmente, la prospectiva y las herramientas como modelos, escenarios, etc., no se traducen (o no se debería intentar traducirlos) automáticamente en la toma de decisiones sobre la realidad. Tales herramientas son algunos de los elementos que contribuyen a nuestra comprensión del sistema, comprensión que se nutre no sólo de esos elementos sino de otros tipos de conocimiento, y toman en cuenta los objetivos y valores de los tomadores de decisión, para actuar sobre la realidad, en un proceso idealmente interactivo (Figura 6). En otras palabras, los modelos y escenarios son herramientas de apoyo a la toma de decisiones, y no sistemas de toma de decisiones.



Figura 6



Pero, si, como se dijo antes, la verdadera predicción del futuro de los sistemas complejos es imposible, ¿cuál es la utilidad de la prospectiva? Los escenarios y modelos sirven para explorar las posibilidades del futuro o futuros alternativos, para verificar la factibilidad de algunas trayectorias, y principalmente para estructurar el pensamiento acerca del futuro, focalizando en los "puntos neurálgicos" o bifurcaciones donde se puedan identificar acciones con la potencialidad de cambiar las trayectorias no deseables hacia aquellas más deseables. También son de utilidad para identificar posibles señales de alerta temprana que indiquen cuáles trayectorias se están comenzando a materializar y así orientar la toma de decisiones.

Pero el problema central persiste; de acuerdo al análisis presentado en este trabajo, 1) hay una urgente<sup>6</sup> necesidad de tomar acciones inteligentes e internacionalmente coordinadas a todas las escalas para cambiar el rumbo del planeta hacia el DS; 2) existen importantes incertidumbres acerca de la situación y dinámica de los SSE en la situación actual (algunas que se irán eliminando a medida que avance el conocimiento, y otras que son irreductibles y nunca serán eliminadas); 3) la complejidad y la incertidumbre globales

<sup>6</sup> En algunos casos, como en el cambio climático, ya se han transgredido límites irreversibles; en otros casos, muchos científicos están preocupados que estemos por cruzar "puntos de inflexión" o "puntos de no retorno" (*tipping points*) del SSE planetario (Lenton *et al.*, 2008).

parece estar aumentando, no disminuyendo; 4) la predicción del futuro es imposible para los sistemas complejos como los SSE a sus diferentes escalas.

En esta situación, hay varias reacciones posibles para los tomadores de decisiones:

- ▷ Negación y auto-persuasión. “Es una estrategia demasiado frecuente: el problema no existe, ya sabemos lo que trae el futuro y las acciones que estamos tomando van a resolver los problemas”, etc.
- ▷ Parálisis. “Ante la falta de seguridad y de predicciones confiables, es preferible no hacer nada”. Esta estrategia, también adoptada en muchos casos para defender intereses que favorecen el status quo, arriesga caer en situaciones indeseables, algunas irreversibles.
- ▷ Miopía. Ver solamente el corto plazo y tomar acciones puramente reactivas, que terminan frecuentemente confrontando los síntomas pero no las causas de los problemas, y también agravando la situación a largo plazo (porque la sucesión de acciones de corto plazo termina configurando una estrategia implícita y a veces no percibida en el largo plazo)
- ▷ Acciones adaptativas y proactivas. Basadas en lo que se conoce, pero aceptando la incertidumbre, e incluso incorporándola. Estrategias flexibles y robustas ante el error o lo inesperado. El concepto de gestión adaptativa está bien desarrollado en Walters (1986) para la problemática de la gestión de los ecosistemas, pero los conceptos son generalmente aplicables.

La aceptación en la toma de decisiones sobre el DS, de la incertidumbre y de la complejidad, y el pasaje de estrategias reactivas a las adaptativas y proactivas requiere, por un lado, cambios en la educación<sup>7</sup> y en los sistemas de Ciencia y Técnica (sin que esto implique abandonar las formas tradicionales de investigación) y, por otro lado, cambios institucionales que eliminen los obstáculos existentes para la toma de decisiones integradas y la investigación inter-institucional e interdisciplinaria. Y esos cambios deberían darse en forma lo más universal posible, lo que requiere un nuevo nivel de cooperación internacional.

El desafío es enorme, pero los estudios recientes sobre las consecuencias de continuar la trayectoria actual sugieren que los costos del fracaso serían mucho mayores, así como los beneficios de cambiar de rumbo.

---

<sup>7</sup> Otras sugerencias sobre algunos de los cambios profundos necesarios en la educación y capacitación para el DS aparecen en Gallopín (2011b).

