



## La nueva estructura del progreso científico

### Descripción

Es evidente que la investigación científica se enmarca en el conjunto de la creación cultural. Ortega observaba que si la cultura es «el sistema de ideas en las cuales vive cada época», en la nuestra «el contenido de la cultura está en su mayor parte determinado por la ciencia».

Así es, para empezar, desde un punto de vista puramente cuantitativo: hay en la actualidad más científicos activos que los que han existido nunca en la humanidad. Y más allá de lo puramente numeral, los que trabajan en las más variadas áreas del conocimiento no dudan en atribuir a la ciencia un papel esencial en la configuración cualitativa de la sociedad. Desde el desarrollo económico en el contexto de la globalización, hasta la solución de problemas sociales generales o locales, se observa el protagonismo de la ciencia en casi todos los empeños de las sociedades modernas.

Es muy importante reflexionar sobre el progreso que la investigación básica ha hecho posible; sobre los frutos que de ella se deriva —la tecnología y la transformación de las condiciones de vida en nuestro planeta—; y la relación de ambas con el progreso humano. Se trata de una cuestión tan difícil como urgente, porque en este imparable avance científico, que transcurre por caminos de notable y creciente complejidad, no es fácil mantener siempre ante los ojos el verdadero objetivo de la ciencia, que no es sino el servicio al hombre, a cada individuo.

### UN FAUSTO COLECTIVO

La investigación científica y técnica que hoy se lleva a cabo en el mundo es fruto del esfuerzo de cientos de miles de investigadores. Una ciudad entera sería necesaria para albergar a los cerca de medio millón de doctores en ciencias e ingenierías, por ejemplo, que trabajan en los Estados Unidos, cuando hace trescientos años todos los científicos y tecnólogos de ese país podían acomodarse en una de sala de visitas.

La práctica científica representa además una actividad notablemente especializada, que se materializa en cientos de miles de publicaciones científicas, cada una con su potencial de impacto técnico y social, y que son editadas en su mayoría en unos pocos países. Son estos países los que, por ello, marcan las pautas del trabajo de investigación en todo el mundo e identifican los terrenos científicos de mayor interés. La ciencia es una ocupación profesional de mucha gente, desde luego, pero su ejercicio se concentra en unos pocos países.

Medida la producción científica mundial en términos cuantitativos, el 35% aproximadamente de la investigación procede de los Estados Unidos; otro tanto de la UE (principalmente de Alemania,

---

Francia y Reino Unido), y a ellos sigue Japón, con un 9% aproximadamente del total.

La producción científica española representa aproximadamente un 2,7% del total mundial, un porcentaje que supera nuestra participación en el PIB mundial. Se trata de una proporción notable, habida cuenta de que hace tan sólo veinte años representaba poco más del 1%. Supone cuando menos que la investigación española tiene algo que aportar, especialmente en el contexto europeo.

A la vista de estos datos, resulta patente la necesidad de que los avances científicos sean asimilados de manera adecuada en los sistemas culturales. Quiero ahora referirme brevemente a dos aspectos fundamentales de la práctica científica actual, novedosos respecto a la práctica clásica: la asignación de prioridades y la comunicación, análisis y crítica de la ciencia.

## **POLÍTICAS CIENTÍFICAS ESTATALES**

Más que nunca antes, el desarrollo de la investigación está hoy condicionado por los objetivos estratégicos que identifican y cuantifican las agencias encargadas de asignar los recursos de investigación —esos recursos sin los cuales no es posible afrontar los cuantiosos gastos que, en general, demandan las investigaciones líderes en el progreso del conocimiento—.

En la definición de «prioridades de investigación» resulta fundamental el papel de los países que encabezan la producción científica. A pesar de la aludida globalización de los mercados, son los Estados Unidos quienes, con independencia de los cambios de orientación política de las Administraciones responsables, siguen haciendo las mayores apuestas por la ciencia, como lo demuestra año tras año el incremento de los correspondientes recursos federales, que llegan a superar incluso las expectativas de la propia comunidad investigadora de ese país.

