

---

# CIENCIA POSTNORMAL, PROBLEMAS AMBIENTALES COMPLEJOS Y MODELOS DE INFORMACIÓN

---

IGNACIO AYESTARÁN<sup>1</sup>

SILVIO O. FUNTOWICZ<sup>2</sup>

---

**ABSTRACT.** Information and Communication Technologies offer new technological tools and scientific methodologies to manage global problems. In this research we study some examples in the use of computational models and computer simulations on complex environmental problems and sustainability policies, from the World<sub>3</sub> model elaborated for the reports by the Club of Rome to the notational system “NUSAP” devised by Funtowicz and Ravetz. However, the use of models as scientific prediction and political prognosis is not free of cognitive constraints and axiological conflicts. The complex synergy of informational and evaluative inputs and outputs requires methodological frameworks such as the “post-normal science” (or post-Kuhnian science). From this methodological paradigm, the epistemic uncertainty in complex environmental contexts introduces new variables and communities in an extended evaluation framework for better governance and participation to address such dynamic complexity.

---

**KEY WORDS.** Complexity, science, model, information, epistemology, axiology, policy, sustainability, environment, Kuhn.

---

## 1. EL MODELO WORLD<sub>3</sub> Y LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO

El informe *Los límites del crecimiento*, encargado al MIT por el Club de Roma, fue publicado en 1972, poco antes de la primera crisis del petróleo. La autora principal fue Donella Meadows, quien contó con la colaboración de Dennis Meadows y Jorgen Randers. El informe se basó en la simulación informática del programa World<sub>3</sub>, creado por los autores del informe con el objetivo de recrear el aumento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica de la humanidad sobre la Tierra en los próximos cien años, según los datos disponibles hasta entonces. En 1992, veinte años después de la publicación original, se actualizó y publicó

---

Departamento de Filosofía, Universidad del País Vasco, España. / ignacio.ayestaran@ehu.es  
European Commission. Joint Research Center. Institute for the Protection and Security of the Citizen.

una nueva versión del informe titulado *Más allá de los límites del crecimiento*, en la cual, de acuerdo con los datos recolectados desde entonces, se exponía que la humanidad ya había superado la capacidad de carga del planeta para sostener su población. Una versión actualizada, con el título *Los límites del crecimiento: treinta años después*, fue publicada en junio del 2004 de la mano de "Chelsea Green Publishing Company". En esta versión se actualizaron e integraron las dos versiones precedentes, a partir del modelo de simulación World<sub>3</sub>. El programa World<sub>3</sub> fue editado en un CD-Rom en el año 2000.

World<sub>3</sub> es un sistema informático en lenguaje de programación Stella, que se creó para realizar proyecciones sobre el futuro desarrollo del planeta, utilizando una gran base de datos con multitud de variables. Estas proyecciones se basan en la interrelación de sistemas de información, los cuales configuran una estructura del ritmo económico actual. Las proyecciones de este programa no son seguras debido al contexto de complejidad, pero dan a conocer posibles escenarios futuros, fechas aproximadas y reacciones posibles en el desarrollo sostenible. Esta inseguridad se debe a la imposibilidad de predecir un futuro exacto o preciso en un contexto tan complejo.

Para los autores de estas simulaciones, la utilización de modelos de información es fundamental. Según su metodología, un modelo es una representación simplificada de la realidad. Puesto que los modelos siempre son simplificaciones, nunca son perfectamente válidos. Lo importante no es que un modelo sea completamente cierto, sino que sea útil para un fin determinado ofreciendo patrones que respondan a un conjunto determinado de preguntas interrelacionadas. Los modelos adoptan diversas formas: mentales, verbales, gráficas, matemáticas o físicas. Términos como "crecimiento", "población", "bosque" o "agua" son representaciones lingüísticas o conceptuales que reflejan realidades ecosistémicas muy complejas. Asimismo, cualquier figura, diagrama, mapa o fotografía es un modelo gráfico de una realidad seleccionada. En este contexto, World<sub>3</sub> es un modelo matemático e informático que analiza relaciones mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas sin modelos físicos. De esta forma, los autores del libro *Los límites del crecimiento: treinta años después* admiten que su trabajo es un modelo donde se han ensamblado palabras, datos, gráficos y proyecciones informáticas.

Según sus autores, World<sub>3</sub> es un modelo complejo donde se hace un seguimiento de magnitudes como la población, el capital industrial, la contaminación persistente y la superficie de tierra cultivada. En el modelo dichas magnitudes varían mediante flujos como nacimientos y defunciones (en el caso de la población), inversiones y amortizaciones (en el caso de las existencias de capital), generación y asimilación de agentes contaminantes (en el caso de la contaminación persistente), y erosión del suelo,

habilitación de tierras y calificación de terrenos para usos urbanos e industriales (en el caso de las tierras cultivables).

A pesar de ser un modelo simplificado, World<sub>3</sub> incluye docenas de ciclos de realimentación que le confieren una complejidad dinámica, teniendo en cuenta, además, que sus numerosas relaciones son no lineales y que, por tanto, “no pueden dibujarse con líneas rectas”, según sus autores. Éstos admiten que los desfases, las funciones no lineales y los ciclos de realimentación hacen de World<sub>3</sub> un modelo dinámico complejo, pero que a pesar de todo sigue siendo una gran simplificación de la realidad. Así, por ejemplo, el modelo distingue las fuentes renovables, que producen alimentos y fibras, de las no renovables, que producen combustibles fósiles y minerales, pero no contabiliza por separado cada tipo de alimento, cada combustible, ni cada mineral. Tampoco están representados en el modelo World<sub>3</sub> ni el capital militar, ni la corrupción, ni las causas y consecuencias de la violencia, que pueden alterar parte de los resultados proyectados.

La finalidad global de World<sub>3</sub> es comprender la amplia dinámica del futuro: las posibles modalidades, o pautas del comportamiento, a través de las cuales la economía interactuará con la capacidad de carga del planeta a lo largo del siglo XXI. Los autores del modelo resumen su propósito en la siguiente pregunta: ¿Cómo van a interactuar la población mundial y la economía material en expansión con la capacidad de carga limitada de la Tierra y adaptarse a ella en los próximos decenios? La estructura del modelo que responde a esta pregunta se basa en cuatro elementos principales: los procesos de crecimiento, los límites, los desfases y los procesos de erosión.

Las proyecciones generadas por World<sub>3</sub> responden a diferentes estimaciones de parámetros sometidas a cambios. Los autores hacen que World<sub>3</sub> recalculé las interacciones entre sus más de doscientas ecuaciones a medida que se influyen recíprocamente con el paso del tiempo. El ordenador calcula un nuevo valor para cada variable cada seis meses a lo largo del tiempo simulado que media entre el año 1900 y el año 2100. El modelo genera más de 80 000 números para cada proyección (Meadows, Randers y Meadows 2004), y así se han establecido tres proyecciones que se resumen a continuación:

— *Proyección 0. Del infinito al infinito.* Si se eliminan todos los límites del sistema de World<sub>3</sub>, la población toca techo con cerca de 9 000 millones de personas y comienza un lento declive dentro de una transición demográfica. La economía crece hasta que en el año 2080 se produce treinta veces la cantidad de producto industrial del año 2000, utilizando la misma cantidad anual de recursos no renovables y generando tan solo una octava parte de contaminación anual.

