

La segunda revolución copernicana de Kant a Kuhn: el paradigma de la sostenibilidad y la ética del cambio climático¹

The second Copernican revolution from Kant to Kuhn:
the sustainability paradigm and the ethics of climate change

IGNACIO AYESTARÁN*

Resumen: Este artículo aporta temas de ciencia, política, economía y ética. La primera sección muestra el tránsito de la primera revolución copernicana a la segunda revolución copernicana en el estudio global de la sostenibilidad y la ética del cambio climático. La segunda sección presenta la «paradoja de Giddens» y el programa hilbertiano de la Ciencia del Sistema Tierra, que presuponen un desafío paradigmático. Finalmente, la tercera sección enlaza este desafío metodológico con la descripción de la «ciencia post-normal» y la «cadena de la transdisciplinariedad» en una epistemología post-kuhniana.

Palabras clave: Kant, Kuhn, Revolución copernicana, Paradigma, Sostenibilidad, Ciencia, Ética.

Abstract: This article raises issues of science, politics, economics and ethics. The first section presents the ontological transition from the first Copernican revolution to the second Copernican revolution in the global study of sustainability and the ethics of climate change. The second section describes the «Giddens's paradox» and the Hilbertian program of the Earth System Science, that presuppose a paradigmatic challenge. Finally, the third section links this methodological challenge to the description of the «post-normal science» and the «transdisciplinarity chain» in a post-Kuhnian epistemology.

Key words: Kant, Kuhn, Copernican revolution, Paradigm, Sustainability, Science, Ethics.

1. La segunda revolución copernicana y el cambio global

En la *Crítica de la razón pura* Immanuel Kant había establecido una revolución copernicana en la historia del pensamiento y de la ciencia. Apelando a la forma de hacer ciencia de la revolución de la ciencia natural (física y matemática) de su época, el pensador de Königsberg postulaba una revisión de los logros del conocimiento de la naturaleza a partir de la razón crítica. Cuando Galileo Galilei hizo bajar por el plano inclinado unas bolas de un peso elegido previamente por él mismo, o cuando su discípulo Evangelista Torricelli hizo que el aire sostuviera un peso que él, de antemano, había supuesto equivalente al de un deter-

Fecha de recepción: 18 febrero 2009. Fecha de aceptación: 18 junio 2009.

1 Este artículo es fruto del proyecto UNESCO08/20, «La sostenibilidad como paradigma post-kuhniano», financiado por la Cátedra UNESCO de Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental de la UPV/EHU.

* Dirección: Dpto. de Filosofía, FICE, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Avenida Tolosa, 70. – 20018 Donostia / San Sebastián; ignacio.ayestaran@ehu.es

minado volumen de agua, entonces los investigadores de la naturaleza comprendieron que la razón abordaba la naturaleza llevando en una mano los principios según los cuales sólo pueden considerarse como leyes los fenómenos concordantes, y en la otra, el experimento que ella haya proyectado a la luz de tales principios (*KrV*, B XII-XIII). El espíritu de esta revolución estriba en «que sólo conocemos a priori de las cosas lo que nosotros mismos ponemos en ellas» previamente (*KrV*, B XVIII). Ésta es la enseñanza metodológica de la revolución copernicana a juicio de Kant:

«Ocurre aquí como en los primeros pensamientos de Copérnico. Éste, viendo que no conseguía explicar los movimientos celestes si aceptaba que todo el ejército de estrellas giraba alrededor del espectador, probó si no obtendría mejores resultados haciendo girar al espectador y dejando las estrellas en reposo» (*KrV*, B XVI).

Y en una nota del segundo prólogo a la *Crítica de la razón pura*, precisa nuevamente el sentido de esta revolución desde Copérnico hasta Newton:

«Las leyes centrales de los movimientos de los cuerpos celestes proporcionan así completa certeza a lo que Copérnico tomó, inicialmente, como simple hipótesis, y demostraron, a la vez, la fuerza invisible que liga la estructura del universo (la atracción newtoniana). Esta atracción hubiera permanecido para siempre sin descubrir si Copérnico no se hubiese atrevido a buscar, de modo opuesto a los sentidos, pero verdadero, los movimientos observados, no en los objetos del cielo, sino en su espectador. Por mi parte, presento igualmente en este prólogo la transformación de este pensamiento –que es análoga a la hipótesis mencionada– expuesta en la crítica como mera hipótesis» (*KrV*, nota de Kant a B XXI).

Esta revolución copernicana que tanto fascinó a Kant se produjo con el perfeccionamiento y mejoramiento de los instrumentos ópticos que colocaron la Tierra en su lugar astronómico correcto. Hoy, más de 500 años después de Nicolás Copérnico, sofisticadas técnicas de análisis y síntesis de la información –incluyendo las técnicas de simulación de modelos– están realizando una «segunda revolución copernicana» (Schellnhuber 1999). Esta última revolución se está convirtiendo en una inversión parcial de la primera. A través de una visión global de la evolución y la historia de la Tierra, permite percibir nuestro planeta como una sola entidad compleja, disipativa, dinámica, lejos del equilibrio termodinámico. Provista de unas técnicas y metodologías que eran impensables en la época de Kant, esta revolución pretende comprender el sistema de la Tierra en su conjunto y, sobre esta base cognitiva, los instrumentos de gestión del ambiente global, utilizando métodos y modelos tanto a priori como a posteriori.

El concepto de esta nueva revolución copernicana se basa en la primera y, sin embargo, la trasciende en varios puntos (Clark, Crutzen y Schellnhuber 2004, p. 7):

1. El ojo científico es redirigido desde el espacio exterior a nuestra «Tierra viviente», que funciona como un único sistema dinámico muy lejos del equilibrio termodinámico que caracteriza a los planetas «muertos» como Venus.

