

## **La multidisciplinariedad como método de investigación científica: su proyección en la relación entre ciencias empíricas y sociales**

*Miguel Moreno Muñoz*  
*Dpto. de Filosofía I*  
*Universidad de Granada*  
*mm3@ugr.es*

### **Introducción**

Los enfoques multidisciplinarios constituyen desde hace décadas un requisito inexcusable para desarrollar investigación científica de calidad en cualquier área de conocimiento. Frente a la homogeneidad de objetivos y procedimientos que caracterizan los trabajos de investigación en el marco de una disciplina bien consolidada, la multidisciplinariedad impone ajustes en los objetivos, procedimientos y desarrollo de un programa de investigación. El desafío de la multidisciplinariedad es mayor cuanto más nos alejamos del contexto propio de "disciplinas afines" (las que confluyen en la investigación biomédica, p.ej.) y buscamos la colaboración entre profesionales con formación muy heterogénea (biólogos moleculares, oncólogos, juristas, sociólogos, economistas, bioeticistas y otros), como ya es habitual en proyectos de relevancia internacional.

En los contextos de trabajo habituales prevalece la investigación multidisciplinar –más que interdisciplinar– desarrollada en el marco de una misma especialidad porque las instituciones con finalidad investigadora centran su labor en fomentar la cooperación de profesionales que comparten una misma formación de base y llevan tiempo trabajando sobre dominios de problemas similares. La puesta en marcha de programas de formación y entornos de trabajo verdaderamente "interdisciplinares" continúa siendo un desafío, si entendemos por interdisciplinariedad la cooperación efectiva, habitual y coordinada de profesionales con habilidades y formación teórica muy diferentes, implicados por igual en la resolución de problemas complejos que requieren acciones y decisiones en varios niveles (científico-técnico, legal, ético, socio-político...).

No es tarea fácil agilizar el proceso de transición desde sistemas de formación y capacitación profesional centrados en especialidades y disciplinas afines hacia otros centrados en contextos de problemas. La investigación genética, los problemas medioambientales, las neurociencias y sus aplicaciones constituyen, por su complejidad, algunos de estos nuevos contextos de problemas que demandan nuevas formas de investigación cooperativa y una formación multidisciplinar genuina, tanto en conocimientos básicos como en métodos y herramientas de trabajo.

Mi propuesta se orienta a precisar las nociones de inter/multidisciplinariedad y la comprensión del conocimiento subyacente, desde un enfoque cercano a la epistemología evolutiva. A continuación destaco la complejidad inherente a los que considero algunos desafíos multidisciplinarios genuinos y sugiero que ciertas metáforas o desarrollos computacionales (inteligencia artificial distribuida, grid, redes sociales, edición

cooperativa) pueden ser de utilidad para orientar procesos de adaptación institucional compatibles con dinámicas y estructuras de trabajo genuinamente interdisciplinarias. Este proceso no es ajeno a toda una serie de inercias y condicionamientos sociopolíticos, cuyas implicaciones éticas pretendo destacar.

## 1. Precisando la noción de multidisciplinariedad

Si nos atenemos a las definiciones del diccionario de la RAE (22ª edición), *multidisciplinar* sería todo estudio “que abarca o afecta a varias disciplinas”, e *interdisciplinar* (o *interdisciplinario*) sería el estudio o actividad “que se realiza con la cooperación de varias disciplinas”. Poco podemos extraer de las expresiones “que abarca o afecta” y “que se realiza con la cooperación de” para diferenciar el tipo de relación entre disciplinas propio de la multidisciplinariedad (MD) y de la interdisciplinariedad (ID).

El término *disciplina* permite cierta aproximación complementaria a través de sus dos acepciones: a) “Doctrina, instrucción de una persona, especialmente en lo moral”; b) “Arte, facultad o ciencia”. La MD requiere la cooperación entre distintas artes o ciencias, entendida como colaboración entre personas con formación y capacitación profesional heterogéneas que comparten el interés por resolver un mismo problema.

Este aspecto puede precisarse algo más con varias acepciones de *arte* (del lat. *ars*, *artis*, y este del gr. τέχνη) incluidas en el mismo diccionario: 1ª) “Virtud, disposición y habilidad para hacer algo”; 3ª) “Conjunto de preceptos y reglas necesarios para hacer bien algo”; 9ª) “Lógica, física y metafísica. *Curso de artes*”. La colaboración multidisciplinar no es sólo un tipo especial de relación entre distintas artes o ciencias, entre personas con formación y capacitación profesional heterogéneas; implicaría también el desarrollo de nuevas virtudes o habilidades profesionales, entre ellas la familiarización con nuevas reglas y disposiciones requeridas para llevar a cabo proyectos complejos, cuya consecución involucra conocimientos teóricos, empíricos y metodológicos heterogéneos.

Lo dicho basta para ilustrar el tipo de cooperación multidisciplinar que considero adecuado para abordar problemas complejos. Estaría más allá de una confluencia ocasional de intereses académicos o epistemológicos que involucren a disciplinas con un mismo objeto de estudio (por ejemplo, las ciencias sociales en tanto que conjunto de disciplinas académicas que estudian el origen y el desarrollo de la sociedad, de sus instituciones y de las relaciones e ideas que configuran los diferentes aspectos de las sociedades humanas). En la práctica, este concepto de MD se traduce frecuentemente en la mera yuxtaposición de especialidades en un marco institucional rígidamente compartimentado, donde los diferentes profesionales realizan la mayor parte de su carrera y proyectos de investigación en condiciones de estricta uniformidad disciplinar. A este esquema responde la típica agregación de áreas de conocimiento especializado en el marco institucional de una facultad universitaria. Así, las ciencias sociales llegan a estructurarse en departamentos o facultades independientes (antropología, arqueología, sociología, ciencias políticas, economía, geografía, historia, derecho, psicología, etc.), del mismo modo que las ciencias empíricas y exactas se agrupan en función de su objeto

de estudio: biológicas (se ocupan del estudio de los seres vivos), de la Tierra (se ocupan de la Tierra y de sus aspectos geonaturales), físicas, exactas, etc.

Semejante encuadre institucional del conocimiento impone numerosas restricciones en los procesos de formación y capacitación profesional, así como en los objetivos, habilidades metodológicas, dominios de problemas considerados relevantes y proyectos de investigación a desarrollar. Más que una colaboración efectiva entre disciplinas afines, contribuye a perpetuar inercias en una misma trayectoria de especialización unidisciplinar y, en el peor de los casos, a fomentar todo tipo de fobias y alergias a la ID/MD. Entre sus secuelas tendríamos determinados perfiles profesionales, hiperespecializados en algún área experimental pero en condiciones de verdadero analfabetismo científico respecto de cualquier contenido propio de las ciencias sociales; o incluso en aspectos básicos de disciplinas afines, tras algunos años de trabajo en un dominio muy acotado de problemas.

Con igual o mayor frecuencia conviven una formación humanística de cierto nivel y la más absoluta ignorancia de aspectos y desarrollos elementales en el ámbito de las ciencias naturales, sin los cuales difícilmente podríamos comprender el mundo en que vivimos. El desarrollo de habilidades complejas en el terreno formal y especulativo, tras un largo período de formación universitaria, no es incompatible con una ignorancia supina en todo lo relativo a ciencias aplicadas, si se han seguido al pie de la letra trayectorias férreamente arraigadas en el sistema actual de formación superior. Tanto en ciencias sociales como en áreas experimentales podemos encontrar perfiles profesionales en los que contrasta la aparente solidez de la formación científica y teórica recibida con una llamativa escasez de habilidades instrumentales, más propia de contextos de analfabetismo tecnológico que de un sistema universitario mínimamente desarrollado. El verdadero reto de la MD consiste en fomentar contextos de formación y trabajo centrados en problemas complejos que requieren nuevas formas de colaboración multidisciplinar genuina, y que obligan a superar las divisiones tradicionales entre ciencias naturales y sociales, entre investigación teórica y aplicada, entre las habilidades metodológicas y la capacitación tecnológica propias de expertos en disciplinas no afines.