— *Proyección 1. Un punto de referencia.* La sociedad mundial mantiene su trayectoria tradicional sin ninguna desviación importante con respecto a la política seguida durante la mayor parte del siglo XX. La población y la producción aumentan hasta que el crecimiento se ve detenido por la creciente dificultad de acceso a los recursos no renovables. En esta proyección, en los dos primeros decenios del siglo XXI la población y la industria crecientes consumen casi la misma cantidad de recursos no renovables que la economía mundial en todo el siglo XX. Se precisa entonces una inversión cada vez mayor para mantener los flujos de recursos. Finalmente, la falta de fondos para invertir en los demás sectores conduce a la disminución de la producción tanto de artículos industriales como de servicios. De este modo, descienden también la cantidad de alimentos y los servicios sanitarios, reduciendo a su vez la esperanza de vida e incrementando la tasa de mortalidad media. Hacia el 2030 la población toca techo y la esperanza de vida media, que era de ochenta años en el 2010, empieza a declinar.

— *Proyección 2. Mayor abundancia de recursos no renovables.* Si se duplica el patrimonio de recursos no renovables que se supuso en la Proyección 1 y se plantea además la hipótesis de que el progreso de las tecnologías de extracción de recursos es capaz de posponer el comienzo del aumento de los costes de extracción, la industria puede crecer durante veinte años más. La población alcanza su techo con 8 000 millones de personas en el 2040, con unos niveles de consumo mucho más elevados. Pero el grado de contaminación se dispara (hacia el 2090 la vida media de los agentes contaminantes se ha triplicado respecto a su valor del año 2000), reduciendo los rendimientos de la tierra y obligando a desviar enormes inversiones para la recuperación de la agricultura. Finalmente, la población empieza a decrecer debido a la escasez de alimentos y los efectos adversos de la contaminación en la salud.

Establecidos los resultados de las simulaciones, los autores dejan claro que no son predicciones sino proyecciones, ya que hay variables como el desarrollo de tecnologías y las diferentes políticas, éticas y objetivos que intervendrán en el futuro y que no pueden ser contempladas en el modelo World<sub>3</sub>. Por eso asumen que pueden surgir discrepancias entre el modelo informacional y las interpretaciones que hagan de él los lectores. Surgen así nuevos interrogantes tanto para los modeladores como para los intérpretes del mismo, si se comprueban disonancias y divergencias entre el mundo virtual simulado y la fuente real vivida por los diferentes agentes implicados en esta evaluación. Si aparecen estas discrepancias, los intérpretes o lectores se verán confrontados con las cuestiones que se plantean continuamente los modeladores, tales como:

— ¿Cuál de los dos modelos —el que tiene cada lector/intérprete o el de World<sub>3</sub>— parece más útil para pensar el futuro?

— ¿Existe alguna prueba que pueda ayudar al lector/intérprete a descubrirlo de otra manera?

— Si parece más útil el modelo informático, ¿qué elementos del mismo tienen que incorporar a su modelo mental de modo que sus interpretaciones de las cuestiones globales sean útiles y sus acciones resulten efectivas?

Son este tipo de preguntas las pertinentes para hablar de una ciencia postnormal en el ámbito de políticas ambientales complejas, donde las simulaciones y programas informáticos son necesarios pero no suficientes para abordar estrategias sostenibles con calidad de vida. Tales preguntas muestran una “incertidumbre de completud” que obliga a la extensión de la comunidad de evaluadores.

## 2. SIMULACIONES INFORMÁTICAS, NUSAP Y MÉTODOS GIGO

Las simulaciones informáticas del Club de Roma han recibido algunas críticas en el uso de modelos, a pesar de su ímprobo esfuerzo en pro de la sostenibilidad o sustentabilidad. Se puede ejemplificar una parte de las críticas por otro investigador también vinculado al MIT y experto pionero en el uso y creación de la informática y la inteligencia artificial, Herbert A. Simon, en las sucesivas reediciones de su libro *Las ciencias de lo artificial*. Para este autor, el Informe del Club de Roma de 1972, por ejemplo, predecía, simultáneamente, demasiado y demasiado poco porque los datos sobre el futuro en las predicciones de riesgos suelen ser el punto débil en el almacén de los datos simulados. Así, el informe del Club de Roma predecía *demasiado* porque no se pueden proponer fechas muy precisas para anunciar catástrofes, sino más bien establecer tendencias simuladas de años, decenios, generaciones o siglos, que establezcan que un sistema con un crecimiento exponencial de la población y el uso de unos recursos limitados llevarán finalmente a un callejón sin salida. Por otro lado, predecía *demasiado poco* porque el informe del Club de Roma ponía el acento en una única vía temporal posible en lugar de concentrarse en posibles alternativas de futuro con diversos horizontes temporales, ya que uno de los problemas fundamentales del uso de datos en el diseño y su simulación no es tanto el pronóstico como la construcción de alternativas de futuro y el análisis de la sensibilidad de las mismas a posibles errores teóricos y fácticos. A juicio de Simon, estas lecciones de los modelos ambientales también sirven para las iniciativas que alertan del cambio climático provocado por el calentamiento global (Simon 2006: 176-179).

También han recibido críticas los modelos simulados del Club de Roma desde el Sur (latinoamericano), a través de la Fundación Bariloche, que

opuso al modelo World<sub>3</sub> el “Modelo Mundial Latinoamericano” (ver VV.AA. 2004). La crítica fundamental al modelo nor-céntrico de Meadows consistía en que su estructura teórica básica era de carácter neomalthusiano, donde de un lado de la ecuación se incluían las variables de recursos naturales renovables y no renovables requeridas tanto para la producción como para el consumo de la población existente en el centro y en la periferia, así como las que expresaban el impacto en el ambiente, y por el otro lado de la ecuación, la dinámica de crecimiento poblacional. La inclusión en el modelo de un conjunto de variables, caracterizadas por su crecimiento exponencial en el tiempo, ponía en evidencia que la extensión del modelo de crecimiento económico de los países centrales conducía a la insostenibilidad de cualquier propuesta relativamente igualitaria a nivel mundial. Por otra parte, la proporción de los recursos naturales consumidos por los países centrales constituía una proporción extremadamente alta de la disponibilidad total, por comparación con dicho consumo en la periferia. No obstante, esto no sólo suponía una crítica metodológica, sino también conceptual y semántica que llegaba hasta lo político: los límites operacionales para la humanidad no eran simplemente físicos, sino socio-políticos, según señalaba acertadamente la Fundación Bariloche.

Bien es cierto que las reflexiones críticas formuladas por Simon y otros expertos (por ejemplo, véase la crítica a los escenarios IASA de la energía en Keepin y Wynne 1984) en el ámbito de la informática y de los modelos simulados se han tenido en consideración a lo largo de los sucesivos informes del Club de Roma. Aprendida la lección, en el último informe de 2004 se postula que se establecen proyecciones y no predicciones, además de que dichas proyecciones se efectúan en tres escenarios a partir de tres hipótesis diferentes de evolución de los datos, tal y como se ha comentado *supra*. Este problema de la rigidez de las predicciones-proyecciones y el manejo de los riesgos virtuales es una de las preocupaciones del concepto de “ciencia postnormal” propuesto inicialmente por Silvio O. Funtowicz y Jerome R. Ravetz (1990, 1991, 1993 y 2000).