2. La ambición científica es recalificada por la plena aceptación de los límites cognitivos destacados en las notorias incertidumbres asociadas con la no linealidad, la complejidad y la irreproductibilidad de los fenómenos investigados.
3. El *ethos* científico es reequilibrado al aceptar que la generación de conocimientos está íntimamente ligada al contexto histórico-cultural. La comunidad científica se convierte en parte de sus propios enigmas, los especímenes de investigación pasan a ser parte de sus propias explicaciones, y la coproducción se convierte en la manera normal de hacer frente a los desafíos cognitivos de una Tierra en transformación.

La primera revolución copernicana situaba nuestro planeta en su correcto contexto astrofísico. Esta segunda revolución copernicana sitúa a la humanidad en un nexo adecuado con el ambiente y los ecosistemas de la Tierra. La sostenibilidad de la geobiosfera ahora se ve indisolublemente vinculada con el desarrollo humano a nivel mundial desde un sistema simbiótico, pues, como ha subrayado Lynn Margulis (1998), vivimos en un planeta simbiótico. La esencia de una segunda revolución copernicana, por tanto, es el reconocimiento y el respeto de la inalterable relación simbiótica entre el futuro bienestar de la humanidad y la integridad de los procesos ambientales que son necesarios para sostener ese futuro. Esto presupone un desafío epistémico y cognitivo, tanto en la metodología de la ciencia como en la filosofía de la tecnociencia, porque hay que reconsiderar el papel del sujeto humano en su lugar astronómico y terrestre, con herramientas *a priori* y *a posteriori*, en un nuevo marco de estudio *a fortiori*. Desde los Estudios de Ciencia y Tecnología, así como desde los estudios de filosofía de la tecnociencia, se ha propuesto también una segunda revolución copernicana o, como la ha denominado Bruno Latour, una «contrarrevolución copernicana» donde se produzca la «inversión de la inversión»:

«La revolución copernicana de Kant (...) ofrece el modelo acabado de las explicaciones modernizadoras haciendo girar el objeto alrededor de un nuevo centro multiplicando los intermediarios para anular poco a poco la distancia [entre sujetos y objetos]. Pero nada nos obliga a tomar esta revolución como un acontecimiento decisivo que nos habría puesto para siempre en el camino seguro de la ciencia, la moral y la teología. Yo llamo contrarrevolución copernicana a esa inversión de la inversión. O más bien a ese deslizamiento de los extremos hacia el centro y hacia abajo que hace girar tanto el objeto como el sujeto en torno a la práctica de los cuasi-objetos y los mediadores. No necesitamos enganchar nuestras explicaciones a esas dos formas puras, el objeto o el sujeto-sociedad, porque son ellas, por el contrario, las que son resultados parciales y purificados de la práctica central, única que nos interesa. Son el producto del *cracking* purificador y no su materia prima. En efecto, la naturaleza gira, pero no alrededor del sujeto-sociedad. Gira alrededor del colectivo productor de cosas y de hombres. En efecto, el sujeto gira, pero no alrededor de la naturaleza. Es obtenido a partir del colectivo productor de hombres y cosas. El Imperio del Medio finalmente resulta representado. Naturalezas y sociedades son sus satélites» (Latour 2007, p. 118).

Cuando alguien se acerca a problemas complejos como el agujero de la capa de ozono o el cambio climático global –problemas claves en el paradigma emergente de la sostenibilidad– se hacen precisas nuevas herramientas de análisis, nuevas ontologías de geometrías variables a través de redes complejas de sujetos y objetos (tanto humanos como no humanos) interrelacionados. En estos casos los análisis disciplinarios aislados no conducen a soluciones adecuadas y mucho menos si usamos paradigmas donde los fenómenos naturales y los asuntos humanos aparecen en mundos ontológicamente separados, tal y como lo ha puesto de relieve Latour de forma irónica pero clarividente:

«Aprieten el aerosol más inocente y se verán llevados hacia la Antártica, y de ahí hacia la Universidad de California de Irving, las cadenas de montaje de Lyon, la química de los gases inertes, y de ahí quizás hacia la ONU, pero ese hilo frágil será roto en otros tantos segmentos cuantas disciplinas puras hay: no mezclemos el conocimiento, el interés, la justicia, el poder. No mezclemos el cielo y la tierra, lo global y lo local, lo humano y lo inhumano. «Pero, ¿esas madejas constituyen la mezcla –dirán ustedes–, tejen nuestro mundo?» «Que sea como si no existieran», responden los analistas. Ellos cortaron el nudo gordiano con una espada bien afilada. El timón se ha roto: a la izquierda el conocimiento de las cosas, a la derecha el interés, el poder y la política de los hombres» (Latour 2007, p. 17).

Desde este nuevo paradigma epistémico y ontológico, se está planteando en la actualidad un profundo debate filosófico sobre la ética del cambio climático, a través de autores como Nicholas Stern (2007), William Nordhaus (2008), John Broome (2008) o Susanne C. Moser y Lisa Dilling (2007), que están planteando un cambio de paradigma moral que presupone esta nueva ontología de los problemas complejos y globales. Un ejemplo de este cambio es el recientemente declarado y publicado *White Paper on the Ethical Dimensions of Climate Change*, (cf. Brown, Tuana et al. 2006) que constituye un programa seminal sobre múltiples fuentes filosóficas, impulsado por diferentes universidades y profesores de filosofía. En esta segunda revolución copernicana se está cumpliendo la necesidad de incluir imperativos ecológicos orientados hacia el futuro para la supervivencia de la humanidad, más allá de las limitaciones temporales del imperativo categórico kantiano, como ya señalara en su día Hans Jonas (1979) –cf. también para este punto la contribución desde la ética de la tecnología de Jorge Enrique Linares (2008, pp. 307-308)–, en lo que podría denominarse una «ética de la sostenibilidad global» (Ayestarán 2007 y 2008).