El bloque asiático, con Japón a la cabeza, se esfuerza en dar una réplica adecuada, y ha aumentado de forma espectacular la inversión en investigación básica, en una zona cuyo desarrollo tecnológico ha alcanzado cotas muy elevadas.

En la UE, en donde se asienta la mejor tradición de desarrollo moderno de la ciencia y a pesar de agrupar un potencial científico muy semejante al americano, la dispersión de los recursos sigue siendo la pauta, ya que sólo el 5% del esfuerzo europeo se coordina a través de programas marco de I+D. Estos programas plurianuales —está a punto de comenzar el sexto, 2003-2006— han supuesto, sin duda, una buena ayuda para la integración de las tareas investigadoras que potencien la producción científica y los resultados tecnológicos en la UE. Pero estos programas marco aún resultan muy complejos de diseñar y poco flexibles en su ejecución. No cabe, pues, hablar de ellos como de la respuesta europea a la intensidad de cultivo de la investigación en los otros bloques.

## **LOS INTERESES DE LOS CAPITALS PRIVADOS**

---

En esta situación, la inversión privada se introduce incluso en el campo de la investigación básica, de la que proceden descubrimientos de los que, en principio, no tienen por qué resultar desarrollos explotables industrialmente y que, por ello, era apoyada hasta hace poco solamente por fondos públicos o no lucrativos. Ejemplo de ello es el estudio del genoma humano, en el que participan empresas privadas que esperan rentabilizar su inversión ya sea cobrando por comunicar los hallazgos y transferir los materiales desarrollados (genes, organismos modificados, etc.), ya sea mediante el logro de derechos de propiedad intelectual a través de las correspondientes patentes.

Se han solicitado miles de patentes cuya naturaleza supone un descubrimiento científico, más que una invención patentable en el sentido clásico del término. Los organismos modificados o las líneas celulares —las de células troncales, valga por caso— constituyen un buen ejemplo de lo que aquí comentamos, pues se plantean como objetos de patentes capaces de generar expectativas de lucro por las futuras licencias de explotación de los mismos en la investigación. Las patentes están condicionando las estrategias de investigación de modo decisivo, por su influjo en la determinación de prioridades científicas, dirección del trabajo de investigación y selección de los campos de investigación básica, que serán siempre los que generen mayores perspectivas de rentabilidad.

Ahora bien, en la investigación científica la inversión económica no lo es todo. En medio de esa programación rigurosa de prioridades, vemos que es posible la libre circulación de ideas y de talentos al servicio de la investigación, con flexibilidad suficiente para promover simultáneamente el avance del conjunto y, especialmente, de todo, aquello que rompe fronteras.

Al lado de esto, comprobamos también que en otras sociedades, a cuenta de los bandazos, trabas y cortapisas de los responsables de los recursos asignables a la ciencia, queda notablemente mermada la eficacia de quienes se esfuerzan por hacer progresar con su trabajo el conocimiento humano. Es evidente, por tanto, que en un mundo globalizado unas sociedades aciertan más que otras a la hora de «gestionar» la tarea de los científicos. Sobran ejemplos de lo que digo.

### **¿VENDER O COMUNICAR INFORMACIÓN?**

La ciencia sólo ha existido y existe cuando los resultados se comunican y verifican, las hipótesis se contrastan y las teorías y formulaciones se someten al necesario escrutinio y a la crítica imprescindible. Esa libre comunicación del conocimiento ha impregnado el espíritu científico. Hoy, sin embargo, la integración del conocimiento, la coordinación de las estrategias y aproximaciones experimentales y la puesta en común de una enorme cantidad de información resultan imprescindibles para que la ciencia avance. Eso es lo que hacen posible las tecnologías de la información y comunicaciones.

A pesar de todo, la competencia en el mundo de la investigación es más feroz que nunca. Con mucha frecuencia, los hallazgos logrados por muchos grupos se silencian escrupulosamente hasta el momento en que una patente asegure la posible —a veces muy lejana— explotación económica de los resultados para el científico y sobre todo para la institución a la que pertenece.