La calidad de un proceso de formación interdisciplinar dependerá sólo en parte del plan de estudios y sus contenidos; lo fundamental será el tipo de problemas al que tendrán que dar respuesta los egresados y la dinámica de trabajo generada para afrontarlos. Si la planificación docente se limita a capacitarles sólo para resolver los ejercicios de sus libros de texto, difícilmente podrán integrarse después en contextos de trabajo mucho más exigentes en los objetivos, o en la novedad y complejidad de los problemas a tratar. La necesidad de contemplar un marco flexible de formación y aprendizaje práctico parece obvia. En conclusión, lo que garantizaría el éxito de un proceso de capacitación interdisciplinar sería, más que lo ya aprendido, la preparación para iniciar de manera autónoma nuevos procesos de formación teórica y entrenamiento en habilidades instrumentales, planificados en función de las características y complejidad de los problemas a tratar.

## 2. Disquisiciones sobre la *multi-, inter- y trans-disciplinariedad*

Muchos autores —al menos en el terreno de la bioética— coinciden en destacar la necesidad de establecer puentes entre disciplinas biomédicas y ciencias sociales. Suelen echar en falta mayor coordinación e interconexión en las reflexiones, e identifican numerosas cuestiones que reclaman respuestas urgentes y combinadas desde diferentes contextos profesionales (médicos, biólogos, juristas, políticos, etc.). Estos contextos de debate se prestan a mucha confusión, lo que ha llevado a algunos autores a precisar el tipo de relación entre disciplinas que consideran apropiado. Distinguen, así, entre:

- a) *Multidisciplinariedad*: Se pone en práctica cuando algún tema o problema típico de alguna disciplina pasa a ser objeto de estudio para varias disciplinas al mismo tiempo. Como ejemplo mencionan la interrupción del embarazo, problema en el que confluirían la medicina, la biología, el derecho, la sociología, la antropología y la psicología<sup>1</sup>.
- b) *Interdisciplinariedad*: Tiene que ver con la transferencia de métodos de una disciplina a otra. Esta variante admitiría grados, el primero de los cuales podría ejemplificarse con la transferencia de los métodos de la ingeniería genética a la medicina o al derecho para la comprobación de la paternidad. Un grado superior vendría representado por la transferencia de métodos de la lógica dialéctica al contexto de discusiones sobre salud pública y asignación de recursos (justicia social). El último grado se alcanzaría cuando los conocimientos de varias disciplinas confluyen para dar lugar a una nueva, y proponen la bioética como ejemplo<sup>2</sup>.
- c) *Transdisciplinariedad*: Designaría aquello “que está al mismo tiempo entre las disciplinas, a través de las disciplinas y *más allá* de cualquier disciplina”. Se hace necesaria cuando incluimos entre nuestros objetivos “la comprensión de la realidad”, empresa imposible sin la “unidad del conocimiento”<sup>3</sup>. Definida así, estos autores encuentran una dificultad importante para hablar de transdisciplinariedad en el *pensamiento clásico*, pues en ese marco conceptual no existe nada “entre” o “más allá” de las disciplinas. Esto significa “carencia de objeto de estudio” y viabilidad imposible. Sin embargo, desde un enfoque transdisciplinar el *pensamiento clásico* resulta demasiado restringido y limitado para abordar problemas de naturaleza compleja. Este tipo de problemas lo primero que cuestionan son las distinciones convencionales entre áreas de conocimiento, cuando no la actual división social del trabajo científico e investigador.

---

<sup>1</sup> Cfr. Garrafa, V. (2005): “Multi-inter-transdisciplinariedad, complejidad y totalidad concreta”, en Garrafa, V., Kottow, M., Saada, Alya (eds.): *Estatuto epistemológico de la bioética*. UNESCO/UNAM, México, 18-85.

<sup>2</sup> Ibidem, pp. 69-70 (citando a su vez a B. Nicolescu, “Um novo tipo de conhecimento - transdisciplinaridade”; “A prática da transdisciplinaridade”, en B. Nicolescu, *Educação e transdisciplinaridade*, Brasília, UNESCO, 2000).

<sup>3</sup> Ibid.

Se acierte o no con los ejemplos propuestos y nos parezcan más o menos afortunadas este tipo de distinciones, no parece obligado asumir planteamientos ontológicos y epistemológicos sumamente ambiciosos para reconocer que el tratamiento de problemas tan complejos como el cambio climático, el impacto social de las biotecnologías o una distribución equitativa de los recursos sanitarios sólo es imaginable en el marco de programas de trabajo genuinamente interdisciplinares. Algunas características básicas de estos programas se han sugerido ya:

- Implican a diferentes disciplinas, no siempre afines, en un programa común de trabajo.
- Exigen habilidades metodológicas e instrumentales no adquiridas habitualmente en los procesos de capacitación profesional que se centran en disciplinas afines.
- Obligan a desarrollar nuevas estrategias de formación, capacitación y comunicación interprofesional que permitan superar las limitaciones de los marcos de formación y desarrollo curricular convencionales.
- Demandan contextos flexibles de formación y cooperación interprofesional, donde se definen los objetivos, estrategias de trabajo, áreas de conocimiento relevantes y niveles de decisión implicados.

### **3. Del deseo a la realidad**

Quienes han seguido algún programa de doctorado o estudios de postgrado conocen de sobra hasta qué punto las declaraciones institucionales sobre las virtudes de la cooperación multidisciplinar son perfectamente compatibles con hábitos personales de trabajo unidisciplinar permanente. La rígida compartimentación de áreas de conocimiento en el sistema universitario español constituye un serio obstáculo para desarrollar proyectos multidisciplinarios. Seguramente es el factor que mejor explica el predominio de perfiles profesionales cultivados en condiciones de aislamiento anaeróbico, si asumimos que la ID/MD encierra un potencial oxigenador para cualquier trayectoria intelectual. La anoxia creativa e indagadora son rasgos muy presentes todavía en buena parte de la actividad académica, aquejada de una pertinaz desconexión social en la selección y tratamiento de los problemas.

Cualquier proyecto de tesis genuinamente interdisciplinar encontrará multitud de obstáculos burocráticos, cuando no imposibilidad material, si involucra a diferentes departamentos y exige codirectores ubicados en varias facultades. Aunque puedan resultar mucho más flexibles, también los proyectos ambiciosos de investigación interdisciplinar encuentran numerosos obstáculos. La complejidad de los trámites asociados a la gestión y coordinación de proyectos multidisciplinarios puede adquirir proporciones de efectos disuasorios, si las instituciones en que podrían llevarse a cabo no desarrollan nuevas herramientas de gestión y apoyo especializados. En mi opinión, este hecho explica la renuncia de muchos investigadores a involucrarse en iniciativas multidisciplinarias prometedoras. El sobreesfuerzo requerido para llevarlas a cabo difícilmente se ve recompensado por los resultados

previsibles, especialmente cuando en su evaluación intervienen varias agencias o comités.

Por estas y otras razones cada vez adquieren más importancia los factores biográficos y las experiencias previas positivas de trabajo y cooperación multidisciplinar. Aunque hayan tenido un alcance limitado, considero que aportan el sustrato necesario para asumir ciertos compromisos éticos y políticos orientados a la generación de conocimiento y actividad investigadora de calidad. Es el interés por comprender la complejidad de la realidad y dar respuesta a problemas que por sus dimensiones o efectos resultan acuciantes lo que añade un componente ético al esfuerzo por identificar los valores epistémicos ligados a la ID/MD. La promoción de procesos educativos inter/multidisciplinares y la generación de conocimientos o actividad investigadora de calidad constituyen un excelente indicador de responsabilidad social institucionalizada. En consecuencia, la reflexión en cualquier etapa de la formación universitaria sobre los valores asociados a la promoción del conocimiento y la actividad investigadora inter/multidisciplinar en las sociedades avanzadas podría resultar útil para fomentar entre los nuevos profesionales actitudes coherentes con dichos valores.