La ética del cambio climático global se sumerge en una complejidad de debates sobre las vulnerabilidades, como bien ha mostrado Carmen Velayos (2008), al analizar el daño a la naturaleza no humana, el daño al otro a través del daño a la naturaleza no humana y el daño a las generaciones futuras. También hay que destacar que la raíz ética de estos problemas emerge incluso en las investigaciones más utilitaristas y economicistas, pues todas ellas deben evaluar las tasas de descuento en escenarios futuros, siendo éstos un área que excede los límites de la ciencia de los hechos y se introduce en la axiología de los valores y de la ética sobre el modelo de sociedad que se desea (un buen enfoque de este problema se ve en Broome 2008). El énfasis ético de estas disquisiciones también procede de la complejidad de los problemas ontológicos y epistémicos que supone evaluar y valorar el sistema com-

plejo del cambio global. El esfuerzo implícito para la humanidad a fin de articular un saber transdisciplinar global frente a los problemas ambientales complejos va a suponer una nueva forma de valorar la ciencia, más allá del diseño de modelos y la medición de indicadores al uso, llegando hasta las fronteras de los valores éticos y filosóficos. Así, Juan Negrillo, representante de *The Climate Project Spain*, declaraba una buena anécdota (cf. periódico *El País*, 14 de febrero del 2008) sobre la inevitable necesidad de incluir valores éticos y filosóficos ante el problema del cambio climático global:

«Un día, un científico del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (formado por más de 2.000 expertos) me contó una historia que me parece que viene muy al caso. Me dijo que cuando el panel empezó a reunirse, hace ya unos 20 años, había en el grupo un anciano científico japonés que en una de las reuniones intervino y dijo: ‘los científicos hemos constatado que existe un problema de emisiones, pero no lo podemos resolver. Puesto que el CO₂ lo producen las máquinas, tendremos que llamar a los ingenieros. Éstos, a su vez, dirán que existe la tecnología necesaria para solucionar el problema, pero que cuesta dinero, así que se llamará a los economistas. Los economistas harán sus cálculos y dirán que, para conseguirlo, habrá que cambiar nuestro actual modelo social basado en el transporte, el derroche energético... así que se llamará a los sociólogos. Éstos, a su vez, dirán que es un problema de escala de valores que ellos no pueden resolver, así que se acudirá a los filósofos para que nos digan en qué valores deberíamos poner nuestro empeño e interés».

En efecto, hay varias preguntas concernientes a la filosofía política y a la ética pública que desbordan el marco de la ciencia y de la tecnología, a partir del criterio de equidad y justicia que se quiera aplicar para el debate ciudadano en las negociaciones futuras sobre el clima. Por mencionar sólo dos: ¿cómo deberían asignarse los derechos de emisión de gases de efecto invernadero?, y ¿quién debería asumir los costes de reducir las emisiones y de la adaptación al cambio climático? Tal y como ha expuesto Gary Gardner (2009), hay por los menos cuatro principios de equidad climática en juego, ya que los derechos de emisión pueden vincularse a dos principios éticos de justicia distributiva –el Principio de Igualdad y el Principio de Soberanía– y el coste económico de mitigación del cambio climático puede supeditarse a otros dos principios éticos de justicia distributiva –el Principio de Quien Contamina Paga y el Principio de Capacidad de Pago–. Los cuatro principios aludidos se expresan sucintamente de la siguiente forma:

1. El *Principio de Igualdad* afirma que la asignación de emisiones de gases de efecto invernadero debería ser igual para todas las personas del mundo, más allá de la representación de los Estados y de las Naciones. Siguiendo un estricto carácter de justicia distributiva para las personas, este principio otorga a los países más poblados el mayor número de derechos de emisión. Por ejemplo, la India, con 3,8 veces más población que Estados Unidos, tendría derecho a 3,8 veces la asignación de emisiones de Estados Unidos.

2. El *Principio de Soberanía* sostiene que todos los países deberían reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un mismo porcentaje, es decir, los grandes emisores tendrían que hacer unas reducciones absolutas mayores que los emisores con menor volumen. Por seguir con el ejemplo anterior comparando la India y Estados Unidos, en virtud de un hipotético acuerdo para reducir las emisiones en un 10%, Estados Unidos debería reducir sus emisiones en unos 579 millones de toneladas de CO₂, mientras que la India recortaría sus emisiones en 141 millones de toneladas.
3. El *Principio de Quien Contamina Paga* asevera que las cargas económicas relacionadas con el clima de origen antropogénico deberían ser repartidas entre los países de acuerdo con sus emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo (a partir de una fecha referenciada). Siguiendo el ejemplo comparativo entre India y Estados Unidos, si se toma como referencia histórica que este país americano ha emitido desde 1950 alrededor de 10 veces el volumen de CO₂ generado por la India, entonces la factura de costes del cambio climático de Estados Unidos debe ser unas 10 veces superior a la del país asiático.
4. El *Principio de Capacidad de Pago* expresa que la carga económica de los costes asociados con el clima de origen antropogénico debería ser soportada por los países en proporción a su nivel de riqueza. En el mencionado ejemplo de India y Estados Unidos, si se utiliza el Producto Interior Bruto para determinar cuánto debe pagar respectivamente cada país, la responsabilidad de Estados Unidos sería 12 veces superior a la de la India.

La determinación de los costes económicos en las políticas de mitigación del cambio climático también conllevan interesantes consecuencias para la filosofía política y la ética de las relaciones Norte-Sur, tal y como han calculado Iñaki Barcena, Rosa Lago y Unai Villalba (2009, pp. 30-32). Estos autores han realizado algunas cuentas basadas en la deuda de carbono a partir de los criterios y datos establecidos tanto por la Unión Europea como por el IPCC o Panel Intergubernamental del Cambio Climático. De acuerdo con la propuesta inicial de la Comisión Europea para gravar cada tonelada emitida de CO₂ con un coste de 100 euros por tCO₂ dentro del mercado interno de emisiones de gases de efecto invernadero, han aplicado el siguiente cálculo:

$$\text{Deuda de carbono} = \text{Exceso de emisiones (tCO}_2\text{)} \times \text{Precio tCO}_2 \text{ euros}$$

Siguiendo datos de emisiones de CO₂ correspondientes sólo a 1990, año base de las mediciones del Protocolo de Kioto, entonces, con los criterios de la Comisión Europea, la deuda de carbono = 9,805 · 10⁹ (tCO₂) * 100 euros = 5,6869 · 10⁸ millones de euros = 980.500 millones de euros en 1990. Según esta medida monetaria se colige que la estimación de la deuda del carbono según la UE ascendería a 980.500 millones de euros tan sólo en el año 1990. El total de deuda externa acumulada de los países latinoamericanos era en el mismo año de 787.145 millones de euros. Sólo en un año, el Norte debería al Sur casi 200.000 millones de euros.

