

### ***Nota biográfica***

*Gilberto C. Gallopín, ecologista, Consejero Regional de Política del Medio Ambiente, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile. Email: ggallopin@eclac.cl*

*Silvio Funtowicz, matemático, Director Científico, Institute of Systems, Informatics and Safety of the European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italia. Email: silvio.funtowicz@jrc.it*

*Martin O'Connor, economista, profesor, Universidad de Versailles, St Quentin-en-Yvelines, Francia.*

*Jerry Ravetz, crítico de ciencia y tecnología contemporáneas, consultor independiente en Londres. Email: Jerry\_Ravetz@lineone.net*

## **Una ciencia para el siglo XXI: del contrato social al núcleo científico**

**Gilberto C. Gallopín, Silvio Funtowicz, Martin O'Connor, Jerry Ravetz**

### **Introducción**

Hay un sentimiento creciente en numerosos sectores de que la ciencia no está respondiendo adecuadamente a los desafíos de nuestro tiempo, especialmente a aquellos que nos plantea la búsqueda de un desarrollo sostenible. No incluimos en nuestro planteamiento los ataques a la ciencia provenientes de sectores anticientíficos, sino únicamente las críticas y las quejas expresadas por quienes apoyan el papel de la ciencia como instrumento de comprensión del mundo y de solución de problemas prácticos.

El reconocimiento de que se requiere un nuevo "Contrato social para la ciencia" con el fin de abordar una nueva situación mundial, que tratar los asuntos como se viene entendiendo en la ciencia ya no bastará, y que el mundo de finales del siglo XX es un mundo fundamentalmente diferente de aquel en que se ha desarrollado la empresa científica actual, proviene del establecimiento científico predominante (Lubchenko, 1997). El desafío de centrarse en los vínculos entre los sistemas sociales, políticos, económicos, biológicos, físicos, químicos y geológicos es considerado un imperativo de nuestro tiempo. Se buscan explicaciones dinámicas de cruces sistémicos ahí donde antes predominaban modelos estáticos y reduccionistas (como ha puesto de relieve la Junta Directiva de AAAS, Jasanoff et al, 1997).

La insatisfacción con los estilos actuales de investigación se está manifestando en numerosos sectores. Por ejemplo, el Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (GCI AI) ha declarado que "actualmente, no existe un modelo de investigación aceptado que abarque las dimensiones físicas, biológicas y humanas de la sostenibilidad [de la agricultura] a largo plazo. El desarrollo de un modelo de este tipo es un objetivo de importancia verdaderamente internacional" (GCI AI, 1993, p. 8).

La Conferencia Mundial sobre la Ciencia, bajo el epígrafe "Una ciencia para el siglo XXI" se celebró en Budapest a mediados de 1999, con más de 1800 delegados de 155 países. Dos documentos fundamentales expresan los resultados de la Conferencia: la Declaración sobre la ciencia y el uso del conocimiento científico y el Programa marco de acción para la ciencia (CIUC, 1999)<sup>1</sup>.

Estos documentos abundan en la necesidad de establecer una nueva relación entre ciencia y sociedad, y se pronuncian a favor de un refuerzo de la educación y la cooperación científicas, de la necesidad de relacionar el conocimiento científico moderno con los conocimientos tradicionales, de la necesidad de la investigación interdisciplinaria, de apoyar a la ciencia en los países en desarrollo, y de la importancia de abordar la ética en la práctica de la ciencia y en el uso de los conocimientos científicos, además de otros temas importantes.

La Conferencia se pronunció a favor de un reforzamiento y de una democratización de la ciencia, y puso de relieve la necesidad de un nuevo papel para la ciencia en la sociedad, si bien guardó un notorio silencio (salvo una mención de la necesidad de integración y, sobre todo, de la investigación interdisciplinaria entre las ciencias naturales y sociales) sobre la posibilidad de que la propia ciencia también tenga necesidad de un cambio.

Al leer los documentos de la Conferencia, es difícil escapar a la sensación de que su principal mensaje es que los problemas de la ciencia residen fundamentalmente en la manera en que la ciencia es utilizada, mal utilizada y, sobre todo, subutilizada, pero que el modelo de la ciencia y su práctica están bien tal como están, para el nuevo siglo como para el anterior, y para el desarrollo sostenible, el entendimiento fundamental y la solución de problemas prácticos.

Creemos que es oportuno y fructífero pensar que la corriente predominante de la ciencia (su método y su práctica) es un instrumento guía para el logro del desarrollo sostenible. No sostenemos que toda la ciencia necesite un cambio, pero sí pensamos que es necesario analizar hasta qué punto (y en qué situaciones) los problemas con la ciencia son producto de la no aplicación (o mala aplicación) de las reglas de investigación existentes, y hasta qué punto (y en qué situaciones) las propias reglas científicas tienen que ser modificadas, o incluso reemplazadas. Todo esto sin ir más allá de la esencia del pensamiento científico adoptado por la Declaración de la Ciencia de la Conferencia Mundial (CIUC 1999), como "la capacidad de analizar los problemas desde diferentes perspectivas y buscar explicaciones de los fenómenos naturales y sociales, sometidos siempre a análisis críticos". Nosotros planteamos que esta necesidad es de carácter epistemológico, basada en los propios desarrollos científicos recientes, bastante distantes de las ideas (también relevantes) basadas en valores sociales.