#### **4. La investigación interdisciplinar**

Un contexto de trabajo orientado hacia la cooperación interdisciplinar genuina debería promover desde el inicio la adquisición de ciertas cualidades básicas entre sus investigadores:

- Conocimiento especializado y dominio de la propia disciplina.
- Conciencia de sus límites y dependencias de otras.
- Formación básica en las disciplinas 'afines'.
- Curiosidad permanente y gran capacidad de autocrítica.
- Contacto con escenarios reales de trabajo interdisciplinar.
- Experiencia en integrar y relacionar conocimientos necesarios para abordar problemas complejos.
- Igual o mayor interés en los problemas que en los métodos.
- Disposición a seguir la evolución de los problemas y redefinirlos, si es preciso.

Una dinámica productiva de trabajo interdisciplinar continuado debería aportar a los implicados:

- Niveles de conocimiento divulgativo en las áreas que es preciso implicar para afrontar un problema complejo.
- Disposición para una colaboración y deliberación interprofesional fluida.
- Habilidades metodológicas e indagadoras muy desarrolladas.
- Entrenamiento en manejar "diversas lógicas de trabajo" y análisis.
- Familiaridad con múltiples fuentes de información.
- Abandono del modelo cartesiano de acceso al conocimiento (solipsismo cognitivo y metodológico), en favor del constructivismo.

Son los individuos quienes conocen, pero la tarea investigadora que proporciona información y conocimiento depende cada vez más de la labor coordinada de grupos interdisciplinarios. En este sentido la investigación interdisciplinaria favorece la corrección de algunos sesgos tradicionalmente asociados a la actividad académica:

- Abstracción teórica y alejamiento de la realidad.
- Fines no explícitos y “normativa procedimental oculta” en múltiples etapas de los procesos administrativos.
- Fases humillantes o improductivas (sumisión y explotación laboral, compromisos imposibles de justificar...)
- Engolamiento, autobombo, formalismo y burocracia estéril.

No es infrecuente que la mejor infraestructura para el desarrollo del conocimiento y la investigación esté al servicio preferente de personas con *cuota de poder*, cierto número de años, respaldo político o cualquier posición que pueda resultar más favorable ante la administración. La alternativa a este modelo pasa por entender la infraestructura para la investigación y el conocimiento como un servicio de interés social, ajeno por principio a imposiciones o asimetrías arbitrarias en su gestión y accesible de manera efectiva a los ciudadanos. A esta concepción de la ciencia y de la investigación científica como actividades sociales van ligados valores fundamentales:

- Se trata de actividades esencialmente cooperativas, aunque en algunos aspectos impliquen procesos de selección competitiva.
- Contribuyen a fortalecer redes sociales de cooperación internacional con objetivos comunes (construcción social del conocimiento en sentido estricto).
- Se orientan a potenciar el bienestar social mediante el desarrollo de la inteligencia y la memoria colectiva, no sólo a generar tecnologías de producción en interés exclusivo de individuos o grupos.
- Contribuyen a mejorar las habilidades y capacidad técnica de cualquier colectivo social (sectores profesionales, industria, sistema educativo, sanitario, etc.).
- Persiguen construir (avanzar, mejorar, progresar...) sobre una infraestructura previa de personas, centros, conocimientos, tecnologías y estilos de gestión.

Podrían enumerarse otros muchos rasgos, pero los sugeridos bastan para caracterizar el tipo de investigación interdisciplinaria que puede contribuir a resolver algunos problemas complejos que ponen en riesgo la supervivencia de la humanidad, incrementan su vulnerabilidad o reducen de modo alarmante la biodiversidad en el planeta. Sólo en el marco de una investigación interdisciplinaria de calidad es previsible que se cuestionen las soluciones insatisfactorias, simplistas, obsoletas e injustas, o que surjan nuevas visiones y enfoques de los problemas que obliguen a revisar creencias y prejuicios muy arraigados.

## 5. Habilidades imprescindibles

La inserción exitosa en un contexto de trabajo interdisciplinar seguramente presupone la combinación afortunada de múltiples factores personales y sociales. Sobre el trasfondo de un marco institucional favorable, pueden identificarse ciertas habilidades que parecen de gran utilidad tanto en las ciencias sociales como en las empíricas:

1. **Analíticas e inductivas:** Se requieren para toda fase de observación y estudio de casos o fenómenos relevantes. Proporcionan el sustrato para la formulación de hipótesis, formulación de leyes y su encuadre en teorías. Son necesarias también en los procedimientos inversos de contrastación de la teoría con la realidad y para realizar predicciones o proyecciones de diverso alcance. En este contexto resulta pertinente la distinción entre “leyes por generalización” y “leyes naturales” (F. Dretske).<sup>4</sup> Ayudan, además, a distinguir cuándo estamos ante relaciones causales que implican una relación entre magnitudes y cuándo ante asociaciones de otro tipo.
2. **Deductivas e interpretativas:** El entrenamiento en deducir con rigor a partir de axiomas, principios o reglas bien conocidas es fundamental en múltiples fases de la actividad intelectual interdisciplinar, sea para clasificar y subsumir casos bajo determinadas categorías o para interpretar los datos desde claves complejas. La necesidad de moverse en varios registros y niveles de interpretación, con presupuestos variables en el manejo de un mismo material empírico, se traduce en consecuencias diferentes y en propuestas de múltiples cursos de acción, sobre todo cuando además implican valores diversos y pluralidad de enfoques epistémicos o ideológicos.
3. **Simulativas (para procesos y entornos complejos):** La insuficiencia del método hipotético-deductivo para resolver problemas complejos (con gran número de variables) y el hecho de que los procesos causales pueden interrelacionarse a varios niveles obliga a emplear instrumentos auxiliares muy sofisticados en todas las fases de investigación (obtención, filtrado y análisis de datos; distribución de tareas de procesamiento y cálculo; especialización en las tareas de representación, interpretación y valoración...). Por su potencial para combinar las ventajas de la computación de alto rendimiento, la inteligencia artificial distribuida<sup>5</sup> y la distribución de tareas en *grid*,<sup>6</sup> la

---

<sup>4</sup> Dretske, Fred (1981): *Knowledge and Flow of Information*. Oxford, Basil Blackwell Publisher, 1981 (trad. esp.: *Conocimiento e información*, Salvat, Barcelona, 1987); Dretske, F. (1983): “Précis of *Knowledge and the Flow of Information*”, en *The Behavioral and Brain Sciences*, vol. 6, pp. 53-56.

<sup>5</sup> Se define como aquella parte de la IA que se centra en comportamientos inteligentes colectivos que son producto de la cooperación de diversos agentes. Cfr. C.A. Iglesias (1998): Definición de una Metodología para el Desarrollo de Sistemas Multiagentes (Tesis Doctoral), Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid; GMP O'Hare y NR Jennings (eds., 1996): *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. John Wiley and Sons, NY.



*simulación* (y, en especial, la simulación *in silico*) está adquiriendo una importancia creciente como método cada vez más necesario para comprender procesos complejos y obtener representaciones lo más adecuadas posibles a entornos reales.

Autores como Axelrod la consideran incluso una *tercera vía de conocimiento*, puesto el modelo obtenido por simulación puede mejorar la comprensión, representación o explicación de procesos complejos:

«La simulación es la tercera forma de hacer ciencia, en contraste con la inducción y la deducción. Igual que la deducción, comienza con una serie de asunciones explícitas. Pero, a diferencia de la deducción, no demuestra teoremas. En su lugar, una simulación genera datos que pueden ser analizados inductivamente. A diferencia de la inducción típica, los datos simulados proceden de una serie de reglas rigurosamente especificadas, más que de mediciones directas del mundo real. Mientras la inducción puede usarse para hallar patrones en los datos y la deducción para derivar consecuencias de las hipótesis, el modelo obtenido por simulación puede utilizarse para ayudar a la intuición».<sup>7</sup>

La adquisición y entrenamiento en estas habilidades (al menos, un nivel básico de familiarización con ellas) sería un componente útil en todos los procesos formativos que aspiren a preparar para una inserción profesional exitosa en entornos de trabajo genuinamente interdisciplinarios. Pero ni siquiera cuando su desarrollo haya sido óptimo será posible evitar que las aproximaciones a la realidad resulten parciales, puesto que cierto grado de reduccionismo parece inherente a toda explicación interesante y porque el esquematismo acompaña siempre a nuestras representaciones, algo que las hace susceptibles de mejora permanente y compatibles con enfoques de aproximación asintótica a la realidad.