2. El paradigma del programa hilbertiano de la Ciencia del Sistema Tierra

El estudio de este cambio global desde la segunda revolución copernicana procede de una nueva consideración de la situación a examinar que excede los límites metodológicos de la ciencia galileano-newtoniana en los inicios de la Revolución Científica. Problemas ambientales complejos como el cambio climático de origen antropogénico sólo pueden ser diagnosticados y evaluados si se apela a una multiplicidad de disciplinas y saberes que superen el marco moderno de la ciencia natural. A modo de ejemplo, algunos autores (Duarte et al. 2006, p. 132) han descrito algunas de las disciplinas científicas básicas y sus aportaciones fundamentales para estudiar el cambio climático global:

- *Paleociencias*: su aportación es clave para la reconstrucción de climas y biosferas pasadas que permitan comprobar la fiabilidad de modelos climáticos desarrollados para predecir climas futuros.
- *Física de la atmósfera*: su contribución proporciona modelos climáticos, predicción climática, modelización de eventos extremos (ciclones, etc).
- *Oceanografía*: estudia el papel del océano y su biota en la regulación climática y del funcionamiento del Sistema Tierra, además de analizar el aumento del nivel del mar.
- *Ecología*: investiga las huellas del cambio global en los organismos, las poblaciones y los ecosistemas, las posibles extinciones, las consecuencias para el funcionamiento de la biosfera y los servicios que ésta proporciona a la sociedad.
- *Ciencias de la Tierra*: son fundamentales para la dinámica de la hidrosfera, de la atmósfera y de la criosfera, para los intercambios de materiales y respuestas al cambio global, para la dinámica de la línea de costa en respuesta al cambio global, entre otros fenómenos.
- *Biología molecular*: puede analizar las consecuencias del cambio global sobre la expresión génica, así como el papel de la diversidad genética sobre la adaptación al cambio global.
- *Biogeoquímica*: es básica para la regulación del ciclo de elementos activos en la regulación climática y los elementos biogénicos, así como para la acidificación del océano.
- *Química*: desarrolla aspectos tan necesarios como la química atmosférica o los flujos de contaminantes orgánicos persistentes.
- *Hidrología*: estudia los impactos del cambio global sobre la hidrosfera y el ciclo de agua, y otros aspectos relevantes como la dinámica de acuíferos.
- *Historia*: posibilita la reconstrucción de cambios en el uso de recursos por la humanidad, así como las consecuencias de cambios ambientales a escala regional sobre civilizaciones pasadas.
- *Teoría de los sistemas complejos y ciencias de la complejidad*: resultan esenciales para describir los comportamientos no lineales y los procesos caóticos en el Sistema Tierra.
- *Ciencias de la salud*: detectan el impacto del cambio global sobre la salud humana (enfermedades emergentes, interacción entre agentes químicos y cambios ambientales, etc.).

- *Sociología*: proporciona y escruta la percepción pública del cambio global, los mecanismos de consenso y gobernanza globales, la organización social de los sistemas humanos.
- *Economía*: aporta el análisis del impacto económico del cambio global, así como el debate sobre las tasas de descuento para las generaciones futuras.
- *Computación y matemáticas*: facilita algoritmos eficientes en modelos de circulación global, en la propagación de incertidumbre en modelos y en el enlazado de modelos de distintas escalas.

Tampoco las ciencias sociales y humanas escapan a este tránsito global de los problemas ambientales complejos, ya que en la evaluación de las políticas del cambio climático se da la denominada «paradoja de Giddens», formulada por el propio Anthony Giddens en su obra *The Politics of Climate Change*. En una línea próxima a los estudios sociales del riesgo (Giddens 2009, pp. 2-3, 9-11 y 136), la paradoja se puede resumir así: los informes e investigaciones sobre actitudes y comportamientos muestran que la mayoría de los ciudadanos aceptan el cambio climático abrupto como una amenaza, pero en la medida en que los peligros del calentamiento global no son tangibles, inmediatos o visibles en la vida diaria, entonces, por extraño que parezca, muchos se quedarán de brazos cruzados sin hacer nada al respecto; sin embargo, el hecho de quedarse a la espera sin actuar hará que los peligros se hagan visibles y graves, pero para entonces ya será demasiado tarde para una acción seria. Esta paradoja pone de manifiesto que las valoraciones y evaluaciones del cambio climático también van a depender del discurso de las ciencias sociales y humanas, especialmente de las valoraciones éticas que hagan a los ciudadanos partícipes de su capacidad de acción y decisión en las políticas del cambio climático, antes de que el calentamiento global sea una realidad amenazante para nuestra generación y las próximas generaciones.

Pero este cambio metodológico y ético no sólo afecta a las fuentes filosóficas, sino también a las referencias científicas que contribuyen al estudio y al análisis del planeta como una entidad interconectada, más allá de las barreras disciplinarias tradicionales legadas por el modelo moderno de la ciencia. Así, en el año 2001, delegados de más de 100 países que participan en los cuatro principales programas de investigación internacional sobre el cambio ambiental global hicieron suya la «Declaración de Ámsterdam», que estableció formalmente la «Asociación de la Ciencia del Sistema Tierra» desde las bases para una segunda revolución copernicana (Clark, Crutzen y Schellnhuber 2004). Las comunidades científicas de los cuatro programas internacionales sobre el cambio global –International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP), World Climate Research Programme (WCRP) y el programa internacional sobre diversidad biológica denominado DIVERSITAS– reconocieron en dicha declaración que, además de la amenaza del significativo cambio climático, hay una creciente preocupación por la cada vez mayor modificación humana del resto de aspectos del medio ambiente global y las consiguientes consecuencias para el bienestar humano. Los bienes y servicios básicos ofrecidos por el sistema de mantenimiento de la vida planetaria, tales como los alimentos, el agua, el aire limpio y un entorno propicio para la salud humana, cada vez están siendo más afectados por el cambio global.