### Una ciencia en evolución

La ciencia ha evolucionado constantemente a lo largo de su historia. Hasta la Segunda Guerra mundial, la forma predominante (especialmente en la conciencia de la ciencia) eran la investigación "académica", impulsada por la curiosidad. Después, la forma predominante se volvió "industrializada" (Ravetz 1996), también descrita como "incorporada" (Rose y Rose 1976). En éstas, la investigación está "orientada por una misión" y los investigadores dejan de ser artesanos independientes y se convierten en empleados. Actualmente la investigación

impulsada por la curiosidad se ha visto totalmente marginada. Su forma asociada de propiedad intelectual, la "información pública", está siendo rápidamente marginada de los principales campos (como la biotecnología) por los "conocimientos corporativos".

Los productos de la investigación y los medios de comunicación también están sufriendo transformaciones. La antigua distinción entre "descubrimiento" e "invención", fundamento del sistema de patentes, ha sido eliminado. No sólo se están patentando formas de vida al por mayor, sino que también la identificación de una posible función para una secuencia de ADN basta para que se cuente cómo "invención", propiedad de quien la reclame como propia. Además, las publicaciones tradicionales de revisión por los pares están siendo desplazadas como principal fuente de comunicación. Los resultados quedan registrados en consejos de asesoría, en "libros grises", o se mantienen como materia confidencial dentro de las instituciones o incluso en total secreto bajo el principio de "confidencialidad entre abogado y cliente". Con la tradicional revisión de los pares como norma, las tareas para asegurar la calidad de estos nuevos procesos y productos son prácticamente irreconocibles. Se ha generado una literatura crítica, y algunos autores dirigen las críticas contra los científicos (Huber 1991), y otros evalúan los problemas suscitados por el nuevo contexto (Jasanoff 1990, Crossen 1994).

**Cuadro 1.: Comparación de las dos corrientes de la ciencia ecológica.**

<b>ATRIBUTO</b>	<b>ANALÍTICA</b>	<b>INTEGRADORA</b>
Filosofía	<ul style="list-style-type: none"> <li>•estrecha y bien definida</li> <li>•Refutación por experimento</li> <li>•frugalidad, la regla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•amplia e indagadora</li> <li>•múltiples líneas de pruebas convergentes</li> <li>•objetivo sencillez indispensable</li> </ul>
Percepción de la Organización	<ul style="list-style-type: none"> <li>•interacciones bióticas</li> <li>•medio ambiente fijo</li> <li>•escala única</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•interacciones biofísicas</li> <li>•autoorganización</li> <li>•múltiples escalas con interacciones entre escalas</li> </ul>
Causación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•única y separable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•múltiple y sólo parcialmente separable</li> </ul>
Hipótesis	<ul style="list-style-type: none"> <li>•hipótesis única y ningún rechazo de hipótesis falsas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•hipótesis múltiples y en competencia</li> <li>•separación entre hipótesis en competencia</li> </ul>
Incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> <li>•eliminar la incertidumbre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•incorporar la incertidumbre</li> </ul>
Estadísticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Estadísticas estándar</li> <li>•experimentales</li> <li>•Cuidado con los errores Tipo I (en las pruebas de hipótesis, rechazar la proposición cuando es verdad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•estadísticas no estándar</li> <li>•Cuidado con los errores Tipo II (no rechazar la proposición cuando es falsa).</li> </ul>
Objetivo de la evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•evaluación de los pares para alcanzar un acuerdo unánime final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•evaluación de los pares, juicio para alcanzar consenso parcial</li> </ul>
El peligro	<ul style="list-style-type: none"> <li>•respuesta perfectamente correcta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•pregunta perfectamente</li> </ul>

	para la pregunta equivocada	correcta pero respuesta inútil
--	-----------------------------	--------------------------------

*Fuente : Holling (1998)*

Actualmente, se observa una diversificación paralela en los tipos de conocimiento-producción que se aceptan como legítimos. La democratización del conocimiento se extiende actualmente más allá de los jurados que evalúan competentemente la calidad de las pruebas técnicas (Jasanoff 1998) e incluye a aquellos que utilizan grupos de interés específicos en la red para controlar ciertos aspectos de sus males (enfermedad, contaminación, opresión, discriminación, explotación), antiguamente calificados de esotéricos y propiedad de especialistas. Además, se reivindica algún tipo de conocimiento en contextos aún más diversos, como entre los pueblos indígenas, y en las terapias complementarias y "tradicionales". Y estas exigen un creciente apoyo comercial y político de diversos públicos. La ciencia moderna, con su metodología característica y su ubicación social, está volviendo a situarse como una parte de este todo enriquecido.

Aquellos cambios en la ciencia no han sido independientes de los procesos históricos en el campo económico, tecnológico, social, cultural y medioambiental. Los cambios reflejan e influyen en la práctica social y en la imagen pública de la ciencia y el problema de la "garantía de calidad" de la perspectiva y de la investigación científica. Como respuesta a la necesidad de criterios socialmente relevantes que garanticen la calidad ha surgido la propuesta de una "ciencia posnormal" (Funtowicz y Ravetz 1992, 1993, 1999).

Sin embargo, en algunos casos los cambios también afectan a las reglas científicas y a los criterios de verdad fundamentales. Un ejemplo es la tensión y el predominio cambiante de las corrientes analítica e integradora en la ciencia ecológica (Holling 1998). Las diferencias entre ambas abarcan supuestos básicos sobre la causalidad, los criterios de verdad y la aceptabilidad epistemológica, así como los criterios de evaluación, entre otros (ver Cuadro 1).

La corriente analítica se centra en la investigación de las partes, y surge de las tradiciones de la ciencia experimental, que se centra en un objeto lo suficientemente estrecho con el fin de plantear hipótesis, recopilar datos y diseñar nuevas críticas para rechazar hipótesis inválidas. Debido a su base experimental, normalmente, la escala escogida tiene que ser pequeña en el espacio y breve en el tiempo.