Desde esta nueva perspectiva es claro que en las políticas de sostenibilidad o sustentabilidad que presentan contextos complejos e incertidumbres elevadas, la ciencia no sólo se basa en predicciones fácticas, sino que también apela a pronósticos políticos. En dichos contextos los modelos informáticos o computacionales constituyen el método más usado para predecir los riesgos virtuales y los enunciados de prognosis acerca del futuro a partir de datos del pasado y del presente. Sin embargo, aun siendo necesarios no son suficientes, pues lo que surge al implementar el programa no es una simple predicción científica, ni siquiera un pronóstico político suficientemente bueno. Con frecuencia, los datos numéricos empleados como entrada pueden no derivar de estudios experimentales o de campo. La selección de los *inputs*, especialmente en el ámbito de los riesgos

industriales, obedece en muchos casos a las corazonadas e intuiciones de los expertos y las expertas. En vez de teorías que ofrecen alguna representación profunda de los procesos naturales y ecosistémicos en cuestión, pueden ser simplemente paquetes de *software* estándar aplicados para ajustar mejor los parámetros numéricos. Y en vez de pruebas experimentales, de campo o históricas, supuestamente normales para las teorías científicas, pueden ser sólo la comparación de los resultados calculados con salidas distintas producidas por otros modelos de computación igualmente no testables o comprobables.

Las computadoras u ordenadores pueden y deben ser empleados para ampliar la destreza y la creatividad vinculadas a las políticas ambientales de riesgo, pero nunca deben convertirse en sustitutos del pensamiento y el rigor científicos en los contextos de complejidad. Los dilemas de la modelización computacional e informacional en la investigación relacionada con las políticas de los riesgos no pueden resolverse sólo a nivel técnico, al modo de los laboratorios de la ciencia matemático-experimental tradicional. Se requieren esfuerzos adicionales para el manejo de las incertidumbres complejas, el reaseguro de los criterios de calidad y de los compromisos sociopolíticos nuevos. El álgebra estadística y las computaciones estadísticas poseen valor únicamente en la medida en que se agreguen a este proceso de inferencia complejo, donde los tipos de variabilidad aleatoria se ven invadidos por incertidumbres elevadas en las políticas de riesgo relacionadas con los productos químicos, la contaminación ambiental o el cambio climático global. De hecho, no se puede olvidar, por ejemplo, que en la investigación sobre el cambio climático, además de las nuevas tecnologías de la información, intervienen factores tecnocientíficos, sociohistóricos y ecosistémicos que sólo en su interrelación pueden ser fructíferos para la toma de decisiones globales (Ayestarán 2004).

Cuando se olvidan las limitaciones de los modelos informacionales y de las simulaciones informáticas en este contexto de complejidad dinámica, estas herramientas metodológicas e instrumentales dejan de ser útiles ya que pueden transformarse en simples materializaciones de los deseos previos de los expertos y sus *inputs*, disminuyendo su eficacia sociopolítica en la gestión y toma de decisiones. El abuso de modelos matemáticos y simulaciones computacionales puede alterar las predicciones y proyecciones si no se tienen en cuenta estas limitaciones metodológicas y epistemológicas. En ese caso, el proceso es bien conocido: la producción en serie de modelos no verificados, donde los resultados de un modelo sirven de entradas para otro modelo igualmente no verificado, sin testeo empírico, a pesar de las elaboradas ecuaciones de tales modelos cuantitativos.

Este abuso de las ciencias matemáticas e informáticas produce métodos *GIGO*, que se puede leer como el acrónimo anglosajón de "*Garbage In, Garbage Out*". Una metodología *GIGO* sirve para recordar que las incerti-

dumbres que se hayan introducido en las entradas también estarán presentes en las salidas, a pesar de los modelos cuantitativos y estadísticos empleados. Un método *GIGO* también puede ser leído como el acrónimo de “*Garbage In, Gospel Out*” justamente para destacar el mal empleo de estas metodologías allí donde, a pesar de las elevadas incertidumbres de las entradas, se espera vanamente obtener recetas claras y noticias nuevas en salidas de datos unívocas, es decir, es la tendencia a tener fe en las salidas (*outputs*) del ordenador sin tener en consideración la calidad de las entradas (*inputs*). Así, una metodología *GIGO* se puede definir como aquella que depende de computaciones en las que las incertidumbres en las entradas deben ser suprimidas de manera sistemática, a menos que las salidas se vuelvan totalmente indeterminadas. En esta metodología las teorías son remplazadas por modelos computacionales o por experimentos a través de simulaciones informáticas, donde los datos son sustituidos por las intuiciones de los expertos y expertas. Sin embargo, detrás de un método *GIGO* sólo hay un sistema tecnológico donde tanto la calidad como la realidad y la certeza se evaporan, porque “más output” no es necesariamente sinónimo de un “buen output”. Por eso Funtowicz y Ravetz propusieron el sistema notacional *NUSAP* que permite exhibir los aspectos cualitativos de los enunciados cuantitativos y lo expusieron detalladamente en un libro editado en 1990 titulado *Uncertainty and Quality in Science for Policy* (Funtowicz y Ravetz 1990).

*NUSAP* es el acrónimo de “*Numeral Unit Spread Assessment Pedigree*” (véase: [www.nusap.net](http://www.nusap.net)) que presenta cinco posiciones para un enunciado cuantitativo completo. El sistema *NUSAP* se basa en estas cinco categorías que reflejan la práctica de las ciencias experimentales maduras. La primera es “Numeral”, que generalmente es un número ordinal. La segunda es “Unit”, que es la unidad de medida (pongamos por caso, unidades monetarias) en que se expresa la medición, aunque en ocasiones puede presentar información adicional como, por ejemplo, la fecha en que se ha evaluado dicha unidad. La categoría intermedia es “Spread”, que manifiesta el alcance de los datos, que aunque viene expresada en un número ( $\pm$ , % o “factor de”) no es una simple cantidad ordinaria, pues su inexactitud no es del mismo tipo que la de las magnitudes cuantificadas en las otras dos categorías. Esto lleva a otros dos indicadores o categorías que describen el ámbito cualitativo del sistema *NUSAP*: “Assessment” y “Pedigree”. La categoría “Assessment” (o evaluación) sirve para reflejar el alcance y las incertidumbres técnicas y se relaciona con el grado de precisión que los experimentalistas denominan “error aleatorio” y “error sistemático” en los medios estadísticos a lo largo del tiempo. Se supone que el “error sistemático” es menor que el “error experimental”, pero a veces el “error sistemático” depara sorpresas, más aún sabiendo que sólo puede ser estimado correctamente en retrospectiva. En el caso de los



modelos matemáticos y computacionales todas estas incertidumbres son conocidas, aunque no siempre manejadas con destreza, ya que se relacionan con los datos, los parámetros, los modelos y su uso. Tales modelos de incertidumbre reflejan una profunda incertidumbre e ignorancia y por ello se incorpora la última categoría: "Pedigree". Mostrar el pedigrí de cada dato o medida supone una evaluación descriptiva y valorativa del modo de producción (y en ocasiones uso) de la información. El pedigrí de la información viene expresado por una matriz con varias fases de producción y uso de la información que sirve de índice cualitativo para ser empleado en las políticas de evaluación y para describir los límites con la ignorancia expresados por la información manejada.