La Declaración de Ámsterdam admitía que las investigaciones llevadas a cabo durante la última década, bajo los auspicios de los cuatro programas para hacer frente a estas preocupaciones, habían demostrado un consenso en torno a cinco puntos (Moore III, Underdal, Lemke y Loreau 2002):

1. *La Tierra se comporta como un sistema único y autorregulado, formado por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos.* Las interacciones y retroalimentaciones entre las partes componentes son complejas y presentan una variabilidad temporal y espacial a nivel multi-escala. La comprensión de la dinámica natural del Sistema Tierra ha avanzado notablemente en los años recientes y brinda una profunda base para evaluar los efectos y las consecuencias del cambio impulsado por el ser humano.
2. *Las actividades humanas están influyendo significativamente en el ambiente de la Tierra de numerosas maneras, además de las emisiones de gases de efecto invernadero y el cambio climático.* Los cambios antropogénicos en la superficie, los océanos, las costas y la atmósfera de la Tierra, así como en la diversidad biológica, el ciclo del agua y los ciclos bioquímicos, son claramente identificables, más allá de la variabilidad natural. Son equiparables a algunas de las grandes fuerzas de la Naturaleza en su extensión e impacto. Muchos de esos cambios se están acelerando. El cambio global es real y se está produciendo *ahora*.
3. *El cambio global no puede ser entendido en términos de un simple paradigma de causa-efecto.* Los cambios impulsados por el ser humano causan efectos múltiples en cascada que recorren el Sistema Tierra por vías complejas. Estos efectos interactúan unos con otros, en cambios a escalas locales y regionales, de acuerdo con patrones multidimensionales que son difíciles de comprender y aún más difíciles de predecir. Las sorpresas abundan en este campo.
4. *La dinámica del Sistema Tierra se caracteriza por umbrales críticos y cambios abruptos. Las actividades humanas podrían desencadenar inadvertidamente tales cambios, con severas consecuencias para el ambiente y los habitantes de la Tierra.* El Sistema Tierra ha funcionado en diferentes estados a lo largo del último medio millón de años, con transiciones abruptas (una década, o menos) entre dichos estados. Las actividades humanas tienen el potencial de modificar el Sistema Tierra hacia modos de operar alternativos, que podrían resultar irreversibles y menos hospitalarios para el ser humano y otros tipos de vida. La probabilidad de un cambio abrupto provocado por el ser humano en el ambiente de la Tierra aún debe ser cuantificada pero no puede ser ignorada.
5. *En términos de algunos parámetros ambientales claves, el Sistema Tierra se ha movido claramente fuera del rango de la variabilidad natural exhibido por lo menos a lo largo del último medio millón de años.* La naturaleza de los cambios que ahora suceden *simultáneamente* en el Sistema Tierra, sus *magnitudes* y *tasas de aceleración* no tienen precedentes. En el presente la Tierra se está comportando en condiciones inéditas.

Sobre esta base de la Declaración de Ámsterdam, los programas internacionales sobre el cambio global pedían a los gobiernos, a las instituciones públicas y privadas y a los pueblos del mundo unanimidad en dos demandas (Moore III, Underdal, Lemke y Loreau 2002):

1. *Se necesita urgentemente un marco ético para las estrategias y la administración globales en la gestión del Sistema Tierra.* La acelerada transformación humana del medio de la Tierra no es sostenible. Por tanto, el modo de *negocio acostumbrado (business-as-usual)* para tratar el Sistema Tierra *no* es una opción. Tiene que ser sustituido –a la mayor brevedad posible– por estrategias deliberadas de buena gestión que sustenten el ambiente de la Tierra, cumpliendo al mismo tiempo con objetivos de desarrollo económico y social.
2. *Se requiere un nuevo sistema de ciencia del medio ambiente global.* Éste ha empezado a evolucionar a partir de enfoques complementarios de los programas internacionales de investigación sobre cambio global y necesita ser fortalecido y un mayor desarrollo. Utilizará fundamentalmente la base disciplinaria, existente y en expansión, de la ciencia del cambio global. Integrará, más allá de las disciplinas, temas de desarrollo y del medio ambiente, así como las ciencias naturales y sociales. Colaborará más allá de las fronteras nacionales sobre la base de una infraestructura compartida y segura. Intensificará esfuerzos para posibilitar la plena implicación de los científicos de los países en desarrollo. Y empleará las fuerzas complementarias de naciones y regiones para construir un eficiente sistema internacional de ciencia ambiental global.

Estos programas sobre cambio global se comprometieron desde entonces a trabajar estrechamente con otros sectores de la sociedad, también a través de todas las naciones y las culturas, para hacer frente al desafío de una Tierra en transformación. Nuevas asociaciones se empezaron a formar entre las instituciones de investigaciones universitarias, industriales y gubernamentales. Intensificaron el diálogo entre la comunidad científica y los encargados de formular políticas a varios niveles. Se hizo entonces manifiesta la necesidad de tomar medidas para formalizar, consolidar y fortalecer las iniciativas que se están desarrollando en este nuevo paradigma. Su objetivo común es desarrollar la base esencial de conocimientos necesarios para responder con eficacia y rapidez a los grandes desafío del cambio global.