La premisa de la corriente integradora es que el conocimiento del sistema siempre es incompleto. La sorpresa es inevitable. Rara vez habrá unanimidad entre los pares, sólo una línea cada vez más creíble de argumentos probados. No solo es incompleta la ciencia, el propio sistema es un blanco en movimiento, que evoluciona debido a los impactos de la gestión y de la progresiva expansión de la escala de influencias del ser humano sobre el planeta.

Aquellos aspectos cambiantes (procedimientos fundamentales, práctica social, imagen pública, garantía de calidad) son sumamente importantes para la investigación relacionada con las políticas, regidas por cuestiones políticas como la concentración de contaminantes permitida, los riesgos para la salud y, desde luego, la producción y el uso de la ciencia para un desarrollo sostenible, resumido como "ciencia de sostenibilidad".

La búsqueda del desarrollo sostenible plantea nuevos y profundos desafíos a las maneras en que definimos los problemas, identificamos las soluciones y llevamos a cabo las acciones.

A pesar de que, históricamente, la teoría y la práctica científica han tenido mucho éxito en la solución de lo que Weaver (1948) llamaba "problemas de sencillez" y problemas de "complejidad desorganizada", a veces se requieren cambios tanto en la teoría y práctica de la ciencia como en su utilización en la elaboración de políticas con el fin de abordar muchas situaciones actuales y emergentes más complejas y "problemáticas", así como asuntos característicos de los problemas de la "complejidad organizada".

La falta de adecuación del enfoque científico tradicional se ha revelado con claridad en el episodio de la enfermedad de las "vacas locas"<sup>3</sup>, una situación "problemática" paradigmática. Durante años, los investigadores y asesores acreditados aseguraron al gobierno del Reino Unido que la posibilidad de transferencia del agente infeccioso a los seres humanos era muy pequeña. No se dieron cuenta de los elementos en juego en la decisión implícitos en la política, donde la alarma pública y el gasto del gobierno se percibían como los principales peligros. El riesgo de una epidemia entre los humanos (con sus consiguientes costos) fue descartado por los expertos y, a la larga, oficialmente negado. Cuando los casos humanos de la neovariante ECJ<sup>2</sup> fueron confirmados y relacionados con la ECJ, expertos y funcionarios reconocieron que una epidemia de esta enfermedad degenerativa era un "riesgo no cuantificable". La situación se descontroló y la reacción de los consumidores amenazó no sólo la carne del Reino Unido, sino también a la industria cárnica de toda Europa.

A estas alturas tenía que adoptarse una decisión "drástica", a propósito del número de cabezas de ganado que se habría de sacrificar, cuya base era un cálculo muy "moderado" del número de cabezas que sería necesario sacrificar para devolver la seguridad a los consumidores de carne. Al mismo tiempo, los críticos independientes, que habían sido muy mal acogidos en el pasado, fueron admitidos en el diálogo. Sin desear de ninguna manera ese resultado, el Ministerio de Agricultura del Reino Unido había creado una situación de extrema incertidumbre del sistema, de grandes decisiones en juego y una comunidad de pares ampliada y legitimada (Funtowicz et al, 1999).

Todos estos cambios se pueden entender sistémicamente, como parte del carácter cambiante de la ciencia, y de nuevas contradicciones en su interior. No es para nada casual que el estilo reductivista extremo y analítico debería ser el de la investigación al servicio de los "conocimientos corporativos", porque de esa manera los aspectos contextuales de la ciencia, sobre todo sus efectos en el medio ambiente humano y natural, pueden ser considerados como "factores externos" con que los reguladores y los éticos tendrán que ponerse al día cuando puedan. Al contrario y como oposición, una nueva conciencia de la ciencia, sistémica y humanística, que asimila la incertidumbre y los compromisos con los valores y que abarca las comunidades ampliadas de pares, está asumiendo la causa del "conocimiento público", justo cuando el sector académico está siendo reducido a la impotencia. El problema es más claro en casos como los organismos genéticamente modificados, donde grandes incertidumbres medioambientales son ignoradas o reconocidas, y también en la ingeniería biomédica, donde la "salud" no es más que una enfermedad curada, y el tratamiento de los riesgos médicos y morales está igualmente polarizado entre las partes en debate.

## La nueva situación

La actitud predominante está arrojando insuficiencias críticas. Se empieza a reconocer como no accidental que en varios casos importantes, el propio éxito de los enfoques clásicos compartimentalizados ha provocado la agravación de los problemas medioambientales y de desarrollo que han sido abordados. Se introduce una incertidumbre fundamental debido a nuestra comprensión limitada de los procesos humanos y ecológicos, al indeterminismo intrínseco de los sistemas dinámicos complejos (entre ellos los componentes naturales, los fabricados por el hombre y los humanos) y por incontables elecciones y objetivos humanos. Por otro lado, hay importantes diferencias en el contexto histórico y la dinámica actual en comparación con los últimos decenios.

Por un lado, el mundo experimenta actualmente un periodo de extraordinarias turbulencias que reflejan el nacimiento y la intensificación de profundos cambios económicos, sociales, políticos y culturales relacionados con la actual revolución técnico económica. Además, la velocidad y la magnitud del cambio global, la interconexión creciente de los sistemas sociales y naturales a nivel planetario, y la creciente complejidad de las sociedades y de su impacto en la biosfera, da como resultado un alto nivel de incertidumbre y de impredecibilidad, que plantean nuevas amenazas (y también nuevas oportunidades) para la humanidad.