---

La enorme heterogeneidad existente en el mundo en cuanto al reparto del avance del conocimiento tiene mucho que ver con esto, porque el científico depende en gran medida del apoyo que recibe de su entorno político y social, y las sociedades apuestan de una forma muy desigual por el avance de la investigación.

## TRANSFORMACIÓN DE LAS INSTITUCIONES TRADICIONALES

Todo ello no sólo ha afectado a la actividad investigadora como tarea personal, sino que ha supuesto un cambio notable en las actitudes de las instituciones académicas, aquellas en las que el cultivo de la investigación —sobre todo básica—, el libre intercambio de ideas y hallazgos, el debate como requisito para el avance cognoscitivo y, en definitiva, la búsqueda del conocimiento por el propio deleite intelectual («*curiosity-driven research*» o «la emoción de descubrir», de la que hablaba Ochoa) representaban las características que les daba sentido.

Hoy, puesto que las universidades se han de aplicar a «rentabilizar el conocimiento desarrollado», han sido creadas oficinas de transferencia de tecnología, entre cuyas tareas se cuenta la de explorar la patentabilidad de sus hallazgos o prevenir, mediante acuerdos de confidencialidad, que el intercambio y comunicación de ideas conduzca a una explotación comercial de los resultados propios por terceras personas o instituciones. Se habla de la «universidad emprendedora», al tiempo que se incentiva a los académicos a obtener recursos del sector privado; se restringe el envío de materiales descubiertos en la propia investigación y se demandan cambios legislativos para que los profesores se puedan dedicar, en alguna etapa de su vida académica, a la promoción de empresas. Se señala, en definitiva, que las instituciones universitarias que mejor podrán desenvolverse serán aquellas que alcancen logros importantes en el terreno del rendimiento económico por la comercialización de los resultados de su investigación.

No aludo a estos temas para lamentar la pérdida de «un paraíso académico», que a mi juicio nunca ha existido; lo comento simplemente como verificación de un hecho al que hemos de hacer frente con inteligencia, precisamente para preservar —ejemplos sobran de que es posible— la esencia de nuestras instituciones académicas en la nueva situación.

## OCÉANOS DE INFORMACIÓN

Aunque la observación y la experimentación sigan siendo la base fundamental del descubrimiento científico y de las formulaciones lógicas acerca de la naturaleza y sus leyes, la complejidad de los fenómenos analizados, y la profundidad y detalle de los planteamientos determinan, sin embargo, nuevas formas de aproximación al hecho científico y a la confirmación y verificación de las hipótesis. La ciencia se transforma así «en una actividad más de construcción de modelos capaces de aportar descripciones adecuadas (y útiles) de lo que se ha experimentado, que de formulación de teorías verdaderas de aplicación universal»<sup>1</sup>.

La disponibilidad de cantidades ingentes de datos de todo tipo, que han de ser procesados adecuadamente para transformarse en conocimiento útil es, pues, otra de las novedades del panorama científico actual. Baste señalar que sólo en el campo de la genómica se generan datos, en general de libre acceso, que ocupan la capacidad informática de un terabyte ( $10^{12}$  bytes o unidades de información en la terminología informática) por día. Se hace ya necesario el desarrollo de la siguiente generación de ordenadores, en la escala de los petabytes ( $10^{15}$  bytes) para utilizar dentro

de poco toda esta información.

Los modelos de nuevo diseño se basan en la probabilidad más que en la lógica, y se construyen con una actitud pragmática orientada a la capacidad de efectuar predicciones y, en su caso, explicaciones que resulten útiles al menos en su propio contexto. Ese pragmatismo se hace patente en numerosos aspectos definitorios del contexto en el que se desarrolla la investigación, tales como el *problem-solving research*, *technology transfer*, etc.