Tras la Declaración de Ámsterdam se propuso consolidar un programa que evaluara las principales cuestiones metodológicas del paradigma emergente de la «Ciencia del Sistema Tierra» (*Earth System Science*). Para ello se cogió como referencia el programa que propuso en su día el matemático David Hilbert. En 1900, dentro de la Conferencia Mundial de Matemáticas en París, Hilbert propuso un monumental programa para evaluar los avances de las matemáticas en el siglo XX. Este programa consistió básicamente en una ecléctica lista de 23 problemas que debían ser resueltos por la comunidad científica. De modo similar, la comunidad científica internacional del Sistema Tierra ha elaborado su propio programa hilbertiano (Schellnhuber y Sahagian 2002, p. 21; Clark, Crutzen y Schellnhuber 2004, pp. 8-14; Schellnhuber, Crutzen, Clark y Hunt 2005; Costanza, Graumlich y Steffen 2007, p. 420), con un listado de 23 preguntas cruciales que deben

abordarse para la sostenibilidad global. Este programa para la comprensión del Sistema Tierra surgió tras un congreso organizado en 2001 por GAIM (Schellnhuber y Sahagian 2002) –el laboratorio de ideas transdisciplinario del programa internacional IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme)–. Su propuesta programática se postula como un campo de estudio e investigación para el siglo XXI, por medio de una lista de 23 preguntas organizadas en cuatro bloques destacados, a saber, cuestiones analíticas, metodológicas, normativas y estratégicas, respectivamente:

A– Cuestiones analíticas:

1. ¿Cuáles son los órganos vitales de la ecosfera desde el punto de vista del funcionamiento y de la evolución?
2. ¿Cuáles son los principales patrones dinámicos, las teleconexiones y los bucles de retroalimentación en la maquinaria planetaria?
3. ¿Cuáles son los elementos críticos (umbrales, cuellos de botella, transiciones) en el Sistema Tierra?
4. ¿Cuáles son las escalas temporales y los regímenes característicos de la variabilidad natural del planeta?
5. ¿Cuáles son los regímenes de las perturbaciones antropogénicas y de las teleperturbaciones que importan desde el nivel del Sistema Tierra?
6. ¿Cuáles son los órganos vitales de la ecosfera y los elementos planetarios críticos que pueden ser transformados por la acción humana?
7. ¿Cuáles son las regiones más vulnerables en los cambios globales?
8. ¿Cómo son procesados los fenómenos extremos y abruptos a través de las interacciones naturaleza-sociedad?

B–Cuestiones operativas:

9. ¿Cuáles son los principios para la construcción de «macroscopios» (*macroscopes*), es decir, representaciones del Sistema Tierra que agreguen detalles sin cesar, manteniendo al mismo tiempo todos los ítems de los órdenes sistémicos?
10. ¿Qué niveles de complejidad y resolución tienen que ser alcanzados en los modelos del Sistema Tierra?
11. ¿Es posible describir el Sistema Tierra como una composición de regiones y órganos débilmente acoplados, y es posible reconstruir la maquinaria planetaria desde estas piezas?
12. ¿Cuál podría ser la estrategia global más eficaz para la generación, transformación e integración de la serie de datos relevantes del Sistema Tierra?
13. ¿Cuáles son las mejores técnicas para analizar y, en la medida de lo posible, predecir eventos irregulares?
14. ¿Cuáles son las metodologías más apropiadas para la integración del conocimiento entre las ciencias naturales y las ciencias sociales?

C– Cuestiones normativas:

15. ¿Cuáles son los principios y criterios generales para distinguir los futuros sostenibles y no-sostenibles?

16. ¿Cuál es la capacidad de carga de la Tierra?
17. ¿Cuáles son los dominios accesibles pero intolerables en el espacio de la co-evolución entre la naturaleza y la humanidad?
18. ¿Qué tipo de naturaleza quieren las sociedades modernas?
19. ¿Cuáles son los principios de equidad que deberían gobernar la gestión global del medio ambiente?

D- Cuestiones estratégicas:

20. ¿Cuál es la combinación óptima de medidas de adaptación y mitigación para responder al cambio global?
21. ¿Cuál es la óptima descomposición de la superficie del planeta en reservas naturales y áreas gestionadas?
22. ¿Cuáles son las opciones y advertencias ante soluciones tecnológicas como la geoingeniería y la modificación genética?
23. ¿Cuál es la estructura de un sistema eficaz y eficiente para las instituciones ambientales y de desarrollo globales?

Estos diversos problemas complejos del planeta requieren un concepto de conocimiento compartido, una cultura cognitiva de participación ampliada, que ha recibido diversas formulaciones desde la Cumbre de Río de Janeiro y la década de los años 90 del pasado siglo (para una clara descripción histórica y sistemática ver María Novo 2007). El tipo de educación y formación necesarias para este reto supone lo que se denomina «trans-ciencia» (cf. Alvin Weinberg 1972): cuestiones que pueden ser formuladas por los científicos pero que no pueden ser respondidas o solucionadas sólo por la ciencia (como en el caso del desarrollo sostenible). Son necesarios nuevos patrones y redes de «distribución del conocimiento» que superan los márgenes a los que se han confinado tradicionalmente la ciencia, la academia y la participación ciudadana, tal y como han propuesto diversos autores desde la sociología del conocimiento científico, desde Karin Knorr-Cetina (1989) hasta Ronald N. Giere (1992, 2002 y 2006).

3. El modelo de ciencia post-normal después de Kuhn y la transdisciplinariedad

De acuerdo con todo lo expuesto en las dos secciones precedentes, las incertidumbres múltiples de las actuales ciencias ecológicas y de las políticas de sostenibilidad han de introducir necesariamente nuevos marcos metodológicos y conceptuales en la evaluación de la calidad que reconfiguren los sistemas distribuidos de conocimiento y participación. En un mundo global sometido a la sociedad del riesgo los problemas ambientales complejos se extienden a diferentes escalas de espacio y tiempo y las incertidumbres de cualquier clase y de diferente grado de dificultad afectan tanto a los datos como a las teorías al intervenir incertidumbres y valores que el análisis científico tradicional no contempla (Funtowicz y Ravetz 1991 y 1994). Una imagen limitada de la realidad que reduce los fenómenos complejos a elementos sencillos y atómicos puede ser muy efectiva para la experimentación controlada y la construcción de teorías abstractas, pero no es el enfoque más conveniente para las tareas de la investigación compleja y la política ambiental más allá de la regulari-

dad, la simplicidad y la certidumbre de los fenómenos estudiados en los manuales de texto y la ciencia de laboratorio (es decir, la «ciencia normal» descrita por Thomas S. Kuhn en su magna obra *The Structure of Scientific Revolutions*). La realidad que se persigue frecuentemente en el ámbito de la sostenibilidad y de los riesgos responde más bien a fenómenos complejos en la interrelación de la economía, la ecología y la equidad dentro de sinergias y debates donde los hechos son inciertos, los valores son discutibles, los intereses son sustanciales y las decisiones son urgentes.