Por otro lado, las tendencias actuales son insostenibles (tanto ecológica como socialmente). Se ha reconocido oficialmente la necesidad de un cambio de dirección en la Cumbre de la Tierra, celebrada en junio de 1992. Sin embargo, aún no se ha definido claramente la nueva dirección y la mayoría de los debates y recomendaciones siguen estando muy compartimentalizados.

La complejidad de las situaciones y problemas ha aumentado rápidamente en los últimos decenios (Gallopín 1999, Munn et al. 1999). Esto se debe a diversas razones, como las siguientes.

**Cambios ontológicos:** los cambios provocados por el hombre en la naturaleza del mundo real, que avanzan a ritmos y escalas sin precedentes y cuyo resultado también es la creciente interconexión e interdependencia en numerosos niveles. Las moléculas de dióxido de carbono emitidas por la quema de combustibles fósiles (sobre todo en el norte) se unen con las moléculas de dióxido de carbono producidas por la deforestación (sobre todo en el sur) y provocan un cambio global del clima. Una crisis económica en Asia repercute en el sistema económico global y afecta a países muy distantes.

**Cambios epistemológicos:** cambios en nuestra comprensión del mundo relacionados con la conciencia científica moderna de la conducta de los sistemas complejos, entre ellos el reconocimiento de que lo no predecible y la sorpresa quizá se encuentren en los tejidos mismos de la realidad, no sólo en el nivel microscópico (es decir, el principio de incertidumbre ya conocido de Heisenberg) sino también en el nivel macroscópico, como se describirá más tarde.

**Cambios en la toma de decisiones:** en muchas partes del mundo, se abre camino un estilo más participativo en la toma de decisiones que reemplaza a los estilos tecnocráticos y autoritarios. Esto, junto con la aceptación cada vez más amplia de otros criterios, como el medio ambiente, los derechos humanos, el género y otros, así como el surgimiento de nuevos actores sociales, como las organizaciones no gubernamentales y las empresas transnacionales, conduce a un

aumento del número de dimensiones utilizadas para definir los temas, problemas y soluciones y, por ende, a una mayor complejidad.

## Los sistemas y la complejidad

Es cada vez más claro que la búsqueda de un desarrollo sostenible requiere integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos. Requiere la articulación constructiva de los enfoques de desarrollo de arriba abajo con las iniciativas de abajo arriba o de base. Requiere tener en cuenta simultáneamente las dimensiones locales y globales, y la forma en que interactúan. Y requiere ampliar los horizontes de espacio y tiempo para acoger la necesidad de la equidad intrageneracional e intergeneracional. En otras palabras, lo que se necesita no es ni más ni menos que un cambio fundamental en la manera en que enfocamos el desarrollo de las relaciones entre sociedad y naturaleza.

Para la ciencia, esto implica que es necesario integrar a un nivel mucho más amplio (y profundo) que sólo fomentar un estilo de investigación interdisciplinaria. Se requiere un enfoque verdaderamente sistémico complejo tanto de la práctica como del método de la ciencia.

El enfoque de sistemas es una manera de pensar en términos de interconexión, relaciones y contexto. Según este enfoque, las propiedades esenciales de un organismo, de una sociedad o de otros sistemas complejos son propiedades del conjunto, que surgen de las interacciones y las relaciones entre las partes. Las propiedades de las partes no son intrínsecas, y se pueden entender sólo dentro del contexto del todo más amplio. El pensamiento se concentra no en los componentes básicos sino en los principios básicos de la organización. Es "contextual", lo cual es lo opuesto del pensamiento analítico.

Mirar el sistema desde una perspectiva científica implica dos tareas básicas: una es la identificación y comprensión de las interrelaciones causales más importantes; los vínculos entre diferentes factores y diferentes escalas originan la posibilidad de que los cambios en un componente del sistema repercutan en otras partes del sistema. La otra tarea es comprender la dinámica del sistema. Además de la estructura de los componentes y vínculos, el análisis de las fuerzas que generan la conducta del sistema es esencial, incluyendo la investigación de cómo diferentes componentes y procesos interactúan funcionalmente para generar respuestas al sistema y propiedades emergentes, cómo el sistema se adapta y se transforma.

No ignoramos la existencia de un creciente volumen de excelentes investigaciones sistémicas. Sin embargo, la investigación sistémica no es la norma sino la excepción en la ciencia. Debido a las razones arriba citadas, es evidente que una ciencia relevante para el desarrollo sostenible tendría que ser fundamentalmente sistémica, y tener una visión del conjunto más que de las meras partes, y con un estilo de investigación interdisciplinaria. Además, los sistemas que tienen interés para el desarrollo sostenible son sistemas complejos, en el sentido definido más arriba.

La complejidad de los sistemas con que debemos tratar en el campo de la ciencia para el desarrollo sostenible es uno de los argumentos más decisivos para la necesidad de cambios en la producción y utilización de las ciencias.

Por sistema, queremos decir una conceptualización de una parte de la realidad definida por un conjunto de elementos interrelacionados. Los elementos pueden ser moléculas, organismos, máquinas o alguna de sus partes, entidades sociales o incluso conceptos abstractos. Puede que las interrelaciones, interconexiones o "acoplamientos"<sup>4</sup> entre los elementos también tengan manifestaciones muy diferentes (transacciones económicas, flujos de mercancías, energía o información, vínculos causales, etc.). El comportamiento y las propiedades de un sistema surgen no sólo de las propiedades de sus elementos constituyentes, sino también en gran medida de la naturaleza e intensidad de las interconexiones dinámicas entre ellas. Esto es especialmente cierto en los sistemas socio ecológicos<sup>5</sup>, que podemos definir como las unidades básicas para el desarrollo sostenible.