## 6. El valor de la simulación

*Simulación* significa literalmente poner en marcha y dirigir el modelo de un sistema para observar los resultados correspondientes (*outputs*) a diferentes entradas (*inputs*), tratadas según los mecanismos y reglas que hipotéticamente hacen funcionar el sistema. La simulación puede imitar procesos, estados de cosas o fenómenos en el mundo real. Puede emplearse para reproducir los rasgos y funcionamiento de un sistema en otro diferente (para estudiar el comportamiento de estructuras arquitectónicas en ordenador, p.ej.), lo que implica normalmente una buena representación de ciertas características y

---

<sup>6</sup> “*Grid computing*” es un nuevo modelo de computación que permite realizar computación de alto rendimiento aprovechando el potencial de múltiples ordenadores en red, configurando una arquitectura virtual de computación capaz de distribuir la ejecución de procesos a través de una infraestructura paralela. Las *grids* sacan provecho de los recursos de muchos ordenadores individuales conectados a una red, normalmente a través de Internet, para abordar la resolución de problemas muy complejos en términos de computación (p.ej., el procesamiento de series de datos extensas descomponiéndolas en muchas más pequeñas; o la realización de cálculos complejos, inviábiles en un solo ordenador, gestionando una división en paralelo de la carga de los procesadores de los equipos interconectados).

<sup>7</sup> Axelrod, R. (1997): "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences," *Complexity* (3:2), pp 16-22 (cita: p. 17).

aspectos fundamentales de la conducta del sistema físico (o abstracto) utilizado como referencia.<sup>8</sup>

La alteración de parámetros en el sistema donde se realiza la simulación permite estudiar y conocer mejor lo que ocurre en el sistema de referencia y desarrollar herramientas de gran potencial predictivo, si se conocen bien las condiciones iniciales. Modelos matemáticos y computacionales de gran precisión permiten reproducir con facilidad el comportamiento de sistemas complejos en el mundo real (control de una aeronave, ingeniería estructural, análisis de mercados, dinámica de fluidos, funcionamiento de circuitos electrónicos, etc.). Con este fin se han desarrollado múltiples lenguajes y paquetes de simulación.<sup>9</sup> Su principal ventaja es la posibilidad de crear con ellos un modelo simplificado, normalmente en ordenador, con el que operar para analizar lo que ocurre en el sistema bajo diferentes condiciones. La simulación pretende imitar los procesos internos, no meramente los resultados, del sistema de referencia. La modificación en las variables suele traducirse en diferentes resultados. Por esta razón la simulación se presta a múltiples aplicaciones y resulta de gran utilidad para predecir, representar, entrenar, entretener, educar, demostrar y descubrir.

- *Con fines predictivos*, la simulación permite procesar series de datos muy complejas mediante múltiples reglas, fórmulas o esquemas de interrelación, y generar sus consecuencias. Es una herramienta fundamental para el análisis de mercados, p.ej.
- *Para ejecución de tareas complejas* como reconocimiento de voz, diagnóstico médico, optimización de funciones y otras en el dominio de la inteligencia artificial.
- *Optimización de procesos y funciones*, en aplicaciones de técnicas de inteligencia artificial que pretenden emular el modo humano de percibir, tomar decisiones o desarrollar interacciones sociales. La simulación de entornos de trabajo apoyada en una infraestructura computacional de alto rendimiento puede ser muy útil para el desarrollo de nuevas técnicas y estrategias.
- *Entrenamiento*: Fue una de las primeras aplicaciones, y con más éxito, de los primeros sistemas de simulación. Permitían entrenar a individuos proporcionándoles una representación dinámica e interactiva de un entorno determinado, con un grado razonable de exactitud. Los simuladores de vuelo constituyen un buen ejemplo.
- *Ocio y diversión*, a partir de ligeras modificaciones en los sistemas de simulación para entrenamiento y añadiendo la posibilidad de diseñar entornos y condiciones de partida imaginarios. Es un recurso habitual en la lucrativa industria de los videojuegos.
- *Educación*: Es otra aplicación de las técnicas de simulación que se solapa bastante con las de entrenamiento y ocio. Se distingue porque el modelo no tiene que ser tan rico en detalles y complejidad como el sistema de referencia para conseguir el objetivo de familiarizar a los

---

<sup>8</sup> C. A. Chung (2004): *Simulation Modeling Handbook: A Practical Approach*. CRC Press.

<sup>9</sup> *Simula* es uno de los clásicos (<http://es.wikipedia.org/wiki/Simula>). También *SimBioSys* (<http://www.kumo.com/~david/SimBioSys/>). Otros ejemplos pueden verse en [http://jair.lab.fi.uva.es/~pablfue/leng\\_simulacion/externos/ie99simsurvey.pdf](http://jair.lab.fi.uva.es/~pablfue/leng_simulacion/externos/ie99simsurvey.pdf). Cfr. tb. A.M. Law, W.D. Kelton (2001): *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd edition. McGraw-Hill.

estudiantes con el aprendizaje autónomo de los principios y relaciones que explican su comportamiento.

- *Demostración*: La simulación puede ayudar a demostrar la existencia de algo, p.ej. el surgimiento de patrones de comportamiento complejos a partir de reglas muy simples.<sup>10</sup>
- *Descubrimiento*: Predecir, demostrar y ayudar a descubrir constituyen la principal utilidad de la simulación como metodología científica. Las predicciones permiten validar o mejorar el modelo en que se apoya la simulación, pero favorecen además el descubrimiento de nuevas relaciones y principios. De ahí que en múltiples contextos se considere una herramienta tan fundamental para las demostraciones como para las predicciones. Si bien en las ciencias sociales los modelos de simulación utilizados no siempre resultan tan precisos como sería deseable —al menos no tan precisos como los utilizados en física de partículas o en termodinámica—, lo cierto es que algunos modelos simples pueden tener un gran potencial heurístico y contribuir a mejorar el conocimiento disponible sobre procesos sociales complejos.<sup>11</sup>

Los entornos de trabajo interdisciplinares son, en principio, los mejores candidatos a posibilitar estrategias eficaces de aprendizaje, trabajo cooperativo, investigación y toma de decisiones basadas en modelos razonablemente precisos de sistemas sociales complejos. La interdisciplinariedad a menudo es inevitable, puesto que suelen demandar el conocimiento y manejo experto de otros modelos referidos a procesos físicos y sociales en diferentes subdominios de un sistema. Son este tipo de entornos los adecuados para una investigación centrada en la simulación mediante modelos relativamente simples que ayuden a comprender mejor procesos y fenómenos complejos. La posibilidad de combinar de manera productiva la experiencia y formación de diferentes profesionales y disciplinas favorece las estrategias proactivas imprescindibles para avanzar en la solución de problemas complejos. Constituye la mejor garantía para combinar con acierto *metodologías inductivas*, tan frecuentes en las ciencias empíricas (ya se trate de datos obtenidos por instrumentos de observación del mundo natural o bien se trate de análisis basados en encuestas de opinión o datos macroeconómicos, rutinarios en las ciencias sociales) y *metodologías deductivas* (las que permiten demostrar las consecuencias de una serie de axiomas previamente identificados).