La distinción (normal) de hechos científicos objetivos duros y juicios valorativos subjetivos suaves se ha invertido. Muy a menudo se han de tomar decisiones políticas duras cuando las aportaciones científicas con las que contamos son irremediabilmente simples y suaves. El mundo complejo de la sostenibilidad no se parece demasiado a la situación de laboratorio que Thomas S. Kuhn describiera de acuerdo con el modelo de «ciencia normal». Los problemas ambientales complejos no caben en una probeta cuando se extienden por amplias zonas del planeta o incluso cuando afectan a la Tierra en su conjunto. En estas nuevas e inéditas situaciones, cuando los hechos son inciertos, los valores discutibles, los intereses fuertes y las decisiones urgentes, el principio orientador tradicional de la ciencia de investigación y el principio de consecución de la verdad o, como mínimo, del conocimiento objetivo y neutral, se han de modificar sustancialmente. En las condiciones de la ciencia post-normal el principio orientador es mucho más intenso y menos abstracto: el principio de calidad (Funtowicz y Ravetz 1993 y 2000).

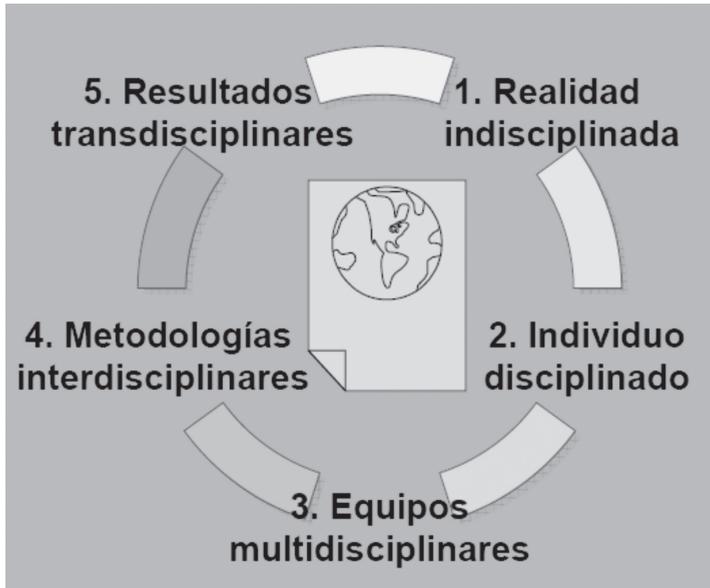


Para caracterizar el modelo de ciencia post-normal en las estrategias de resolución de problemas ante los riesgos ambientales complejos se ha de pensar que los hechos son inciertos, los valores que están en disputa son elevados y las decisiones son urgentes. En tales circunstancias es probable que una metodología lineal simple basada en el ejemplo de la ciencia de laboratorio «pura» no proporcione una guía segura. Ello no implica denostar las aportaciones de la ciencia y la educación tradicionales, pero sí supone una nueva estrategia científica y metodológica que se puede escenificar en un diagrama biaxial (Funtowicz y Ravetz 1992, 1993 y 2000). El diagrama de la ciencia post-normal presenta tres rasgos distintivos a partir de dos ejes o coordenadas. El primer rasgo distintivo presupone una innovación para la metodología científica y muestra la interacción de los aspectos epistémicos (conocimiento) y axiológicos (valores) de los problemas científicos. Se los ubica como ejes del diagrama, representando la intensidad de la incertidumbre y de los grados de decisión en juego respectivamente. El segundo rasgo innovador es que la incertidumbre y los grados de decisión en juego son los opuestos de los atributos que tradicionalmente caracterizaban la ciencia, a saber, su certeza y neutralidad valorativa. Finalmente, el tercer rasgo innovador se refleja en el hecho de que cada una de estas dimensiones se presenta abarcando tres intervalos discretos (ciencia aplicada, consultoría profesional, ciencia post-normal) con tres zonas que representan y caracterizan otros tantos tipos de estrategias de resolución de problemas.

Los dos ejes del diagrama son los niveles de incertidumbre y los grados de decisión en juego. El eje de los niveles de incertidumbre de los sistemas transmite el principio de que el problema no concierne al descubrimiento de un hecho particular sino a la comprensión o el manejo de una realidad inherentemente compleja. El eje de los grados de decisión en juego incluye todos los diversos costos, beneficios y compromisos valorativos que el problema involucra a través de las diversas personas que intervienen y se arriesgan en las decisiones. En la intersección de los dos ejes se ha dejado una pequeña zona oscurecida para representar el lugar que ocuparía la ciencia normal de laboratorio en el sentido kuhniano.

Si la segunda revolución copernicana afecta a las relaciones sujeto-objeto en un mundo ontológicamente híbrido y post-kantiano, también se puede afirmar que en esta nueva fase supone una metodología híbrida y post-kuhniana. Si Kuhn había definido los paradigmas científicos desde matrices disciplinarias, ahora se requieren matrices trans-disciplinares, con diferentes niveles y escalas de incertidumbre y valores, en nombre del principio de calidad de vida. En el campo de la sostenibilidad y de la complejidad se establecen así diversos equipos multi-inter-disciplinares que finalmente deben dar lugar a productos trans-disciplinares, tal y como ha propuesto Marcel Bursztyń (2008) en la denominada «cadena de la disciplinariedad»:

La lección a aprender de todo esto es que no existe la trans-disciplinariedad como persona individualizada y singular. La trans-disciplinariedad es el resultado colectivo de redes de actores desde la interacción de individuos y equipos, que revierte en productos derivados de sus competencias, metodologías, procesos, diálogos y comunicaciones a través de nuevos sistemas distribuidos de conocimiento y participación en un mundo ontológicamente híbrido, tecnológicamente complejo, éticamente post-kantiano y epistemológicamente post-kuhniano.