Se pueden definir un número infinito de sistemas sobre el mismo trozo de realidad, dependiendo de la perspectiva, el objetivo y la experiencia previa. Por otro lado, cada una de esas perspectivas o sistemas, si se construye con cierto esmero, tendrá alguna correspondencia con lo que existe "realmente allá afuera".

Distinguimos entre sistemas complejos y sistemas meramente complicados, y entre éstos y los sistemas sencillos<sup>6</sup>. Un sistema es "sencillo" si se puede representar adecuadamente utilizando una sola y única perspectiva o descripción y mediante un modelo estándar (por ejemplo, analítico) que proporcione una descripción satisfactoria o resolución general mediante operaciones de rutina (por ejemplo gases ideales, moción mecánica).

Un sistema es "complicado" cuando no se puede representar satisfactoriamente mediante la aplicación de un modelo estándar, si bien es posible mejorar la descripción o la solución mediante aproximaciones, informatización ó simulación. Sin embargo, un sistema complicado también se puede definir utilizando una perspectiva única (por ejemplo, un sistema de muchas bolas de billar en movimiento, autómatas celulares, el patrón de comunicaciones en un gran cuadro de mandos).

Consideramos como el criterio básico para separar lo "complejo" de lo complicado usar dos o más perspectivas o descripciones irreducibles con el fin de definir el sistema. Los sistemas complejos comparten la propiedad de no poder ser representados mediante la aplicación de un modelo genérico a través de operaciones de rutina.

La definición de complejidad no es nada trivial, y existen concepciones diferentes, pero uno de los puntos que queremos destacar es que la complejidad no es un resultado automático del aumento del número de elementos y/o relaciones en un sistema. Los sistemas complejos generalmente muestran un cierto número de atributos que dificultan más su comprensión y gestión que los sistemas sencillos y complicados:

*La multiplicidad de perspectivas legítimas.* Por ejemplo, es difícil entender un sistema adaptativo sin considerar también su contexto; no se puede alcanzar la solución de un conflicto por una cuestión de propiedad común sin tener en cuenta las perspectivas y los intereses de los diferentes participantes (sin que ninguna sea la perspectiva "correcta" o "verdadera").

*No linealidad.* Los sistemas complejos son no lineales, en el sentido de que muchas relaciones entre sus elementos son no lineales, por lo cual la magnitud de los efectos no son proporcionales



a la magnitud de las causas, y en un repertorio muy nutrido de comportamientos (por ejemplo, comportamiento caótico, multi-estabilidad debido a la existencia de estados estables alternativos, procesos descontrolados, etc.). Las no linealidades desempeñan un papel decisivo en la generación del comportamiento contraintuitivo típico de muchos sistemas complejos.

*Emergencia.* Denotado por la frase "el todo es más que la suma de sus partes", ésta es una propiedad sistémica, e implica que las propiedades de las partes se pueden entender solo en el contexto del todo más amplio y que el todo no puede ser analizado (sin residuos) en función de sus partes. La verdadera novedad puede surgir de las interacciones entre los elementos del sistema.

*Autoorganización.* El fenómeno por el cual los componentes en interacción colaboran para producir estructuras y comportamientos coordinados a gran escala (como los patrones creados por las estructuras disipativas estudiadas por Prigogine –Prigogine y Stengers 1979; Nicolis y Prigogine 1977, Jantsch 1980).

*Multiplidad de escalas.* Muchos sistemas complejos son jerárquicos en el sentido de que cada elemento del sistema es un subsistema de un orden menor, y el propio sistema es un subsistema de un "suprasistema" de un orden mayor. El punto importante es que en muchos sistemas complejos hay un fuerte acoplamiento entre los diferentes niveles y, por lo tanto, se debe analizar o gestionar el sistema en más de una escala simultáneamente<sup>7</sup>. Sin embargo, los sistemas en diferentes niveles de escala tienen diferentes tipos de interacción, y diferentes ritmos característicos de cambio. Por lo tanto, es imposible tener una perspectiva única, correcta, que lo abarque todo de un sistema, incluso en uno de los niveles del sistema. La pluralidad y la incertidumbre son inherentes al comportamiento de los sistemas.

*Incertidumbre irreductible.* Muchas fuentes de incertidumbre surgen en los sistemas complejos. Algunas son reductibles con más datos y con investigaciones complementarias, como la incertidumbre debida a procesos aleatorios (sometible a análisis estadístico o probabilístico) o debida a la ignorancia (por falta de datos, por conjuntos inapropiados de datos, por definición incompleta del sistema y sus fronteras, o por comprensión incompleta o inadecuada del sistema). Cuando pensamos en los sistemas socioecológicos complejos relacionados con temas de desarrollo sostenible, es claro que esas fuentes de incertidumbre pueden ser insuperables en la práctica aunque no lo sean en principio. Incertidumbres fundamentales e irreductibles pueden surgir de procesos no lineales (por ejemplo, el comportamiento caótico), en el proceso de autoorganización (por ejemplo, Prigogine demostró que la nueva estructura sistémica que surge de la reorganización de los elementos del sistema puede ser inherentemente impredecibles incluso en sistemas químicos sencillos- Prigogine y Stengers 1979, Nicolis y Prigogine 1977) y a través de la existencia de comportamientos decididos de diferentes actores o agentes, cada uno con su propio objetivo. Además, los sistemas complejos "autoconscientes" (o "reflexivos") que incluyen subsistemas humanos e institucionales, son capaces de observarse a sí mismos y su propia evolución, con lo cual abren nuevos repertorios de respuestas y nuevas interconexiones. En aquellos 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 masivo.

Si bien se pueden observar algunos de estos atributos de sistemas complejos en algunos sistemas complicados, e incluso sencillos (como la no linealidad, o la incertidumbre) hay que destacar que es probable que cualquier sistema complejo los tenga todos.