Los entornos de trabajo interdisciplinares permiten desarrollar estrategias de simulación que, a modo de experimentos mentales, ayuden a descubrir soluciones y consecuencias novedosas partiendo de presupuestos relativamente simples. Permite apreciar efectos a gran escala de la interacción

---

<sup>10</sup> El *Juego de la Vida*, p.ej., es un “automáta celular” inventado por el matemático de Cambridge John Conway. Unas pocas reglas matemáticas simulan procesos celulares típicos (vivir, morir, multiplicarse). Dependiendo de las condiciones iniciales, las células forman varios patrones en el transcurso del juego. Cfr. <http://bloemenbuurt.bitstorm.org/gameoflife>. L. Tesfatsion desarrolló el *Trade Network Game*, una simulación en la que generaciones sucesivas de comerciantes virtuales representados por autómatas celulares que interaccionan en un mercado virtual, donde eligen y rechazan a socios comerciales según conveniencias de rentabilidad previsible e información sobre los socios que varían continuamente. Cfr. V. Castellar, M. Herrán, "Simulación de estrategias egoístas, altruistas y cooperativas", en <http://www.uv.es/~buso/dp/dp.html>.

<sup>11</sup> Axelrod, *ibid.*, pp. 16-17.

entre agentes locales y detectar "propiedades emergentes" (no siempre obvias) en un sistema. En ciertos modelos, las propiedades emergentes pueden ser deducidas formalmente (p.ej., una redistribución eficiente de recursos basada en la disponibilidad de información y en la capacidad de optimizar). Pero si en lugar de *estrategias optimizadoras* (basadas en el paradigma de la *elección racional*, núcleo de la teoría de juegos que inspira los modelos predominantes en las ciencias sociales) los agentes recurren a *estrategias adaptativas* (algo frecuente cuando muchos agentes encuentran dificultades importantes para tener acceso a la información y las capacidades de previsión que exigen los modelos basados en la teoría de la elección racional), se hace prácticamente imposible deducir las consecuencias. La simulación, pues, resulta tanto más necesaria cuanto mayor es el número de agentes que interactúan y siguen reglas con efectos no lineales.<sup>12</sup>

Aun tratándose de contextos heterogéneos, sugiero que entornos como los Comités hospitalarios de Ética Asistencial, los Comités de Ética de la Investigación Clínica y las comisiones que asesoran a los representantes de las diferentes administraciones en materia de políticas científico-tecnológicas, educativas, ambientales o sanitarias, por ejemplo, constituyen instancias idóneas para aprovechar el potencial de las metodologías centradas en la simulación. En particular, si consideramos que a menudo estas comisiones manejan modelos inaceptablemente simplificadores de los sistemas complejos en los que centran sus análisis; y su composición no responde ni a criterios democráticos (no permiten una representación cabal de los intereses de todos los agentes) ni a exigencias razonables de interdisciplinariedad. El modo habitual de instrumentalizar con fines ideológicos, políticos, o económicos estas comisiones es reduciendo su carácter interdisciplinar, el grado de representatividad de sus miembros y sus márgenes para manejar modelos precisos que puedan favorecer consensos incómodos para la administración (la industria, los agentes económicos...) sobre alternativas inesperadas.

Los debates acerca del cambio climático, sus efectos y el diseño de políticas ambientales adecuadas proporcionan múltiples ejemplos de auténticos blindajes en estas comisiones a las aportaciones de la investigación científica y a conclusiones de costosos informes financiados con fondos públicos.<sup>13</sup> Pero al mismo tiempo ejemplifican el elevadísimo coste humano y ecológico de la imprevisión, del retraso en la adopción de medidas mitigadoras o preventivas y del manejo de modelos inadecuados (sesgados, simplificadores en exceso) sobre riesgos de catástrofe y otros problemas que deben contribuir a resolver.<sup>14</sup>

## 7. Cautelas epistemológicas

Los estudios en Metodología y Filosofía de la Ciencia del último medio siglo han mostrado la complejidad inherente a la presunta racionalidad científica y

---

<sup>12</sup> Axelrod, *ibid.* (1997).

<sup>13</sup> PA Meira Cartea (2002): El cambio climático y la educación ambiental neoliberal (que también existe). Ministerio de Medio Ambiente (cfr.

[http://www.mma.es/portal/secciones/formacion\\_educacion/reflexiones/meira.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/formacion_educacion/reflexiones/meira.htm)); "Now the Pentagon tells Bush: climate change will destroy us".

<http://observer.guardian.co.uk/international/story/0,6903,1153513,00.html>

<sup>14</sup> Reichhardt T. (2004): "Hurricane Ivan highlights future risk for New Orleans". *Nature* 431, p. 388.

las dificultades para identificar modelos simples aplicables a todos los procesos de investigación que llevan a un descubrimiento científico. Los estudios sociales de la ciencia y de la tecnología en las tres últimas décadas han complicado este panorama considerablemente.<sup>15</sup>

Por un lado se han puesto de manifiesto las limitaciones de la base empírica para cualquier teoría y la complejidad que subyace incluso a los procesos observacionales más elementales. A esto se añaden los problemas lógicos y epistemológicos relacionados con el amplio panorama de teorías sobre la verdad.<sup>16</sup> El debate sobre estos aspectos deja pocas alternativas saludables para la metodología que tradicionalmente se había considerado garante del rigor científico. A todo ello se añaden los factores sociales complejos (políticos, económicos, históricos, ideológicos) que los enfoques del conocimiento como construcción social asocian con episodios evidentes de instrumentalización del conocimiento y de la investigación científica por parte de la industria, el mercado, el poder político y otros agentes sociales. Para algunos autores, el peso enorme de la red de intereses presentes en la ciencia institucionalizada no sólo le resta credibilidad y respaldo social frente a otras actividades y discursos, sino que cuestiona la validez de sus resultados y desintegra esquemas muy consolidados sobre los privilegios epistemológicos y metodológicos de la ciencia.<sup>17</sup>

Otros aspectos debatidos se refieren a la poca atención que las principales instituciones investigadoras dedican a problemas de gran alcance social pero escasa rentabilidad económica, como ocurre con las enfermedades prevalentes en países poco desarrollados. O las dudas sobre garantías de equidad en el acceso a las revistas de prestigio y deficiencias o sesgos en los procesos de revisión de artículos, especialmente en publicaciones científicas patrocinadas por la industria. Numerosos episodios recientes de fraude y versiones extremas de estos enfoques en sociología de la ciencia han podido favorecer posiciones más radicales y justificar planteamientos en parte similares, pero mucho menos matizados que los centrados en la crisis de la concepción racionalista, moderna e ilustrada del conocimiento.<sup>18</sup> La popularización de estos enfoques a menudo adopta la forma de caricaturas y eslóganes muy simplificados, que llegan a descalificar toda pretensión de

---

<sup>15</sup> T. Kuhn (1971): *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México; P. Berger y T. Luckmann (1968): *La construcción social de la realidad*. Amorrortu, Buenos Aires; P. Feyerabend (1974): *Contra el método*. Ariel, Barcelona; B. Latour (1987): *Ciencia en acción*. Labor, Barcelona; B. Latour y S. Woolgar (1979/1986): *La vida en el laboratorio*. La construcción de los hechos científicos. Alianza Universidad, Madrid; L. Winner (1986): *La ballena y el reactor*. Gedisa, Barcelona; S. Woolgar (1988/1991): *Ciencia: abriendo la caja negra*. Anthropos, Barcelona; M. González García, JA López Cerezo, JL Luján (1996): *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*, Tecnos, Madrid; JM Iranzo, JR Blanco (1999): *Sociología del conocimiento científico*. Universidad Pública de Navarra/CIS.

<sup>16</sup> JA Nicolás y M<sup>a</sup>J Frapolli (eds., 1997): *Teorías de la verdad en el siglo XX*. Tecnos, Madrid.

<sup>17</sup> Echeverría habla de *tecnociencia*, caracterizada ante todo por la emergencia, consolidación y desarrollo estable de un sistema científico-tecnológico que origina un nuevo modo de producción de conocimiento, instrumentalizado en la medida en que el avance de la ciencia deja de ser un fin en sí mismo para convertirse en un medio para otros fines. Cfr. J. Echeverría (2003): *La Revolución tecnocientífica*. Fondo de Cultura Económica, Madrid; H. Nowotny, P. Scott y M. Gibbons (2001): *Re-Thinking Science. Knowledge and the Public in an age of Uncertainty*. Cambridge, Polity Press y Blackwell Publishers Ltd.