## Bibliografía

- Berkes, F., Folke, C. (Eds.) (1998). *Linking Social and Ecological Systems: Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Deutsch, K.W. (1963). *The nerves of government: Models of political communication and control*, New York, The Free Press.
- Gallopín, G.C. (1991). *Human dimensions of global change: linking the global and the local processes*, *Int. Social Science Journal* 130.
- \_\_\_\_\_ (1994). *Impoverishment and Sustainable Development. A Systems Approach*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canadá.
- \_\_\_\_\_ (2004). "La sostenibilidad ambiental del desarrollo en Argentina: tres futuros", Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 91, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, CEPAL, Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_ (2006). "Sostenibilidad del Desarrollo en América Latina y el Caribe: cifras y tendencias. Honduras"; LC/W.104; División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos; CEPAL, Santiago de Chile.
- \_\_\_\_\_ (2011a) "Midiendo el progreso de las sociedades. Una visión sistémica", pp. 119-133, en Rojas, M. (coordinador): *La Medición del Progreso y del Bienestar*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, AC, México D.F.
- \_\_\_\_\_ (2011b). "Ch. IV.2a. Knowledge for a New Paradigm: Challenges to Science and Technology", en *Higher Education in the World 4; Higher Education's Commitment to Sustainability: from Understanding to Action*, GUNI Series on the Social Commitment of Universities, Global University Network for Innovation (GUNI), Palgrave Macmillan, UK.
- \_\_\_\_\_ (2013). "Los desafíos epistemológicos planteados por el Desarrollo Sostenible a la Ciencia y la Tecnología", *Medio Ambiente y Urbanización* 79:65-80.
- Gallopín, G.C., Gutman, P., Maletta, H. (1989). "Global impoverishment, sustainable development and the environment: a conceptual approach", *International Social Science Journal*, 121, 375-397.
- Gallopín, G.C., S. Funtowicz, M. O'Connor, and J. Ravetz (2001), "Science for the twenty-first century: from social contract to the scientific core", *International Social Science Journal*, 168.
- Global Scenario Group. (2014). Disponible en: <http://gsg.org/> (visitado el 23/03/2014).
- Herrera, A.O., et al (2004). *¿Catástrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano 30 años después*, Segunda Edición, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, IIED-América Latina, Buenos Aires.
- Kates, Robert, et al (2001). "Sustainability science", *Science* 292: 641-642.
- Lenton, T. M., et al (2008). "Tipping elements in the Earth's climate system", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (6): 1786-1793.
- MA. Millennium Ecosystem Assessment (2005). UNEP, disponible en: <http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx> (visitado el 20/08/2012).

- Maria, A. (1997). "Introduction to modeling and simulation", disponible en: [http://www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Simul-2-2002/Introduction\\_to\\_Modeling\\_and\\_Simulation.pdf](http://www.inf.utfsm.cl/~hallende/download/Simul-2-2002/Introduction_to_Modeling_and_Simulation.pdf) (visitado el 28/03/2014).
- Munn, T., A. Whyte & P. Timmerman (1999). *Emerging Environmental Issues: A Global Perspective of SCOPE*, Ambio 28:464-471.
- Nicolis, G. y Prigogine, I. (1977). *Self-organization in Non-equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuation*, New York, USA: Wiley.
- ODM (2014). Disponible en: <http://www.un.org/es/millenniumgoals> (visitado el 7/03/2014).
- Ortíz, I. y Cummings, M. (2011). "Global Inequality: Beyond the Bottom Billion – A Rapid Review of Income Distribution in 141 Countries", United Nations Children's Fund (UNICEF), New York, April 2011. Online en: [http://www.unicef.org/social-policy/files/Global\\_Inequality.pdf](http://www.unicef.org/social-policy/files/Global_Inequality.pdf) (visitado el 25/05/2012)
- Schwartz, P. (1991). *The art of the long view*, New York, Currency/Doubleday.
- Turner, II, B.L., et al (2003a). "Science and technology for sustainable development special feature: A framework for vulnerability analysis in sustainability science", Proceedings of the US National Academy of Sciences 100 (14), 8074-8079.
- \_\_\_\_\_ (2003b). "Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies", Proceedings of the U.S. National Academy of Sciences 100 (14), 8080-8085.
- United Nations Commission on Sustainable Development (UNCSD) (1997). *Critical Trends: Global Change and Sustainable Development*, United Nations, New York.
- United Nations Environmental Program (UNEP) (2002). *Global Environment Outlook 3 (GEO-3)*, UNEP.
- Walters, C. (1986). *Adaptive Management of Renewable Resources*, MacMillan, New York.
- Weaver, W. (1948). "Science and complexity". Am. Sci. 36.
- Wikipedia: Computer Simulation. 2014. Disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_simulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_simulation) (visitado el 28/03/2014)