Vemos, pues, que el progreso en el conocimiento cada vez se acerca más a sus posibles aplicaciones. Esto afecta de manera notable a la política científica de los diferentes Estados y tiene también un gran impacto en la naturaleza y organización de las instituciones académicas y científicas, en línea con lo expuesto anteriormente. No sin tensiones, instituciones como las universidades se ven abocadas no sólo a producir conocimiento y transmitirlo, sino a «capitalizarlo», estableciendo vías para la transferencia tanto de resultados como de conocimientos.

A su vez las empresas se plantean qué prioridades en la explotación de dichos conocimientos lograrán atraer recursos financieros de las instituciones públicas, una tendencia que será de mayor relevancia cada vez.

## LA MEGACIENCIA

Los planteamientos de la investigación actual se inscriben con frecuencia en estrategias notablemente ambiciosas que pueden conducir a una conquista significativa de grandes parcelas del conocimiento. Supone esto una ruptura con muchos de los esquemas tradicionales, el investigador o el grupo de investigación controla cada vez los resultados de la investigación, al tiempo que quien diseña las políticas científicas tiene mayor capacidad de establecer objetivos, decidir prioridades y, en definitiva, encauzar la creatividad de los científicos por los caminos que le parezcan más oportunos. Proyectos como la secuenciación completa de los genomas, incluido el genoma humano; la exploración espacial; las tareas de las grandes instalaciones científicas y otros muchos aspectos son ilustrativos de estas nuevas tendencias, en cuya financiación participan con frecuencia creciente las empresas privadas.

## CIENCIA Y GOBIERNO: SISTEMAS COMPARTIDOS DE REFERENCIA

Más de la mitad de las normas legislativas que aprueban los Parlamentos y una buena parte de las disposiciones que ejecutan las Administraciones han de fundamentarse en una base científica sólida. La protección del consumidor, la defensa del medio ambiente, la promoción de la salud y otros muchos ejemplos más podrían ilustrar esta idea. Se hace, pues, necesario desarrollar sistemas de referencia científica, en donde el rigor de la investigación, la capacidad para definir riesgos o anticipar problemas inspire las decisiones de los responsables políticos. Pero esta cuestión no está resuelta, y con frecuencia se producen tensiones y debates de los que el rigor científico sale habitualmente malparado.

## ¿FORMA DE ACTIVIDAD (PRAGMÁTICA) O DE CONOCIMIENTO (LÓGICA)?

Ante este cúmulo de circunstancias no han faltado voces de alarma para lamentar lo que consideran una pérdida de los valores tradicionales de la actividad científica, en tanto que esfuerzo intelectual para el conocimiento de la realidad verdadera, que vendría siendo sustituida por una actividad en la que priman los criterios de utilidad y eficacia. Ana Rioja<sup>2</sup> ha formulado con claridad esta situación, en

la que la «filosofía de la ciencia», apoyada en nociones como las de objetividad, verdad, método científico, etc., debería ceder protagonismo a la «sociología de la ciencia», más centrada en las de utilidad, interés y eficacia. Las siguientes observaciones son ilustrativas de esta tensión: «Pocos términos hay menos inocentes o neutrales que el de «tecnociencia» [...] rechazada de acuerdo con los postulados sociologistas, una concepción de la ciencia que tome en consideración elementos lógico-conceptuales para centrar toda la atención en la práctica científica, esto es, en la ciencia tomada como una forma de actividad y no de conocimiento, definitivamente los criterios de utilidad y eficacia habrán reemplazado a los de objetividad y verdad (con todas las cautelas que el empleo de este vocablo exige en el ámbito de las ciencias experimentales)».

Lo anterior sirve para ilustrar lo que podemos considerar los perfiles de una crisis propiciada por el crecimiento de la tarea científica en la actualidad, que no ha hecho sino aumentar la distancia que existe —y siempre ha existido— entre el ideal que anhelamos y la realidad palpable y operativa.

No es esto, sin embargo, una invitación al pesimismo acrítico, ni menos aún a una actitud anticientífica. Es cierto que la ciencia progresa con una intensidad inusitada, pero no es fácil adivinar el propósito que tal avance pueda perseguir, y, mucho menos controlarlo hasta que nos apareciera como algo aceptable.