<sup>18</sup> G. Vattimo (1990): *El fin de la modernidad*. Gedisa, Barcelona; Vattimo et al. (1990): *En torno a la Postmodernidad*. Anthropos, Barcelona; JF Lyotard, (1998): *La condición postmoderna*. Madrid, Cátedra.

racionalidad. En este marco, todo tipo de conocimiento queda reducido a mera construcción social, toda representación de la realidad es igualmente válida y la inexistencia de privilegios epistémicos hace a todo conocimiento igualmente relativo, subjetivo y arbitrario. Los condicionantes sociales, políticos, económicos e históricos del conocimiento se consideran incompatibles con hipotéticos controles de calidad.

Contra este tipo de enfoques y sus presupuestos, ni la multidisciplinariedad ni la interdisciplinariedad aportan garantías para mejorar significativamente la calidad del producto resultante, sea en ciencias sociales o naturales. El discurso tecno-científico es considerado un discurso más entre otros muchos posibles, sin controles específicos de calidad que merezcan una consideración preferente en términos cualitativos.

Pese a todo, el funcionamiento de las instituciones (sanitarias, económicas, jurídicas, educativas) sería inviable sin la referencia a los conocimientos, métodos, resultados y aplicaciones de la investigación científica. Podemos entrar en el debate sobre todos sus condicionantes y limitaciones, pero sin perder de vista la irreversibilidad de su papel y dimensión social. Mi énfasis, por tanto, se centrará en las estrategias para subsanar algunas de estas limitaciones, sin cuestionar de raíz su utilidad para comprender nuestro entorno social y natural.

## **8. Un enfoque evolutivo de la investigación y la cooperación multidisciplinar**

Entre las ventajas adaptativas de los primates sociales suele destacarse la eficacia de sus estrategias cooperativas para afrontar amenazas a la supervivencia y ocuparse colectivamente de tareas como la alimentación, la defensa y el cuidado de la prole, potenciadas con sus notables habilidades en el manejo de herramientas y artefactos técnicos. La complejidad de los sistemas técnicos desarrollados por los humanos para hacer frente a los desafíos tradicionales y a los problemas emergentes justifica la importancia que se reconoce a la investigación científica como medio privilegiado para mejorar continuamente nuestras representaciones del entorno e incorporar en nuestros modelos, con múltiple objetivos, los últimos conocimientos sobre la complejidad de los procesos causales que rigen el mundo social y natural. La complejidad de estos procesos es tal que no basta la experiencia personal para comprender lo que ocurre en amplios dominios de los sistemas sociales y naturales.<sup>19</sup> Es preciso complementarlas con estrategias eficaces de cooperación social específicamente orientadas al aprendizaje.<sup>20</sup> El desarrollo de dichas estrategias sólo es posible sobre la base de una infraestructura educativa e investigadora

---

<sup>19</sup> R. Axelrod (1997): *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, Princeton; R. Axelrod, M.D. Cohen (1999): *Harnessing Complexity: Organizational Implications of a Scientific Frontier*. The Free Press, New York [edic. de 2001 en Basic Books].

<sup>20</sup> M. Ruse (1995): "La significación de la evolución", en Peter Singer (ed.), *Compendio de Ética*. Alianza Editorial, Madrid, pp. 667-680; L.A. Dugatkin (2004): *Principles of animal behavior*. W.W. Norton, New York; C. Barnard (ed.) (2004): *Animal behavior: mechanisms, development, function and evolution*. Pearson Education/Prentice Hall, Harlow; P.J.B. Slater (2000): *El comportamiento animal*. Cambridge University Press, Madrid.

estable, flexible y de alto rendimiento, con sistemas institucionales especializados en proporcionar las destrezas científico-técnicas y sociales que permiten a los ciudadanos insertarse de manera crítica, autónoma, creativa y participativa en los proyectos colectivos de las sociedades avanzadas. Semejante infraestructura consume importantes recursos sociales, pero es el coste inevitable de avanzar hacia modelos y representaciones adecuadas de nuestro entorno socio-natural complejo. De la exactitud en este tipo de representaciones puede depender hoy incluso nuestra capacidad para garantizar la sostenibilidad de las condiciones compatibles con la vida en el planeta Tierra. En esta perspectiva de intereses globales (es decir, no restringidos a la especie humana) adquieren relevancia los valores asociados a la eficacia de la investigación y la cooperación científica interdisciplinar, como permite apreciar el seguimiento de los sucesivos informes del Panel Internacional para el Cambio Climático (IPCC).<sup>21</sup>

Problemas como el impacto ambiental de la acción humana a escala planetaria y las transformaciones asociadas a la implantación generalizada de determinadas biotecnologías o modelos de desarrollo económico constituyen dominios de problemas complejos donde poner a prueba la eficacia de la cooperación científica interdisciplinar. Proporcionan un marco de referencia para desarrollar modelos y estrategias de simulación que ayuden a la prevención de procesos catastróficos inéditos, a la reducción del sufrimiento humano y a promover estilos de vida ecológicamente sostenibles. Además de su gran alcance y complejidad, estos dominios de problemas presentan otros rasgos comunes:

- a) Requieren combinar acciones en múltiples niveles (*científico-técnico, socio-cultural, ético-político...*).
- b) Introducen grados de complejidad difíciles de manejar en modelos útiles para abordarlos con urgencia y acierto.
- c) Además de cooperación interdisciplinar, tiempo y recursos, implican una larga cadena de acciones y procesos a coordinar:
  - Acciones locales, nacionales y supranacionales.
  - Requieren consensos importantes sobre valores, objetivos y fines, donde aparecen otros subproblemas complejos que es preciso manejar (p.ej. conflictos institucionales, diferentes percepciones del riesgo, dependientes a su vez de procesos complejos en la comunicación social de la ciencia).
  - Demandan mecanismos de control y rendición de cuentas eficaces, que aseguren la transparencia y la participación en el cumplimiento de objetivos.

La cooperación interdisciplinar en el tratamiento de problemas complejos favorece mejores representaciones del entorno socio-natural en la misma medida que la percepción de un objeto o proceso resulta más exacta cuando en ella intervienen mecanismos sensoriales complementarios (vista, oído y tacto, p.ej). La compatibilidad de formatos y la coordinación entre las distintas

---

<sup>21</sup> U. Confalonieri, B. Menne, R. Akhtar, K.L. Ebi, M. Hauengue, R.S. Kovats, *et al.* (2007) "Human health". En: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; pp. 391-431.

fuentes de información resulta crucial para enriquecer los modelos y representaciones, dependientes a su vez de la versatilidad del soporte y la capacidad de los sistemas de proceso y transmisión de datos. La descentralización en las tareas de procesamiento permite formas de coordinación compatibles con la existencia de módulos de procesamiento autónomos y eficaces en su dominio, de modo análogo a cómo las áreas corticales coordinan en tiempo real el funcionamiento de circuitos cerebrales especializados en procesar los estímulos sensoriales, motores, lingüísticos y de cálculo, relacionándolos con los distintos tipos de memoria que sustentan los procesos conscientes y la toma de decisiones.<sup>22</sup> Este resultado sólo es posible sobre una base de circuitos neuronales que parecen responder a esquemas de computación en paralelo e inteligencia artificial distribuida, ampliamente automatizados.<sup>23</sup> Esta parece ser la base común sobre la que las especies de animales cerebrados desarrollan procesos de aprendizaje permanente, son capaces de reajustar las reglas de interpretación y los modelos del entorno en función de nuevas observaciones o resultados y responden a una dinámica de mejora continua de sus representaciones y decisiones sobre el entorno socio-natural y sus riesgos.<sup>24</sup>

En muchos aspectos, los contextos de cooperación interdisciplinar con fines de investigación científica pueden emular aspectos fundamentales de esta dinámica. Para comprender sus implicaciones y alcance potencial considero de gran utilidad algunas metáforas y desarrollos relevantes de las tecnologías de la información y la investigación computacional.