El sistema notacional *NUSAP* proporciona así un enfoque integrado de los problemas de la incertidumbre, la calidad y los valores de la información científica en las políticas de evaluación, distinguiendo los niveles técnicos, metodológicos y epistemológicos de la incertidumbre que corresponden a la inexactitud, la no confiabilidad y los límites con la ignorancia. De esta manera, se trata de ofrecer un marco metodológico abierto a la calidad de la información en contextos de complejidad, pues el álgebra y las computaciones estadísticas sólo son de valor en la medida en que se agreguen al proceso de inferencia teniendo en cuenta sus limitaciones, sus incertidumbres y variabilidad aleatoria dentro de la evaluación de riesgos en ámbitos tan globales como la exposición a productos químicos, el desplazamiento de contaminantes ambientales o la predicción del cambio climático y el agujero de la capa de ozono. En este sentido, siempre se ha de tener presente que se ha de producir un giro en la interpretación y manejo de las herramientas informáticas para la sostenibilidad y la virtualidad de los riesgos: no deberíamos usar lo *global* (teletecnologías mundiales) para explotar lo *real* (materias primas, recursos ambientales) para obtener lo *virtual* (especulación financiera), sino que deberíamos usar lo *virtual* (matemáticas, software, bioinformática, Internet) para medir lo *real* (biogeoquímica/física) para obtener lo *global* (economía ecológica y ecología humana en nuestro planeta *Gaia*) (Ayestarán 2005b y 2006). De facto, ésta ha sido una de las primeras lecciones aprendidas de considerar la economía ecológica como una ciencia postnormal (Funtowicz y Ravetz 1991 y 1994a, Ayestarán 1998 y 2000). En la siguiente sección se detalla el marco de investigación propuesto por la metodología de la ciencia postnormal en la resolución y manejo de problemas complejos a partir de estas consideraciones.

### 3. CIENCIA POSTNORMAL:

#### AXIOLOGÍA, EPISTEMOLOGÍA Y POLÍTICA DE LA CALIDAD

Las incertidumbres múltiples de las actuales ciencias ecológicas y de las políticas de sostenibilidad han de introducir necesariamente nuevos mar-

cos metodológicos y conceptos en la evaluación de la calidad. En un mundo global sometido a la sociedad del riesgo, los problemas ambientales complejos se extienden a diferentes escalas de espacio y tiempo, donde las incertidumbres de cualquier clase y de diferente grado de dificultad afectan tanto a los datos como a las teorías, en tanto intervienen lo incierto y otros valores que el análisis científico tradicional no contempla (Funtowicz y Ravetz 1994b). 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 política ambiental más allá de la regularidad, la simplicidad y la certidumbre de los fenómenos estudiados en los manuales de texto y la ciencia académica de laboratorio. La realidad que se persigue frecuentemente en el ámbito de los riesgos y de la sostenibilidad o sustentabilidad responde más bien a fenómenos complejos en la interrelación de la economía, la ecología y la equidad social dentro de sinergias y debates donde los hechos son inciertos, los valores son discutibles, los intereses son sustanciales y las decisiones urgentes.

La distinción (normal o académica) 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 irremediablemente simples y suaves. El mundo complejo de la sostenibilidad o de la sustentabilidad no se parece demasiado a la situación de un laboratorio aislado. 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 orientativo 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 postnormal el principio orientativo es mucho más intenso y menos abstracto: el principio de calidad (Funtowicz y Ravetz 1993 y 2000), además del principio de precaución (Ravetz 2005 y 2006).

El principio de calidad en contextos de sostenibilidad o sustentabilidad compleja conlleva la introducción del paradigma postnormal en ciencia frente a la ciencia normal clásica, ya que el modelo clásico de ciencia académica al que, por ejemplo, nos remitía Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas* ha cambiado notablemente. Kuhn definía el paradigma de la "ciencia normal" bajo tres condiciones que se establecían entre la empiria y la teoría: la determinación de los hechos significativos, el acoplamiento de los hechos con la teoría y, finalmente, la articulación de la teoría (Kuhn 1962). Pero estas tres condiciones han

variado considerablemente en el mundo postindustrial contemporáneo. La experimentación actual ya no se limita al laboratorio, que antes dirimía el valor de los hechos. Ahora la diferencia entre lo interno (la ciencia) y lo externo (la sociedad) ha sido transformada. Desde Pasteur, la sociedad entera se ha convertido en un inmenso laboratorio sin fin, tal y como lo ha descrito Bruno Latour (1988, 1993 y 2004), cuando la campiña entera de Francia y sus granjas se pasteurizaron por primera vez. Y lo mismo se podría decir de los cultivos transgénicos que han convertido la biosfera y nuestros cuerpos en laboratorios de alto riesgo. La ciencia ya no comienza ni termina en las paredes del laboratorio. El laboratorio antes reproducía artificialmente la naturaleza, para manipularla al antojo del científico. Ahora toda la sociedad es un enorme laboratorio. Las grandes dimensiones de las empresas tecnocientíficas han hecho de cada accidente un nuevo campo de estudio social y científico. Hiroshima, Chernobyl, Bhopal, Exxon Valdez, Kuwait, Prestige, entre otros, son ejemplos de esta nueva fase experimental. Cada accidente, inherente a cada progreso, es un nuevo experimento, sólo que esta vez el experimento no puede ser detenido a voluntad, ni se sabe hasta dónde llegará el final. Los hechos ya no son puros, aislados o repetibles. Los problemas ambientales complejos son formas de experimentación inéditas que han alterado el papel del laboratorio.

Para su estudio científico no contamos con un equilibrio entre los datos experimentales cuantitativos controlados y la teoría matemática, equilibrio que ha sido paradigmático para las ciencias naturales y experimentales clásicas. En cambio, los datos surgen de experimentos de laboratorio análogamente débiles y estudios de campo *ad hoc*, informes anecdóticos y opiniones de expertos y expertas, y las principales herramientas teóricas de que se disponen provienen de las simulaciones y modelos de computación no comprobables. Por eso mismo, para comprender las nuevas tareas y métodos de la ciencia, podemos invertir con fecundidad la metáfora de Latour y pensar que es la naturaleza la que ahora reinvierte el laboratorio, pues los riesgos que enfrentamos son globales en alcance y complejos en estructura. Las ficciones fértiles de la naturaleza que nos proporcionan las condiciones experimentales de laboratorio y los modelos computacionales ahora pueden convertirse en meras caricaturas si no van acompañadas de un nuevo marco metodológico. El laboratorio ya no avanza hacia el campo. Antes bien, lo salvaje ha penetrado en el laboratorio. Vemos esto de varias formas: por ejemplo, si los beneficios humanos creados por la tecnología basada en la ciencia han de ser compartidos por toda la humanidad, dependen de una explotación del ambiente que el planeta no puede soportar.

Se obtiene de esta manera una imagen diferente de la evolución de los problemas complejos y del papel de la ciencia. Primero, el laboratorio invadió la naturaleza, pero ahora, los efectos perversos sobre la naturaleza

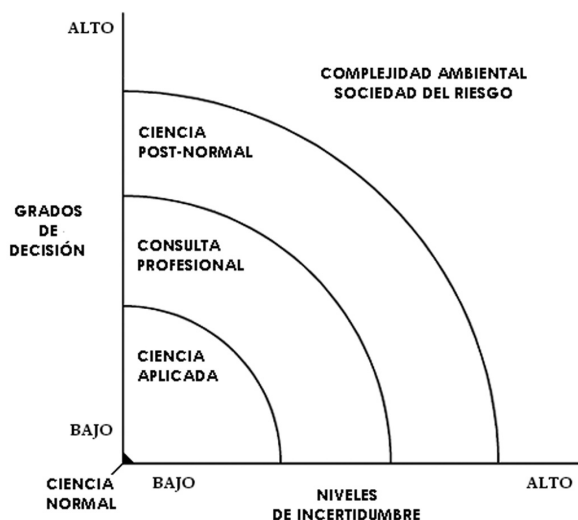
vuelven a nosotros convirtiéndonos en improvisados laboratorios. En este nivel ya no cabe hablar de una separación radical entre la ciencia y la política, entre los hechos y los valores. Naturaleza y sociedad parecen formar parte entonces de una misma red híbrida tecnopolítica. Cuando nuestro mundo se encuentra invadido por embriones congelados, sistemas expertos, máquinas digitales, robots con sensores, maíces transgénicos, bancos de datos, drogas psicotrópicas, ballenas equipadas de radiosondas, sintetizadores de genes y otros híbridos aparecen nuevas propiedades y problemas a dirimir ante el desarrollo tecnocientífico. La historia del agujero de ozono, la del calentamiento global del planeta, o la de la deforestación son a un mismo tiempo naturales y humanas, globales y locales (Latour 1993: 80-81), son híbridos tecnonaturales. Los accidentes en reactores nucleares, los vertidos químicos, los experimentos genéticos y los virus informáticos que se escapan del modelo de laboratorio tradicional llevan a ver los propios seres humanos con la categoría de *cyborgs* (Haraway 1991) como si fuésemos organismos cibernéticos en un planeta simbiótico (Ayestarán 2005b y 2006) y el *Homo sapiens* se hubiera convertido en un *Homo ciberneticus* (Alonso y Arzoz 2003).