### La investigación científica en un mundo de complejidad sistémica

Queremos ilustrar algunas de las implicaciones de la complejidad sistémica para la investigación científica a través de la reflexión sobre los siguientes dos puntos:

1. Las fluctuaciones pueden regir sobre los promedios. Esto ha sido demostrado en diversos casos de la física, la química y la biología por Prigogine y sus colegas (Nicolis y Prigogine 1977) y en la gestión de recursos naturales por Holling y sus colegas (Gunderson *et al* 1995) en el sentido de que las micro fluctuaciones (externas o internas al sistema) pueden, en ciertas circunstancias, conducir a una reestructuración drástica del nivel macro. Pensemos en la investigación para el desarrollo y en las pruebas de fármacos en un mundo sistémico, auto-organizado. Las pruebas de fármacos se suelen considerar estadísticamente de bajo riesgo, con un promedio de muertes o víctimas de daños irreversibles en menos del 0,1% de los casos. Sin embargo, si el sistema es "prigogineano", una alteración se puede amplificar y llegar a cambiar los valores medios. En ese caso, los intentos para lidiar estadísticamente con aquellas situaciones son insatisfactorios no sólo social sino también científicamente, y los "efectos secundarios" pueden ser imprevisibles y más importantes que los efectos deseados.

2. La investigación científica sobre los sistemas complejos, autoconscientes como aquellos que son relevantes para el análisis de los riesgos de los cambios medioambientales, y los riesgos nucleares o para la salud y otros por el estilo, tal vez tengan que lidiar con un conjunto de complejidades en diferentes niveles. El juego entre los factores en los diferentes niveles y capas aumenta la complejidad intrínseca de cada una de las capas. Hay al menos tres niveles en que la complejidad influye en la investigación científica:

- La realidad física, donde entran en juego las propiedades de autoorganización, 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 sean aceptadas como igualmente válidas).
- La necesidad de tener en cuenta diferentes "intencionalidades" (objetivos diferentes).

La atención hacia aquellas propiedades de sistemas complejos no sólo es necesaria para el perfeccionamiento de la investigación científica, sino que la existencia y naturaleza de estas propiedades también es interesante e importante como tema de investigación científica.

Por otro lado, la atención destinada a las propiedades de los sistemas complejos presenta dificultades para las convenciones establecidas de la práctica científica y de asesoría especializada dentro de la comunidad científica. Se puede obtener una gran perspectiva en relación al tipo de potenciales que un determinado sistema puede tener. Sin embargo, el "espacio de resultados factibles" en estas circunstancias está caracterizado *ex ante* por una

indeterminación inherente y *ex post* por factores irreversibles. El conocimiento como perspectiva y comprensión no es en absoluto sinónimo de capacidad para formular predicciones. De la misma manera, la conciencia del riesgo no es sinónimo de capacidad de intervenir para disminuir o controlar los riesgos.

Podríamos dar numerosos ejemplos. Algunos figuran actualmente en las noticias, entre ellos, las emisiones a la atmósfera de gases del efecto invernadero y las perturbaciones de los patrones climáticos; los procesos de clonación, donde la transmisión de la "edad biológica" de la célula es un fenómeno complejo; los fármacos cuyos "efectos secundarios" son impredecibles en el tiempo y varían de una a otra especie; el procesamiento genético y las posibles consecuencias para la biología de las poblaciones (incluyendo la posible fertilización cruzada de linajes genéticamente modificados y no modificados de plantas agrícolas comerciales); los experimentos sobre el ciclo del combustible nuclear; nuevos elementos químicos producidos o subproducidos para procesos industriales.

El carácter borroso de las posibilidades de producción o, en otras palabras, el nuevo reconocimiento (aunque no sea realmente tan nuevo) de las profundas consecuencias irreversibles generadas por la aventura científica, tiene consecuencias de mucho peso para orientar las opciones sociales (Funtowicz, Ravetz y O'Connor 1998; Funtowicz y O'Connor 1999). No pretendemos reseñar la extensa literatura que ha surgido en los últimos treinta años sobre las incertidumbres y los riesgos tecnológicos. Uno de los temas que emerge es la idea de que la investigación científica podría promover una actitud reflexiva sobre los riesgos, permitiendo la siguientes líneas de razonamiento:

- la naturaleza (incluyendo los seres humanos vivos) abarca procesos estructurados delicadamente y vulnerables a las perturbaciones;
- La búsqueda de conocimientos no es un simple proceso de observación que se limita a aumentar el inventario de conocimientos sobre materias primas expuestas en el mercado. Más bien, es un proceso de intervención que, a través de aprender haciendo, proporciona conocimientos acerca de las posibilidades de transformaciones inducidas;
- En el proyecto científico "clásico", también se ha sostenido (o esperado) que estas posibilidades de transformación puedan ser dominadas en el sentido de poder controlar y contener estos potenciales de transformación;
- Sin embargo la perspectiva de consecuencias descontroladas y a veces arrolladoras de las intervenciones (o de los mecanismos de explotación y control) está siempre presente.

Muchos científicos dirán que esto no es nuevo, y que la ignorancia y el carácter incompleto del conocimiento siempre se ha reconocido en el proyecto científico. Sin embargo, lo que está en juego no es el reconocimiento de una ignorancia parcial sino, más bien, la importancia que debe otorgarse a las fuerzas del cambio utilizadas bajo condiciones de incapacidad para ejercer el control sobre los posibles resultados.