## 9. Metáforas computacionales para la interdisciplinariedad

La *computación en paralelo*, sobre la infraestructura de múltiples equipos conectados en red, permite resolver problemas complejos de cálculo o proceso de datos que requieren gran capacidad de proceso y serían inabordables por un solo equipo en intervalos de tiempo razonables.<sup>25</sup> Estrategias y tecnologías

---

<sup>22</sup> K. Friston (2002): "Beyond phrenology: what can neuroimaging tell us about distributed circuitry?" *Annual Review of Neuroscience*, 25: 221-250; MS Gazzaniga (ed.), (2004): *The Cognitive Neurosciences III*. MIT Press, Cambridge, MA (caps. III, arts. 15, 16 y 24; IV, arts. 31, 35 y 36; VI, arts. 49 y 51; VIII, arts. 65, 66 y 68; X, arts 85); MI Posner (Ed.), (2004): *Cognitive Neuroscience of Attention*. The Guilford Press, NY (en especial: J. Duncan "Selective Attention in Distributed Brain Systems" pp. 105-113; L. Gordon *et al.* , "Two Cortical Systems for the Selection of Visual Stimuli", 114-126; E. Ládavas *et al.*, "Multisensory Integration of Audiovisual Inputs in Individuals with and without Visuospatial Impairment", 381-392).

<sup>23</sup> U. Goswami (2004): "Neuroscience and education". *British Journal of Educational Psychology*, 74: 1-14; Y. Munakata, BJ Casey, A. Diamond (2004): "Developmental cognitive neuroscience: progress and potential". *Trends in Cognitive Sciences*, 8: 122-128; RA Poldrack, AD Wagner (2004): "What can neuroimaging tell us about the mind? Insights from prefrontal cortex". *Current Directions in Psychological Science*, 13: 177-181; MR Bennett, P. M. S. Hacker (Eds), (2003): *Philosophical Foundations of Neuroscience*. Blackwell Publishing, Malden, MA.

<sup>24</sup> F. Peláez y J. Veà (1997): *Etología. Bases biológicas de la conducta animal y humana*. Pirámide, Madrid; R. Maier (2001): *Comportamiento animal. Un enfoque evolutivo y ecológico*. McGraw-Hill/Interamericana, Madrid.

<sup>25</sup> DE Culler, A Gupta, JP Singh (1997): *Parallel Computer Architecture: A Hardware/Software Approach*. Morgan Kaufmann Publishers Inc, San Francisco; V. Kumar *et al.* (1994<sup>2</sup>): *Introduction to Parallel Computing*. Benjamin Cummings Press, Redwood City, CA; JDP Rolim (1999): *Parallel and*



complementarias serían las modalidades de *multiprocesamiento simétrico* (esta infraestructura trata por igual a todas las unidades de proceso, que comparten memoria) y *procesamiento paralelo masivo* (cada CPU tiene su propia memoria), mejoradas con sistemas de distribución de carga.<sup>26</sup>

La noción de *inteligencia artificial distribuida* (cfr. nota 5) puede proporcionar pautas de actuación en problemas complejos que implican comportamientos inteligentes colectivos resultantes de la cooperación de diversos agentes, en la misma dirección que las tecnologías de *entornos* y *sistemas multiagente* (módulos autónomos capaces de coordinarse para resolver problemas complejos de manera flexible y eficaz). Un contexto específico donde estas tecnologías se están aplicando con éxito son los entornos de aprendizaje colaborativo (*Computer supported collaborative learning*, CSCL). Estos sistemas<sup>27</sup> pueden facilitar enormemente los procesos de colaboración y entrenamiento interdisciplinar (participación, aprendizaje cooperativo, coordinación, intervención de expertos e interacción del grupo), automatizando muchas tareas implicadas en los procesos de aprendizaje y resolución de problemas y emulando a profesionales expertos en la realización de tareas pedagógicas.<sup>28</sup>

Si bien muchas universidades han puesto en marcha infraestructuras de este tipo en los últimos años como apoyo de la docencia y para impulsar programas de estudio en modalidad no presencial (*e-learning*), no parece que la mayoría de los grupos, instituciones e instancias implicadas en la formación e investigación científica interdisciplinar saquen mucho provecho de las posibilidades que encierran estas plataformas tecnológicas en combinación con redes de banda ancha cada vez más extendidas.

En este sentido, las infraestructuras descentralizadas de *computación en grid* resultan de gran ayuda para comprender las ventajas del trabajo interdisciplinar distribuido y desarrollado en entornos virtuales donde los datos, la información, la capacidad de proceso, las aplicaciones y recursos están siempre disponibles (cfr. nota 6) de manera flexible, segura y coordinada. Si bien su aplicación más obvia sería en tareas de naturaleza cuantitativa, es incuestionable que también pueden potenciar los procesos de colaboración sobre aspectos cualitativos. Descentralización, accesibilidad, seguridad y protocolos y lenguajes comunes son otras ventajas asociadas a una distribución eficaz de recursos en red.<sup>29</sup> Las modalidades de trabajo en grid

---

*Distributed Processing*. Springer; CH Cap, V Strumpen (1993): "Efficient parallel computing in distributed workstation environments". *Parallel Computing*, 19 (11): 1221 - 1234.

<sup>26</sup> R. Buyya (Ed.), (1999): *High Performance Cluster Computing: Programming an Applications*, Vol. 2. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NY; T. Sterling (Ed.), (2002): *Beowulf Cluster Computing with Linux*, The MIT Press. Cfr. tb.

[http://www.dcc.uchile.cl/~rbaeza/cursos/proyaraq/choviedo/numa\\_definicion.html](http://www.dcc.uchile.cl/~rbaeza/cursos/proyaraq/choviedo/numa_definicion.html).

<sup>27</sup> *WebCT* y *Moodle* se han hecho muy populares en entornos académicos, junto a *e-college* y *Atutor*. Y en entornos empresariales LMS de IBM.

<sup>28</sup> AA.VV. (1999): "Supporting cooperation across shared virtual environments". *Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*. Phoenix, Arizona; A. Crabtree, T. Rodden, J. Mariani (2002): *Designing Virtual Environments to Support Cooperation in the Real World*.

[http://www.mrl.nott.ac.uk/~axc/documents/JVRS\\_2002.pdf#search=%22virtual%20environment%20cooperation%22](http://www.mrl.nott.ac.uk/~axc/documents/JVRS_2002.pdf#search=%22virtual%20environment%20cooperation%22) ; <http://www.rioei.org/deloslectores/729Cabrera108.PDF>; I. Peña, *La coordinación y el trabajo en red. Gestión de las ONGs, proyectos y formación webcéntricos: el campus for peace*. <http://www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/pena1201/pena1201.html>.

<sup>29</sup> I. Foster, C. Kesselman, J. Nick, S. Tuecke (2002): "The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration". *Open Grid Service Infrastructure WG, Global*

también pueden contribuir a facilitar la automatización de procesos burocráticos y trámites legales que consumen cantidades ingentes de tiempo y energías.<sup>30</sup> No obstante, su verdadero potencial reside en posibilitar la emergencia rápida de agrupaciones flexibles de individuos e instituciones que comparten recursos y se organizan en comunidades virtuales para cooperar en la consecución de objetivos comunes<sup>31</sup>. La investigación interdisciplinar desarrollada en el marco de proyectos científicos con objetivos ambiciosos, orientada a la resolución de problemas complejos y con participación de equipos científicos internacionales, puede beneficiarse radicalmente de las infraestructuras tecnológicas formadas por mallas (*grids*) computacionales. Permite agregar y compartir recursos entre diferentes organizaciones e instituciones a través de redes de alta velocidad, como ha podido comprobarse con *Globus*.<sup>32</sup>

La producción y recursos aportados por estas organizaciones virtuales, a su vez, puede beneficiar a otras muchas, geográficamente dispersas, si queda disponible como nuevo recurso incorporado a la *grid*. Se plantean aquí reflexiones inevitables sobre los cauces y formatos en los que se difunden los resultados de la investigación científica.