De esta forma, naturaleza, tecnociencia y sociedad se imbrican mutuamente y ya no pueden ser reflejadas en el modelo clásico normal escindido entre las ciencias físico-matemáticas y las ciencias sociales, ni en la separación entre ciencias duras y ciencias blandas. En este punto ha surgido un nuevo modelo de ciencia postacadémica, que ya no es la ciencia normal descrita por Kuhn. En este nuevo modelo ya no se habla de hechos “duros” y valores “blandos”, sino de decisiones políticas “duras” e *inputs* científicos “blandos”, donde la incertidumbre es elevada, porque no se sabe a ciencia cierta las consecuencias de estos nuevos “experimentos” intergeneracionales (Hiroshima, Chernobyl, Exxon Valdez, Bhopal). La investigación queda socializada y la falsación definitiva queda postergada o diferida en el tiempo. La incertidumbre ya no desaparece, sino que se la maneja, y los valores no se presuponen, sino que se explicitan, en un modelo de ciencia que deja de regirse por el esquema nomológico-deductivo tradicional que postulaban los teóricos de la ciencia clásica (esquema cuya dirección venía enmarcada en la secuencia “hipótesis-experimento-teoría”), para dar paso a una ciencia postnormal en la que la experimentación se prolonga en el tiempo durante decenas e incluso centenares de años, con la introducción de diversas variables de riesgo e incertidumbre. El paradigma de la ciencia postnormal plantea por tanto dos aspectos novedosos ante los riesgos virtuales globales. Una es la idea de una ciencia de investigación que supere el paradigma incontestable e indiscutible de la ciencia normal de Kuhn. La segunda es poner en duda la presunción de una política ambiental que todavía es normal basada en la rutina de expertos y expertas como

base adecuada de conocimiento para las decisiones políticas de evaluación en contextos de complejidad e incertidumbre.

Mientras la ciencia antes era representada como un avance continuo hacia la certidumbre y el control de nuestro mundo natural, ahora se le concibe tratando muchas incertidumbres en cuestiones de política pública relacionadas con los riesgos y el ambiente. El paradigma analítico reduccionista que divide los sistemas en partes cada vez menores, estudiadas por una especialización paulatinamente más esotérica, se ve reemplazado por un enfoque sistémico e integrador de complejidad reflexiva (Funtowicz y Ravetz 1994b). Las viejas dicotomías de hechos y valores o de conocimiento e ignorancia están siendo superadas o revisadas. Ahora se reconoce que los sistemas naturales son complejos y dinámicos, e igualmente se admite que aquellos sistemas que se relacionan con la humanidad son emergentes, que incluyen aspectos de reflexividad y de contradicción (De Marchi y Funtowicz 2000). La ciencia adecuada para estas nuevas condiciones se basará en la asunción de impredecibilidad, control incompleto y pluralidad de perspectivas legítimas.

Para caracterizar el modelo de ciencia postnormal 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 denotar las aportaciones de la ciencia tradicional, pero sí supone una nueva estrategia científica y metodológica que se puede escenificar en un diagrama biaxial (Funtowicz y Ravetz 1992, 1993 y 2000), que se representa a continuación:



El diagrama de la ciencia postnormal 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 postnormal) 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 (kuhniana) de laboratorio.

Este diagrama pone de manifiesto que la ciencia ha cambiado su tratamiento de la incertidumbre en contextos de complejidad que superan las probetas y paredes del laboratorio experimental normal o tradicional que suponían el refugio de la ciencia pura. Las condiciones de estabilidad y control absolutos de la ciencia básica o pura son rebasadas parcialmente en la ciencia aplicada, aunque todavía su nivel de incertidumbre podrá ser manejado a un nivel técnico mediante rutinas y procedimientos estándar, herramientas estadísticas y paquetes para el procesamiento de datos. Cuando la incertidumbre no puede ser manejada en el nivel rutinario y técnico, porque son relevantes aspectos más complejos del problema, tales como la confiabilidad de las teorías y la información, entonces se requieren juicios personales que dependen de destrezas de alto nivel y la incertidumbre aparece en su nivel metodológico, así como grados de decisión más elevados. Entonces se hace preciso apelar a la consultoría profesional, pues se exige una mayor creatividad y disponibilidad para captar situaciones nuevas e inesperadas y asumir la responsabilidad por sus resultados, extralimitando el ámbito de las ciencias del diseño y el trabajo de ingeniería.

La consultoría profesional representa un paso más en el conocimiento. La ciencia pura y la ciencia aplicada presentan los rasgos de reproducibili-

lidad y predictibilidad, pues operan en sistemas naturales aislados y controlados. En cambio, las tareas profesionales conciernen a situaciones únicas, por muy semejantes que sean a otras circunstancias previas. La consultoría profesional entra en la dinámica del peritaje y del contra-peritaje, donde no basta una sola opinión, puesto que, por ejemplo, no sería realista esperar que dos ingenieros de seguridad produjeran el mismo modelo para un análisis de riesgo potencial de una instalación compleja industrial o ambiental. En estas circunstancias, los juicios de los expertos y expertas son tan importantes como los datos de campo o experimentales. De este modo, si en la ciencia pura y en la ciencia aplicada el foco de evaluación está centrado en el producto, ahora se extiende al producto, al proceso y a las personas (triple “p” al cubo), porque no pueden existir criterios o procesos objetivos y simples para el reaseguro de la calidad.

Finalmente, en la parte más abierta del diagrama se encuentra el intervalo de la ciencia postnormal donde las tareas profesionales o los ejercicios de investigación aplicada ya no pueden dominar el proceso de toma de decisiones. En esta fase surgen incertidumbres complejas, nuevos criterios de calidad y compromisos sociopolíticos. Las consideraciones metodológicas, sociales y éticas desbordan el marco tradicional o normal de la empresa científica. Ya no bastan los procesos normales de revisión de proyectos por parte de los evaluadores y el arbitraje académico de los artículos, pues se amplía la comunidad de investigadores a administradores, usuarios, afectados y ciudadanos en general. Las decisiones trascienden los límites metodológicos y cognitivos de los expertos y expertas tradicionales y sus fuentes de financiación. La extensión de la comunidad de evaluadores puede llegar a incluir científicos y científicas de diversas disciplinas, abogados, periodistas, consumidores y grupos de presión que intervienen en políticas de contextos complejos e incertidumbres elevadas, porque los grados de decisión se prolongan en el espacio y el tiempo. Los problemas de riesgo y los problemas ambientales introducen nuevas demandas que una visión simplista y reduccionista de la práctica científica no puede asumir. Las incertidumbres epistemológicas y éticas provocan una extensión automática de la comunidad que participa legítimamente en la evaluación y en una nueva política científica y tecnológica.