En el pasado ha habido (y aún hoy en día está muy generalizado) un importante proceso ideológico que ha protegido la práctica de la ciencia de tener que abordar profundamente este rasgo de descontrol inherente. Primero, la tendencia consistía en definir el dominio de la ciencia como aquél donde "se pueden encontrar soluciones". En segundo lugar, y estrechamente

relacionado, se ha privilegiado ideológicamente al objetivo deseado, un resultado deseado, por encima de los "efectos secundarios" no intencionados (que pueden tener aspectos inconvenientes o indeseados).

En resumen, el progreso científico era considerado una parte del carácter perfectible de la condición humana. Cualquier efecto descontrolado del cambio es interpretado como síntoma de la imperfección de los conocimientos actuales y/o de sus aplicaciones, bajo el supuesto de que más conocimientos disminuirán las incertidumbres, aumentarán la capacidad de control y permitirán redimir errores del pasado.

Aquí, vemos funcionando una idea instrumental de la ciencia y, en un nivel más profundo, una ideología de dominación. Esta ideología partidista sustituye lo que, se podría sostener, es un espíritu verdaderamente más científico que permitiría que los efectos incontrolados fueran no sólo inevitables sino quizá la propia esencia del proceso de aprendizaje- conocimiento.

## Conclusiones

Sostenemos que la búsqueda de un desarrollo sostenible y el desarrollo histórico de nuestra época requiere modificaciones y perfeccionamientos no sólo en la divulgación y uso de los descubrimientos científicos sino también en la manera en que la propia ciencia se desenvuelve.

Sostenemos que la identificación y prueba de los cambios necesarios en los métodos científicos, en los criterios de verdad y de calidad, y en los marcos conceptuales es, en sí mismo, un tema legítimo e interesante para la investigación científica.

La investigación de los cambios necesarios requerirá tiempo y exigirá la participación de investigadores y disciplinas diferentes, naturales y sociales. En este caso, destacamos solo unas cuantas implicaciones prácticas que se pueden derivar de nuestro análisis.

Postulamos una propiedad sistémica fundamental. Esto no implica que cada pequeña parcela de investigación debería adoptar un enfoque sistémico. Hay muchos casos en que las interconexiones y el contexto pueden ser ignorados sin problemas. Pero pensamos que es responsabilidad del científico pensar en los impactos potenciales de su investigación científica desde el principio, así como evaluar hasta qué punto la naturaleza sistémica e interconectada de la realidad se puede ignorar con seguridad. Destaquemos que este argumento se basa en argumentos científicos, no en valores sociales ni preferencias individuales.

En un sentido más restrictivo, al menos en el caso de los productos tóxicos, los desechos de larga duración o los nuevos productos que tengan un potencial permanente de alteración (como los productos de recombinación genética), cualquier científico o innovador que promueva un nuevo producto o solución debería considerar la posible importancia del "Error Tipo-II" (no rechazar una hipótesis falsa) y justificar públicamente la decisión de ignorarla, puesto que la ausencia de pruebas de peligro no es lo mismo que pruebas de la ausencia de peligro.

La navaja de Occam es un buen ejemplo de una regla científica que podría cambiarse en la nueva ciencia de sostenibilidad. La regla, como se suele enunciar, de "no se debería aumentar más allá de lo necesario el número de entidades requeridas para explicar cualquier cosa", sigue siendo

válida en un mundo de complejidad sistémica, si bien la definición de "qué es necesario" tal vez requiera una ampliación drástica para dar cuenta de las interconexiones entre el objeto de estudio y otras partes de la realidad.

Una práctica útil en la investigación científica sería siempre definir el sistema dentro del cual aislamos o delineamos el problema investigado, y buscar interconexiones relevantes. En otras palabras, mirar hacia el exterior para analizar cómo el tema/problema está vinculado a otras variables, temas o sistemas (vínculos horizontales y verticales o de escalas transversales) en el tiempo y el espacio. Sólo entonces podemos ignorar significativamente el resto del sistema (si los vínculos son insignificantes<sup>8</sup>) o decidir cómo, y hasta qué punto, incluir el sistema más amplio en la investigación.

La complejidad de los sistemas y subsistemas implicados en una investigación de desarrollo sostenible, con la incertidumbre irreductible y las capacidades de autoorganización asociadas, señala que deberíamos alejarnos de las recetas y reglas rígidas hacia la búsqueda de principios generales y preguntas orientativas para dirigir las investigaciones.

En la caracterización del tema o problema y su posible evolución, incluimos todos los factores importantes, incluso aquellos que no son cuantificables. Se pueden utilizar diferentes análisis científicos y no científicos y criterios de verdad para abordar diferentes factores, pero si no están incluidos en la definición inicial del problema es poco probable (o difícil) incluirlos más tarde. Es preferible tener una respuesta aproximada para el conjunto del problema/tema, que una respuesta precisa para un componente aislado.

Al abordar un tema o problema, distinguir claramente entre la base de conocimientos (incluyendo las incertidumbres científicas) y las decisiones políticas (que incorporarán valores sociales).

Asegurar que la conceptualización científica del problema incluya, desde el comienzo mismo del proceso científico, la identificación de los indicadores relevantes de las políticas. Comprometer a los responsables de las políticas y participantes en la definición inicial del problema.

Considerar el posible repertorio de comportamientos del conjunto del sistema, lo más ampliamente posible (no sólo el comportamiento histórico). Sobre esta base, prepararse para la novedad, el cambio estructural y la sorpresa.

Valorar la información generada por las respuestas de sistemas a las políticas y las acciones humanas.

El nuestro, desde luego, no es una llamado a relajar el rigor científico. Al contrario, creemos que una "ciencia de sostenibilidad", además de tener una gran importancia práctica y social, debería ser más rigurosa obteniendo mejor información acerca de la naturaleza interconectada y compleja de la realidad, una realidad que la propia ciencia nos está revelando.