La difusión de revistas científicas en soporte electrónico por Internet constituye uno de los fenómenos que más ha contribuido a potenciar la investigación científica de calidad y la cooperación interdisciplinar en las últimas décadas. Sin embargo, su acceso requiere suscripciones costosas a diferentes paquetes y colecciones de publicaciones, inaccesibles para usuarios sin acceso a redes universitarias en países desarrollados. Un paso adelante en esta infraestructura son las publicaciones de acceso abierto, como la *Public Library of Science*<sup>33</sup> y los entornos “wiki” para difusión de documentos y producción científica.<sup>34</sup> Las publicaciones científicas de acceso abierto constituyen recursos muy valiosos en la *grid*. Pueden servir para establecer enlaces permanentes a sus contenidos y realizar búsquedas en sus documentos, sin las barreras que supone la suscripción. Los entornos *wiki* permiten a todos los usuarios registrados publicar nuevos textos o realizar aportaciones a los ya publicados. Ciertos recursos de la red se vuelven

---

*Grid Forum*, June 22; I. Foster (2002): “The Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science”. *Physics Today*, 55(2): 42-47; I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke (2001): *The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. International J. Supercomputer Applications*, 15(3): 200-222.

<sup>30</sup> S. Braman (2002): “Posthuman Law: Information Policy and the Machinic World”. *First Monday*, 7 (12). Disponible en [http://firstmonday.org/issues/issue7\\_12/braman/index.html](http://firstmonday.org/issues/issue7_12/braman/index.html)

<sup>31</sup> La arquitectura en *grid* se orienta a crear una fuente universal de poder de computación que permite abordar tareas complejas y obliga a desarrollar nuevas aplicaciones. Diversas iniciativas de redes computacionales (SETI@home, Globus, Infospheres, DARPA CoABS...) coinciden en dividir tareas complejas, que requieren capacidad de procesamiento y almacenamiento masivos, en tareas más pequeñas, asignadas a quienes van a realizarlas a través de una red (internet, LAN, MAN/WAN, etc.). Procesadas o almacenadas ya, se recombinan las aportaciones para obtener el resultado final. Este enfoque permite obtener capacidades de procesamiento masivo a un coste relativamente bajo, imposible desde el enfoque tradicional. El proyecto SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) se puso en marcha en la universidad de Berkeley con el fin de aprovechar tiempo de procesamiento donado voluntariamente por usuarios de ordenadores en todo el mundo para ayudar a descifrar datos de los radiotelescopios. Cfr. <http://www.networkmagazineindia.com/200503/xsp01.shtml>.

<sup>32</sup> *Toolkits GLOBUS* es un proyecto Open software que se fue transformado en un estándar *de facto* para el desarrollo de las GRIDs (mallas o redes computacionales). Permite a sus usuarios (individuos, instituciones) compartir capacidad de proceso, bases de datos y otros recursos de manera segura, a través de redes corporativas o por internet, sin limitar la autonomía local. Cfr. <http://www.globus.org>.

<sup>33</sup> <http://www.plos.org>.

<sup>34</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>.

permanentemente actualizables y posibilitan enlaces a contenidos dinámicos. Desde este enfoque son vistas como irremisiblemente obsoletas y disfuncionales muchas formas de difusión de la producción científica y cultural en soportes tradicionales (papel, fundamentalmente), puesto que dejan fuera de la *grid* recursos valiosos y dificultan la accesibilidad a sus contenidos, excluyéndolos del alcance de los motores de búsqueda automatizada en las redes. Además consumen ingentes recursos que podrían invertirse directamente en las fases más creativas de la producción científica y cultural.<sup>35</sup>

Las tendencias en el desarrollo de conexiones móviles a Internet (móviles 3G y UMTS, Wi-Fi, WiMAX...) acelerarán este proceso y potenciarán las posibilidades de colaboración y aprendizaje interdisciplinar en redes virtuales. Se incrementarán, además, las posibilidades de acceso a información y resultados en tiempo real, redundando en una mejora significativa de la difusión social de los resultados de la investigación científica. Por estas razones, ciertos aspectos técnicos de las infraestructuras compatibles con el fortalecimiento de la cooperación científica interdisciplinar adquieren relevancia ética. Apuntan hacia nuevas formas de organización e interacción social, más participativas e inclusivas.

## 10. Aspectos técnicos de relevancia ética en las redes digitales

La *descentralización* de recursos accesibles por Internet sin limitación de barreras geográficas se traduce en un incremento de la autonomía, la libertad, la flexibilidad y la igualdad de oportunidades para los usuarios, compatibles con esquemas de organización social más justos e integradores.

La *interacción multidireccional* se asocia con nuevas formas de *accesibilidad* y modelos de *cooperación activa y crítica*, más compatibles con el fomento de la creatividad, la excelencia y el autocontrol, por lo que apuntan hacia sistemas de gran apertura y mínima regulación. Se fomentan así estilos de relación donde predomina la *horizontalidad* frente a la verticalidad y jerarquización tradicionales, lo que favorece dinámicas de autonomía, creatividad y cooperación entre usuarios en condiciones de igualdad.

*Integración, apertura y cooperación social activa* se constituyen así en formas específicas de inserción cultural. La infraestructura de investigación y desarrollo del conocimiento interdisciplinar puede contribuir decisivamente a la capacitación y el fortalecimiento colectivo, como una extensión más de otros servicios públicos eficaces y modernos (*e-government, e-learning, e-health services, e-business...*).<sup>36</sup> Naturalmente, el paso previo es la consolidación de una infraestructura tecnológica segura y fiable, que garantice accesos de banda ancha a precios competitivos para toda la población. Su complemento

---

<sup>35</sup> M. Moreno, «Propuestas para una infraestructura iberoamericana de libre acceso al conocimiento y la cultura». *I Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología Sociedad e Innovación: Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo en Iberoamérica*. México D.F., 19 - 23 de junio de 2006.

<sup>36</sup> Cfr. UNESCO (2003, 2005): *The World Summit on the Information Society*, <http://www.itu.int/wsis/index.html>; [http://portal.unesco.org/ci/en/ev.php-URL\\_ID=1657&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/ci/en/ev.php-URL_ID=1657&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html); Declaración de Principios (Geneva, 2004): *Construir la Sociedad de la Información: un desafío global para el nuevo milenio*. <http://www.itu.int/wsis/docs/geneva/official/dop-es.html>

necesario sería una dinamización eficaz de los procesos paralelos de educación y alfabetización tecnológica en diversos niveles.

## **Conclusión**

La colaboración interdisciplinar constituye una estrategia de trabajo imprescindible para abordar problemas complejos con garantías de calidad y éxito en el proceso. Las tecnologías de la información, en particular Internet y las plataformas de aprendizaje y colaboración en entornos virtuales, hacen posible nuevas formas de trabajo interdisciplinar cooperativo, basadas en el acceso a recursos disponibles en red. Investigadores y expertos vinculados a redes académicas, empresariales o gubernamentales son quienes más provecho pueden obtener de la colaboración interdisciplinar en entornos virtuales. Sin embargo, los desafíos de la interdisciplinariedad no se limitan a promover estrategias exitosas de cooperación puntual por Internet entre profesionales de las ciencias sociales, naturales o formales; o entre la academia y la empresa. Lo que está en juego, fundamentalmente, es la capacidad de nuestras instituciones sociales más implicadas en la educación y la investigación para dotar a los futuros profesionales con el sentido de la responsabilidad y las habilidades que les permitan afrontar con éxito problemas complejos, donde los errores o el retraso en las soluciones (en temas como los referidos a la salud humana o el medio natural) pueden tener efectos devastadores.