A pesar de todo, hay muchos elementos en la actividad investigadora actual que nos acercan a los ideales clásicos de la ciencia —búsqueda del conocimiento objetivo, ampliación de los límites del saber humano, etc.— y que, impulsados por los medios y posibilidades del momento, se han hecho, eso sí, más extensos y eficaces que lo fueran nunca. En ese sentido, la ciencia vive momentos de esplendor, los objetivos que los científicos se plantean son más ambiciosos que nunca, la rapidez con que se logran determinadas metas desafía las predicciones más optimistas.

En definitiva, y a condición de tener la determinación suficiente para hacer que triunfe lo mejor del espíritu humano, podremos lograr que la ciencia, producto de la creatividad humana, sirva a la solución de los problemas que hoy suponen un verdadero reto, al que sólo cabe enfrentarse con nuestras mejores armas.

## **SIGNIFICACIÓN ACTUAL DE LAS CIENCIAS DE LA VIDA**

Los hallazgos y avances en ciencias de la vida han dominado la escena en los últimos cincuenta años, hasta convertirse en territorio de grandes novedades y notables expectativas. Fue en la década de los cuarenta del siglo pasado cuando autoridades del mundo de la Física como Schrödinger propusieron interpretar las leyes que rigen el mundo de los seres vivos desde sus fundamentos físico-químicos; y cuando científicos de la talla de Max Delbrück, hasta entonces entregados a la Física, se incorporan con decisión a los estudios biológicos.

El edificio experimental y conceptual maduró hace casi cincuenta años para entender y formular el modelo de la estructura del material genético de los seres vivos —el ADN—, que representa la base molecular de la vida. Y en muy pocos lustros, la ciencia se ha transformado de modo espectacular.

La estabilidad, por un lado, y la capacidad de cambio, por otro, del ADN, representan el fundamento de la transmisión de los caracteres y la evolución (lo que define a los seres vivos). El análisis del material genético, junto con algo muy clásico como es el registro fósil, nos han puesto en perspectiva el origen (acontecimiento único) y evolución de la vida en la tierra, cuya edad se cifra en unos 4-500

---

millones de años. Moléculas con capacidad replicativa, primeros seres celulares: 3.500 Ma; primeros organismos eucarióticos: 2.000 Ma; primeros organismos multicelulares: 1.000 Ma. De ellos proceden los precursores de los vertebrados y el hombre (600 Ma) y la gran explosión del Cámbrico (530-520 Ma), con los grandes grupos de animales con simetría bilateral.

La situación del hombre en esta perspectiva evolutiva queda también planteada, con todo lo que ello supone para su interpretación como ser vivo. La aparición de la mente y la generación de la consciencia, hecho fundamental de la evolución humana que conduce al desarrollo de la cultura, también pueden ser analizados e interpretados en este contexto.

El darwinismo, como interpretación de la evolución de los seres vivos en clave de adaptación basada en la selección natural, se actualiza en el siglo XX gracias a la síntesis neodarwinista que desarrolla la explicación de los fenómenos evolutivos a la luz de los avances en genética y biología molecular. Con ello, tal como señala García Bellido, se plantean las claves de la evolución hacia una mayor complejidad orgánica y el papel de los genes en la misma. Pero nos siguen faltando elementos para entender cómo surge la vida en ese acontecimiento único, así como todo el juego de interacciones y relaciones entre las partes (genes y proteínas) en esa especie de central que representa la célula.

La explicación molecular de los fenómenos biológicos, que tantas y tan espectaculares respuestas ha proporcionado, no supone sin embargo una aclaración completa de la vida como suma de fenómenos en su raíz físico-química. El esfuerzo para lograr entender el todo en función de las aportaciones de las partes discurre por dos senderos: el de los modelos experimentales y el de la biología computacional.

Los modelos experimentales que permiten obtener conclusiones aplicables al conjunto de los seres vivos han resultado esenciales en el desarrollo de la biología molecular. Desde el estudio del código genético a la metodología de aislamiento y reintroducción de genes específicos (ingeniería genética) se han beneficiado del desarrollo de este tipo de modelos.