Referencias

- Ayestarán, Ignacio 2007: «Die Ethik der globalen Nachhaltigkeit / Ética de la sostenibilidad global», *Generation Gerechtigkeit*, vol. 1, pp. 22-29.
- 2008: «Sostenibilidad, crisis ambiental y responsabilidad social de las empresas en la sociedad del conocimiento y del riesgo global», in Ignacio Ayestarán, Xabier Insausti y Rafael Águila (eds.), *Filosofía en un mundo global*, Rubí-Barcelona, Anthropos, pp. 157-168.
- Barcena, Iñaki; Lago, Rosa; y Villalba, Unai 2009: «La deuda ecológica es una útil herramienta para juntar visiones, discursos y luchas», in Iñaki Barcena, Rosa Lago y Unai Villalba (eds.) 2009, pp. 7-51.
- Barcena, Iñaki; Lago, Rosa; y Villalba, Unai (eds.) 2009: *Energía y deuda ecológica. Transnacionales, cambio climático y alternativas*. Barcelona: Icaria.
- Broome, John 2008: «The Ethics of Climate Change», *Scientific American*, junio, 298 (6): 97-102.
- Brown, Donald; Tuana, Nancy et al. 2006: *White Paper on the Ethical Dimensions of Climate Change*. Pennsylvania: Rock Ethics Institute, Penn State University, PA.
- Bursztyn, Marcel 2008: *Sustainability Science and the University: Towards Interdisciplinarity*. Working Paper No. 24, February 2008. Center for International Development, Cambridge, MA: Harvard University.
- Clark, William C.; Crutzen, Paul J.; & Schellnhuber, Hans Joachim 2004: «Science for global sustainability. Toward a new paradigm», in Hans Joachim Schellnhuber, Paul

- J. Crutzen, William C. Clark, Martin Claussen & Hermann Held (eds.), *Earth System Analysis for Sustainability: Report on the 91st Dahlem Workshop*, Cambridge, Mass., & Londres, The Massachusetts Institute of Technology Press & Dahlem University Press, 2004, pp. 1-25.
- Costanza, Robert; Graumlich, Lisa J. y Steffen, Will (eds.) 2007: *Sustainability or Collapse? An Integrated History and Future of People on Earth. Report on the 96st Dahlem Workshop*. Cambridge, Mass., y Londres: The Massachusetts Institute of Technology Press & Dahlem University Press.
- Duarte, Carlos M. et al. 2006: *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: Centro Superior de Investigaciones Científicas.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. 1991: «A new scientific methodology for global environmental issues», in Robert Costanza (ed.), *Ecological Economics: the Science and Management of Sustainability*, Nueva York, Columbia University Press, 1991, pp. 137-152.
- 1992: «Three types of risk assessment and the emergence of Post-Normal Science», in Sheldon Krimsky y Dominic Golding (eds.), *Social Theories of Risk*, Nueva York, Greenwood Press, 1992, pp. 251-273.
- 1993: «Science for the post-normal age», *Futures*, 25 (7), pp. 739-755.
- 1994: «Emergent complex systems», *Futures*, 26 (6), pp. 568-582.
- 2000: *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria.
- Gardner, Gary 2009: «Equity and the response to a changing climate», in Worldwatch Institute 2009, pp. 170-171.
- Giddens, Anthony 2009: *The Politics of Climate Change*. Cambridge: Polity Press.
- Giere, Ronald N. 1992: *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- 2002: «Distributed Cognition in Epistemic Cultures», *Philosophy of Science*, 69, pp. 637-644.
- 2006: *Scientific Perspectivism*. Chicago: University of Chicago Press.
- Jonas, Hans 1979: *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Frankfurt a. M.: Insel.
- Kant, Immanuel 1996: *Crítica de la razón pura*. Trad. y ed. P. Ribas. Madrid: Alfaguara.
- Knorr-Cetina, Karin 1999: *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kuhn, Thomas S. 1962: *The Structure of the Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Latour, Bruno 2007: *Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Linares, Jorge Enrique 2008: *Ética y mundo tecnológico*. México: UNAM y Fondo de Cultura Económica.
- Margulis, Lynn 1998: *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*. Nueva York: Basic Books.
- Moore III, Berrien; Underdal, Arild; Lemke, Peter; & Loreau, Michel 2002: «The Amsterdam declaration on global change», in Will Steffen, Jill Jäger, David J. Carson & Clare Bradshaw (eds.), *Challenges of a Changing Earth*, Berlín, Springer-Verlag, pp. 207-208.

- Moser, Susanne C. y Dilling, Lisa (eds.) 2007: *Creating a Climate for Change: Communicating Climate Change and Facilitating Social Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Nordhaus, William D. 2008: *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Novo, María 2007: *El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Schellnhuber, Hans Joachim 1999. «'Earth system' analysis and the Second Copernican Revolution», *Nature*, 402, pp. C19-C23.
- Schellnhuber Hans Joachim; Crutzen, Paul J.; Clark, William C. & Hunt, Julian 2005: «Earth system analysis for sustainability», *Environment*, 47 (8), pp. 10-25.
- Schellnhuber, Hans Joachim, y Sahagian, Dork 2002: «The twenty-three GAIM questions», *Global Change Newsletter*, 49, pp. 20-21.
- Stern, Nicholas 2007: *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Velayos, Carmen 2008: *Ética y cambio climático*. Bilbao: Editorial Desclée de Brouwer.
- Weinberg, Alvin 1972: «Science and Trans-Science», *Minerva*, 10 (2), pp. 209-222.
- Worldwatch Institute 2009: *State of the World 2009: Into a Warming World*. Washington: W.W. Norton & Company.