En la ciencia postnormal la búsqueda de la calidad lleva a no presuponer la neutralidad axiológica y epistémica. Al contrario, es preciso expresar y explicitar los valores e incertidumbres de las decisiones para que éstas sean efectivas y razonables. En el diálogo relativo a un problema de ciencia postnormal el principio guía es la calidad de las partes implicadas o *stakeholders* (grupos de interés) y no la verdad de una sola de las partes, pues se asume la pluralidad de competencias, perspectivas y compromisos. Asimismo, la unidad de la ciencia postnormal no deriva tanto de un conocimiento básico compartido sino de un compromiso compartido de

las partes y sus diversas metodologías y técnicas de conocimiento. Los instrumentos de investigación en la fase postnormal incluyen procesos de discusión, tales como los *focus groups* y paneles de expertos o expertas, o procesos deliberativos, como la mediación, los jurados o parlamentos ciudadanos y las reuniones de consenso, sin excluir los debates y la divulgación en los medios de comunicación y las tecnologías de la información. Tales técnicas pueden ser implementadas de diversas maneras, desde marcos multicriteriales hasta tecnologías de simulación computarizada, que permiten la elaboración y evaluación de políticas sostenibles en su triple dimensión económica, social y ecológica (Funtowicz, Martínez Alier, Munda y Ravetz 1999). La evaluación postnormal alcanza así diversos objetivos a partir de los diferentes grupos de interés o *stakeholders* involucrados: calidad de los resultados (en debates sobre la riqueza, la salud o la seguridad públicas), legitimidad de los procesos, aprobación de la opinión pública y extensión de la ciudadanía y la democracia (Funtowicz, Shepherd, Wilkinson y Ravetz 2000: 334).

Esta ciencia postnormal tiene el rasgo paradójico de que en su actividad de resolución de problemas se invierte el dominio tradicional de los “hechos duros” sobre los “valores blandos”, así como la brecha entre “ciencias duras” y “ciencias blandas” o entre conocimiento técnico y no experto. Los *inputs* científicos tradicionales se han transformado en “blandos” en el contexto complejo de compromisos valorativos “duros”. La división tradicional y neopositivista “hechos-valores” se invierte porque ambas categorías no pueden ser separadas de manera realista. Las incertidumbres van más allá de los sistemas hasta incluir también la ética y la política. En los riesgos ambientales globales (cambio climático, pérdida de biodiversidad, salud pública, por ejemplo) ya no hay externalidades a la empresa tecnocientífica, sino una extensión de la comunidad de evaluación ante los riesgos virtuales. Cuando los problemas no tienen soluciones nítidas, cuando sus aspectos ambientales y éticos son fundamentales, cuando los propios fenómenos son ambiguos y cuando todas las técnicas de investigación están abiertas a la crítica metodológica, entonces los debates acerca de la calidad no se intensifican por el hecho de excluir a todo el mundo salvo a los expertos y expertas oficiales y los investigadores especialistas de la academia o de la administración. La extensión de la comunidad de expertos y expertas no es, entonces, un mero acto político o ético, sino que enriquece positivamente los procesos de investigación científica que escapan a la ciencia aplicada, la consultoría profesional y el desarrollo industrial.

En cualquier caso, el diagrama de la ciencia postnormal no debe ser leído de manera estática sino como un gradiente dinámico, con los diferentes aspectos del problema localizados en diversas zonas interactuando y conduciendo a su evolución. En el marco de la ciencia postnormal hay



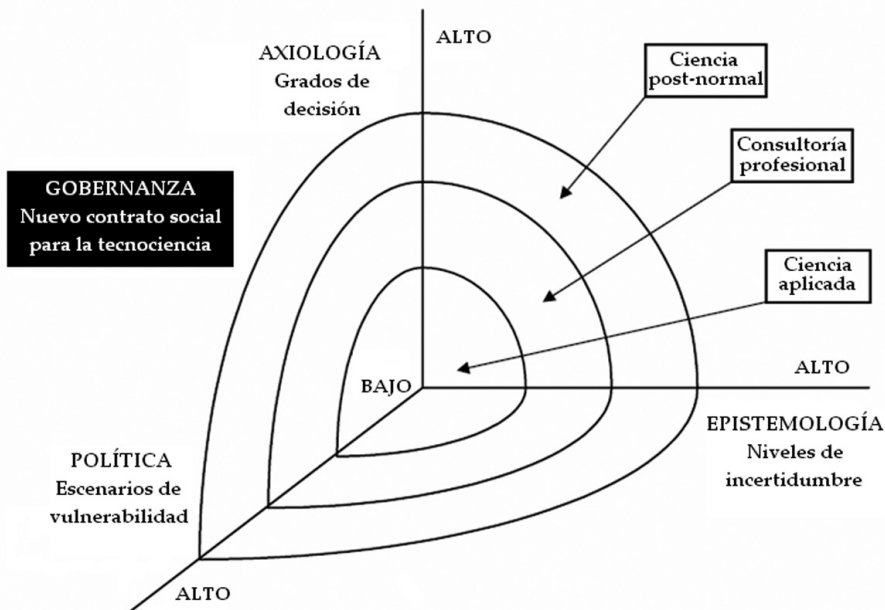
un lugar para el trabajo técnico y las rutinas de la ciencia aplicada, así como para la destreza de los juicios de la consultoría profesional. La diferencia actual es que dichos dominios todavía son y serán necesarios, pero ya no son suficientes para dirimir e implementar políticas relacionadas con los riesgos ambientales globales. El lema “piensa globalmente y actúa localmente” significa en la metodología de la ciencia postnormal que la acción local supone la comunidad: todos los miembros de la comunidad deben transformarse en pares evaluadores para asegurar la calidad de la investigación y la resolución de problemas. Las incertidumbres irreductibles y las complejidades éticas conllevan la participación y la democratización en el conocimiento en discursos abiertos y procesos de diálogo.

La actividad de la ciencia postnormal asume de esta forma el manejo de las incertidumbres cognitivas y éticas, y reconoce las diferentes perspectivas y epistemologías legítimas. Su práctica se asemeja más al funcionamiento de una sociedad democrática, caracterizada por una participación ampliada y por una tolerancia de la diversidad. La empresa científica expande el alcance de sus intereses al igual que el proceso político se extiende al ambiente global, a las generaciones futuras y a otras especies. Desde la ciencia postnormal el reconocimiento de los riesgos ambientales globales muestra que el marco apropiado de la resolución de problemas no es el de la racionalidad universal sino el de la razonabilidad “*glocal*” (global y local a un mismo tiempo), en una conjunción de diversas metodologías (axiología, epistemología y política), con diferentes áreas y registros implicados, que pasan a detallarse en el siguiente cuadro:

CIENCIA POSTNORMAL:  
DE LA RACIONALIDAD UNIVERSAL A LA RAZONABILIDAD GLOCAL

Metodologías	Axiología	Epistemología	Política
Áreas implicadas	Grados de decisión	Niveles de incertidumbre	Escenarios de vulnerabilidad
Registros	Valores evaluados	Participación ampliada	Riesgos asociados

Este nuevo paradigma de la ciencia postnormal se presenta como un posible modelo de gobernanza para el riesgo (De Marchi y Funtowicz 2004, Farrell y Ravetz 2005) donde convergen la axiología (grados de decisión), la política (escenarios de vulnerabilidad) y la epistemología (niveles de incertidumbre) en un diagrama de evolución de sinergias en el conocimiento en lo que se puede denominar, siguiendo a diversos autores (Lubchenco 1997; Gibbons 1999; Gallopín, Funtowicz, O'Connor y Ravetz 2001; Ayestarán 2005a), el nuevo contrato social de la ciencia y la tecnología, tal y como se puede observar en el siguiente diagrama triaxial:



#### 4. MODELOS DE CIENCIA Y POLÍTICA: DE LAS DEMOSTRACIONES EXPERTAS A LA GOBERNANZA Y LA PARTICIPACIÓN AMPLIADA

Ahora el riesgo y la gobernanza pasan a pertenecer a una misma esfera de investigación e interés práctico (De Marchi y Funtowicz 2004). Hasta ahora, el campo del estudio de los riesgos y el campo de la gobernanza parecían discurrir por vías separadas. Por un lado, se presentaba el ámbito del riesgo con los científicos y científicas, los expertos y expertas en análisis cuantitativo, los promotores de tecnologías y quienes las desarrollan, así como sus reguladores. Por otro, estaba el dominio de la gobernanza de las ciencias políticas y sociales, de los responsables de la toma de decisiones y de los administradores políticos. Ambos campos, empero, están obligados a interactuar en este nuevo contrato social de la ciencia y la tecnología a través de diferentes tipos de agregados, instituciones sociales, mecanismos de consenso, participación, estabilidad y cambio social, generando así el espacio postnormal ya descrito. Esto origina un nuevo modelo de ciencia y política que conduce de las demostraciones expertas a la participación ampliada. En esta nueva concepción de los problemas complejos se pueden identificar diversos modelos conceptuales sobre la relación entre la ciencia y la toma de decisiones en los procesos políticos, trazando su evolución a través de una apreciación cada vez más profunda sobre el uso

de la ciencia en el ámbito político (De Marchi y Funtowicz 2004, Guimarães Pereira y Funtowicz 2006):

1. *El modelo “moderno” (perfección/perfectibilidad)*. En este modelo, la política correcta se determina a partir de hechos científicos (aproblemáticos), usados en demostraciones rigurosas. En términos clásicos, la verdad implica el bien. En términos modernos, la verdad habla al poder. Basándose en hechos científicos, el poder se ejerce de forma efectiva. No hay límites para el progreso del control humano sobre el ambiente, ni tampoco hay límites para el progreso material y moral de la humanidad. Esta es la visión “tecnócrata” clásica, la cual depende de una presunta perfección/perfectibilidad de la ciencia tanto en la teoría como en la práctica.

2. *El modelo de precaución (incertidumbre e información no conclusiva)*. En los procesos políticos reales se descubre que los hechos científicos no son ni completamente ciertos en ellos mismos, ni conclusivos para la política. No se puede suponer que el progreso es automático y, por lo tanto, el control sobre el ambiente a veces puede fallar, llevando incluso a situaciones patológicas. Mientras, en general, las partes implicadas siguen rindiendo homenaje al sistema de verdad/validez de la ciencia, donde cada una se enfrenta a temas relacionados con la información proporcionada en el proceso de decisión que conducen a disputas. Esta imperfección en la ciencia implica un elemento extra, normativo, en la decisión política, la precaución, la cual cumple la doble función de proteger y legitimar las decisiones.

3. *El marco de la investigación (arbitrariedad en la elección y posible uso incorrecto)*. La ausencia de hechos conclusivos lleva a que la información científica se convierta en uno más de los *inputs* o salidas que forman parte del proceso político, de manera que funcione como evidencia que sustenta las discusiones. Entonces el debate se vuelve necesario, teniendo en cuenta que los distintos agentes implicados tienen sus propias perspectivas y valores en los que basan sus argumentos. Además, todos estos procesos implican cuestiones complejas que incluyen distintas fases (causas, efectos, prevención, corrección) y cada una de éstas implica una construcción teórica de la realidad. No existen soluciones simples que resuelvan los problemas en toda su complejidad. De ahí que deba considerarse el marco en el que el problema científico debe investigarse. Incluso la elección de la disciplina científica que responda mejor al problema se convierte en una decisión prioritaria y, por lo tanto, pasa a formar parte del debate entre aquellos agentes afectados por el problema. Distintas disciplinas científicas se convierten en agentes que compiten: aquella que se “apropie” del problema a investigar podrá realizar una mayor contribución y gozará de los mayores beneficios. No existen bases científicas conclusivas que nos

indiquen la mejor elección del marco de investigación y, por consiguiente, hasta cierto punto, esta elección es arbitraria (o social).

4. *La demarcación (posibilidad de abuso de la ciencia)*. La información científica y el asesoramiento que se utilizan en el proceso político son creados por personas que trabajan en instituciones con sus propias agendas de investigación. La experiencia demuestra que este contexto puede afectar a los contenidos de aquella información que se ofrece al proceso de decisión política, a partir de la selección y la configuración de los datos y las conclusiones. A pesar de que se exprese en términos científicos, no se puede garantizar que la información y el asesoramiento sean objetivos y neutrales. En este sentido, se puede abusar de la ciencia cuando se utiliza como evidencia en el proceso político. Se hace necesaria una demarcación clara entre las instituciones (y los individuos) que proveen de conocimiento científico y aquellas instituciones en las que ese conocimiento se utiliza, para proteger a la ciencia de las interferencias políticas que podrían dañar su integridad. De esta forma, también se asegura que la responsabilidad política se mantenga en el ámbito de la política y que no se transfiera, de forma inapropiada, hacia la comunidad científica. Además, previene que los científicos y científicas usen la autoridad de su estatus como una validación ilegítima de sus afirmaciones cuando toman partido en cuestiones políticas ya fuertemente conflictivas. No obstante, puede darse que las instituciones científicas se concentren en sus propios objetivos internos y que el trabajo que realicen resulte irrelevante para el proceso político. Diseñar la forma correcta de demarcación entre la ciencia y la política es, por lo tanto, una de las tareas urgentes de la gobernanza.

5. *La participación ampliada*. Teniendo en cuenta las imperfecciones en el uso de la ciencia en los procesos políticos, resulta aún más difícil defender un monopolio de expertas y expertos acreditados que provean de información científica y asesoramiento. La “ciencia” (concebida como la actividad de los expertos técnicos) se incluye como parte del “conocimiento relevante” que brinda evidencias al proceso de decisión. El ideal de demostración científica rigurosa queda sustituido por la del diálogo público abierto. La ciudadanía se convierte en el agente crítico y creador en el proceso de producción de conocimiento como parte de una comunidad de evaluadores o pares ampliada. Sus contribuciones no deben considerarse por su conocimiento “local”, “práctico”, “ético” o “espiritual”. Se acepta una pluralidad de perspectivas legítimas coordinadas (con sus propios valores y sus propias perspectivas). La fuerza y la relevancia de la evidencia científica pueden ser evaluadas por la ciudadanía. Todas las partes entran en el diálogo dispuestas a aprender o, de lo contrario, el proceso deviene una farsa. A través de esta coproducción de conocimiento, la comunidad de pares ampliada crea una democracia del conocimiento experto en el contexto de una ciencia postnormal.