*Traducido del inglés*

---

## Notas

---

1. Debe señalarse que la mayoría de las veces la palabra "ciencia" fue usada en la Conferencia con el significado de "ciencias naturales".
2. Encefalopatía bovina espongiforme.
3. Enfermedad de Creutzfeld-Jakob. La encefalopatía espongiforme humana más común, que se caracteriza por una demencia de rápida progresión.
4. En términos abstractos, los elementos y las relaciones entre los elementos definen un sistema. La palabra "relación" se utiliza aquí ampliamente para incluir también otras palabras similares como "limitación", "estructura", "organización", "cohesión", "interconexión", "correlación", "patrón".
5. Un sistema socioecológico ha sido definido como cualquier sistema que contenga a la vez componentes ecológicos (o biofísicos) y humanos, y cuya escala fluctúe entre la de los hogares y la escala planetaria (Gallopín *et al.* 1989).
6. Ver el sitio de Internet <http://inn.ingrm.it/compsys/manife.htm>.
7. En un sentido más general, se trata de la multiplicidad de niveles en un sistema jerárquico (de los cuales la escala es un caso especial). Para una discusión más amplia de los sistemas jerárquicos en el contexto del desarrollo sostenible, ver Gallopín (1991).
8. Pero no sólo porque, por ejemplo, el montaje experimental está prediseñado para eliminar los vínculos.

---

## Referencias

---

- CGIAI (Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional), 1993. *The Eco-regional Approach to Research in the CGIAR*. Informe del Grupo de Trabajo de los Directores de Centros/TAC. CGIAI Reunión Intermedia, Puerto Rico, mayo, 1993.
- CIUC (Consejo Internacional de Uniones Científicas), 1999. Número especial de *Science International*. Septiembre, 1999. París: CIUC.
- CROSSEN, C., 1994. *Tainted truth: the manipulation of fact in America*. Nueva York, N. Y.: Simon & Schuster.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1992. "Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post- Normal Science." En: S. Krimsky and D. Golding (eds.) *Social Theories of Risk*. pp. 251-273. Greenwood: Westport CT.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1993. "Science for the Post-Normal Age." *Futures* 25 (7): 735-755.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J., 1999. "Post-Normal Science - an insight now maturing." *Futures* 31(7): 641-646.

FUNTOWICZ, S. *et al*, 1999. "Information tools for environmental policy under complexity." (*Environmental Issues Series No. 9*) European Environment Agency. Copenhagen.

FUNTOWICZ, S.O.; O'CONNOR, M., 1999. "The Passage from Entropy to Thermodynamic Indeterminacy: A Social and Science Epistemology for Sustainability", pp.257-286 *En: K. Mayumi y J. Gowdy (eds., 1999), Bioeconomics and Sustainability: Essays in Honour of Nicholas Georgescu-Roegen*, Edward Elgar, Cheltenham.

FUNTOWICZ, S.O.; RAVETZ, J.R.; O'CONNOR, M., 1998. "Challenges in the Utilisation of Science for Sustainable Development", *International Journal of Sustainable Development*, 1(1), pp.99-108.

GALLOPÍN, G.C. 1991. "Human dimensions of global change: linking the global and the local processes." *Int. Social Science Journal* 130: 707-718.

GALLOPÍN, G.C. 1999. "Generating, Sharing and Utilizing Science to Improve and Integrate (Oceans) Policy." Número especial: "Science and Sustainable Development." *The International Journal of Sustainable Development* 2(3): 397-410.

GALLOPÍN, G.C.; GUTMAN, P; MALETTA, P., 1989. "Global Impoverishment, Sustainable Development and the Environment. A Conceptual Approach." *Int. Social Science Journal* 121: 375-397.

GUNDERSON, L.H.; HOLLING, C.S.; LIGHT, S.S., (eds.) 1995. *Barriers and Bridges to the Renewal of Ecosystems and Institutions*. Nueva York.: Columbia Univ. Press.

HOLLING, C.S., 1998. "Two cultures of ecology." *Conservation Ecology* (online) 2 (2): 4 (<http://www.consecol.org/vol2/iss2/art4>).

HUBER, P.W., 1991. *Galileo's revenge: junk science in the courtroom*. Nueva York, N. Y.: Basic Books.

JANTSCH, E. ,1980. *The Self-organizing Universe*. Oxford: Pergamon Press.

JASANOFF, S., 1990. *The Fifth Branch: Science Advisors as Policymakers*. Harvard: Harvard University Press.

JASANOFF, S., 1998. "The Eye of Everyman: Witnessing DNA in the Simpson Trial." *Social Studies of Science* 28 (5-6): 713-740.

JASANOFF, S., *et al*, 1997. "Conversations with the Community: AAA and the Millennium." *Science* 278: 2066-2067.

LUBCHENCO, J., 1997. "Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science." *Science* 279: 491-497.

MUNN, T.; WHYTE, A; TIMMERMAN, P., 1999. " Emerging Environmental Issues: A Global Perspective of SCOPE." *Ambio* 28 (6): 464-471.

NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I., 1977. *Self-organization in Non-equilibrium Systems: From Dissipative Structures to Order Through Fluctuation*. Nueva York: Wiley.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I., 1979. *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la Science*. París: Gallimard.

RAVETZ, J., 1996. *Scientific Knowledge and its Social Problems*. New Jersey: Transaction.

ROSE, H.; ROSE, S., 1976. *The Political Economy of Science*. Londres: Macmillan.

WEAVER, W., 1948. "Science and complexity." *Am. Sci.* 36: 536-544.