Los cuatro últimos modelos expuestos se pueden analizar como una progresión del modelo “moderno” inicial, con sus supuestos de perfección de la ciencia en el proceso político. Todos estos temas fueron expresados inicialmente en los debates de los años setenta, cuando el “progreso” empezó a ser cuestionado. No obstante, han emergido de forma notable en el ámbito político durante la década pasada, empezando por la proclamación del principio de precaución en la Cumbre de Río en 1992 (cf. Ayestarán 2008). El marco conceptual de la ciencia postnormal, el cual forma parte de esta evolución, fue publicado al principio de los noventa, la década de la “sostenibilidad” y la precaución, pero sólo recientemente se ha convertido en un tema de mayor relevancia, como resultado del debate sobre la gobernanza. Puede interpretarse que los tres modelos de imperfecciones forman una secuencia creciente de severidad, de admisión de la incompletud, del uso erróneo y del abuso del conocimiento científico. Cada uno de ellos ha sido diseñado para resolver un tipo de anomalía particular y, en una situación real, pueden ser complementarios o entrar en conflicto; pero en todo caso, el deseo es que la conexión entre la ciencia y la política se mantenga directa e inmediata. En los modelos sucesivos vemos que: (a) la política se modifica por la precaución, (b) los problemas son enmarcados por los agentes interesados, o (c) la comunidad científica queda protegida de interferencias políticas; sin embargo, la actividad esencial del modelo moderno, la verdad (deseada) de los expertos que habla al poder (necesario) político, no cambia. El modelo final de participación ampliada implica un cambio en la forma de gobernanza. Implementarlo es un verdadero reto para nuestros tiempos, ya que, sin este modelo, no se va a mantener el “consentimiento de los gobernados y gobernadas” en los problemas políticos relacionados con la ciencia. Ello presupone una transformación de nuestros usos (axiológicos, epistémicos y políticos) de los modelos de información en contextos abiertos de complejidad dinámica.

## NOTAS

- 1 Ignacio Ayestarán es investigador principal del proyecto UNESCO08/20, financiado por la Cátedra UNESCO de Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental de la UPV/EHU, dentro del cual se enmarca este trabajo.
- 2 Las opiniones expresadas pertenecen al autor y no representan necesariamente las de la Comisión Europea.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, Andoni y Arzoz, Iñaki (2003), *Carta al Homo ciberneticus*. Madrid: Edaf.
- Ayestarán, Ignacio (1998), "Ciencia postnormal y sociedad del riesgo en la encrucijada medioambiental", en José M. Sabucedo, et al., *Medio ambiente y responsabilidad humana. Aspectos sociales y ecológicos*, A Coruña: Universidade da Coruña/Universidade de Santiago de Compostela/Universidade de Vigo, pp. 223-230.
- Ayestarán, Ignacio (2000), "Medio ambiente y tecnociencia en la sociedad post-industrial: la economía ecológica como ciencia postnormal", en Eulalia Pérez Sedeño et al., *Actas del III Congreso de la SLMFC en España*, San Sebastián: UPV/EHU, pp. 343-354.
- Ayestarán, Ignacio (2004), "De la historia y la sociología ambientales a la ecología política: factores tecnocientíficos, sociohistóricos y ecosistémicos en la investigación sobre el cambio climático", *Norba* 17: 111-134.
- Ayestarán, Ignacio (2005a), "Límites éticos de la ciencia y realismo instrumental: de la ecología profunda a la tercera cultura", *Debats* 87: 34-44.
- Ayestarán, Ignacio (2005b), "The living republic: from genetic information to globalising planet symbiotic planet", in Gerhard Banse (ed.), *Neue Kultur(en) durch Neue Medien(?)*. Das Beispiel Internet, Berlín: Trafo Verlag, pp. 167-174.
- Ayestarán, Ignacio (2006), "Homo complex — information and community in a global ecology", in Nicanor Ursua y Andreas Metzner-Szigeth (eds.), *Netzba-sierte Kommunikation, Identität und Gemeinschaft / Net-based Communication, Identity and Community*, Berlín: Trafo Verlag, pp. 145-158.
- Ayestarán, Ignacio (2008), "The second Copernican revolution in the Anthropocene: an overview", *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo* 3: 145-157.
- De Marchi, Bruna y Funtowicz, Silvio O. (2000), "Ciencia posnormal, complejidad reflexiva y sustentabilidad", en Enrique Leff (coord.), *La complejidad ambiental*, México y Madrid: UNAM, PNUMA y Siglo XXI, pp. 54-84.
- De Marchi, Bruna y Funtowicz, Silvio O. (2004), "La gobernabilidad del riesgo en la Unión Europea", in José Luis Luján y Javier Echeverría (eds.), *Gobernar los riesgos. Ciencia y valores en la sociedad del riesgo*, Madrid: Biblioteca Nueva, pp. 153-165.
- Farrell, Katharine N. y Ravetz, Jerome R. (eds.) (2005), *Governance of Science: The New Politics of Science, Historical Perspectives and Future Prospects*. Belfast: Queen's University Belfast - Institute of Governance, Public Policy and Social Research.
- Funtowicz, Silvio O.; Martínez Alier, Joan; Munda, Giuseppe; y Ravetz, Jerome R. (1999), "Information tools for environmental policy under conditions of

- complexity", Copenhagen: European Environmental Agency, *Environmental Issues Series* 9.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (1990), *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- 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, pp. 137-152.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (1992), "Three types of risk assessment and the emergence of post-normal science", in Sheldon Krinsky y Dominic Golding (eds.), *Social Theories of Risk*, Nueva York: Greenwood Press, pp. 251-273.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (1993), "Science for the post-normal age", *Futures* 25/7: 739-755.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (1994a), "The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science", *Ecological Economics* 10: 197-207.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (1994b), "Emergent complex systems", *Futures* 26/6: 568-582.
- Funtowicz, Silvio O. y Ravetz, Jerome R. (2000), *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria.
- Funtowicz, Silvio O.; Shepherd, Iain; Wilkinson, David; y Ravetz, Jerome R. (2000), "Science and governance in the European Union: a contribution to the debate", *Science and Public Policy* 27/5: 327-336.
- Gallopín, Gilberto C.; Funtowicz, Silvio O.; O'Connor, Martin; y Ravetz, Jerome R. (2001), "Science for the twenty-first century: from social contract to the scientific core", *International Journal of Social Science* 168: 220-229.
- Gibbons, Michael (1999), "Science's new social contract with society", *Nature* 402: C81-C84.
- Guimarães Pereira, Ângela y Funtowicz, Silvio O. (2006), "Knowledge representation and mediation for transdisciplinary frameworks: tools to inform debates, dialogues and deliberations", *International Journal of Transdisciplinary Research* 1/1: 34-50.
- Haraway, Donna (1991), *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinvención de la naturaleza*. Madrid: Cátedra.
- Keepin, Bill y Wynne, Brian (1984), "Technical analysis of IASA energy scenarios", *Nature* 312: 691-695.
- Kuhn, Thomas S. (1962), *The Structure of the Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Latour, Bruno (1988), *The Pasteurization of France*. Harvard: Harvard University Press.
- Latour, Bruno (1993), *Nunca hemos sido modernos: ensayo de antropología simétrica*. Madrid: Debate.
- Latour, Bruno (2004), *Politics of Nature. How to Bring the Sciences into Democracy*. Londres y Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Lubchenco, Jane (1997), "Entering the century of the environment: a new social contract for science", *Science* 279: 491-497.
- Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jorgen; y Behrens III, William W. (1972), *The Limits to Growth*. Nueva York: Universe Books.
- Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; y Randers, Jorgen (1992), *Beyond the Limits*. Post Mills: Chelsea Green Publishing Company.

- Meadows, Donella H.; Randers, Jorgen; y Meadows, Dennis L. (2004), *Limits to Growth: The 30-year Update*. Post Mills: Chelsea Green Publishing Company.
- Ravetz, Jerome R. (2005), "The post-normal sciences of precaution", *Water Science and Technology* 52/6: 11-17.
- Ravetz, Jerome R. (2006), "Post-normal science and the complexity of transitions towards sustainability", *Ecological Complexity* 3/4: 275-284.
- Simon, Herbert A. (2006), *Las ciencias de lo artificial*. Granada: Comares.
- VV.AA. (2004), *¿Catástrofe o nueva sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano, treinta años después*. Buenos Aires: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo e IIED-América-Latina, segunda edición ampliada.