## EL CASO DE LOS ÚLTIMOS NOBEL

La concesión del Premio Nobel de Medicina de los años 2001 y 2002 ha venido a reconocer la importancia del empleo de modelos experimentales para profundizar en el conocimiento de fenómenos biológicos, de valor general, y con importantes aplicaciones por ejemplo en medicina humana.

El ejemplo del gusano *Caenorhabditis elegans* es verdaderamente paradigmático porque ha proporcionado información esencial, susceptible de extrapolación a organismos más complejos como los mamíferos, acerca del fenómeno de apoptosis o muerte celular programada. El desarrollo de los organismos pluricelulares no sólo supone multiplicación y diferenciación de las células, sino también el sacrificio de algunas de ellas, un fenómeno de muerte celular programado en algunos genes cuya naturaleza ha sido desvelada gracias al trabajo de Brenner (veterano científico, cuyo reconocimiento como Nobel estaba siendo reclamado hace tiempo), Sulston y Horvitz.

El pasado año se premió la labor de quienes, trabajando con organismos tan sencillos como las levaduras, habían propiciado conclusiones fundamentales sobre el control de la multiplicación celular, cuyas alteraciones determina la producción de cáncer. Son dos ejemplos ilustrativos de las tendencias fundamentales en la biología actual, porque los fenómenos se estudian de forma aislada, para encajar

---

luego su significación en el conjunto.

Sin embargo, el otro aspecto fundamental, muy propio de las ciencias de la vida del momento, es el del análisis en gran escala de todas estas cuestiones. La genómica supone el estudio de la totalidad de los genes de las especies, y la proteómica se ocupa de lo mismo con las proteínas. El abordaje de cada aspecto es el mismo e igualmente reduccionista, pero el esfuerzo hoy es la descripción de todas y cada una de las propiedades y el funcionamiento de los elementos que integran las células.

A partir de esa acumulación de datos, cuya determinación en gran escala es posible y cuyo manejo de conjunto sólo puede ser propiciado por la informática más ambiciosa, surge una biología de sistemas, que se propone integrar todos los datos en modelos que den cuenta de la totalidad de los fenómenos. Hoy se habla de «cibercélulas» como programas informáticos que incorporan toda la información existente de una célula concreta y permiten explicar y hacer predicciones sobre su funcionamiento, incluidas las respuestas ante estímulos procedentes del medio ambiente. Es la otra línea de esfuerzos, todavía limitados, pero que nos puede aportar algunas claves del futuro.

## **PERSPECTIVAS**

La ciencia y la tecnología actuales avanzan por una ruta imparable, según muchos, que conduce sin duda a nuevos descubrimientos y a la conquista de territorios del conocimiento y de las aplicaciones que no hace mucho parecían prácticamente inexplotables. Es notable cómo la falta de explicaciones científicas completas de muchos fenómenos no impide el desarrollo de aplicaciones de enorme trascendencia. Ahí están los semiconductores y los láseres para confirmarlo, lo mismo que los nuevos materiales con prestaciones increíbles, cuando sin embargo queda aún tanto camino por recorrer en los estudios sobre la estructura de la materia. A pesar de la complejidad del mundo de lo vivo, la ciencia nos muestra la unidad básica de los procesos biológicos y unas pautas de evolución coherentes con todo ello. Se desarrollan nuevos tratamientos para enfermedades y se esperan inminentes logros que harán posibles los ordenadores miles de veces más rápidos o las nanotecnologías.

A pesar de algunas visiones negativas sobre la ciencia como una actividad aislada y en parte marginal, no me cabe duda de que la ciencia es hoy una herramienta fundamental, quizá la más fundamental al alcance del hombre para atajar muchos de los problemas que ha de afrontar como especie que puebla la Tierra.

Tan esencial será que se integre conocimiento suficiente como abordar, con inteligencia y claridad, toda la información actual sobre cuestiones de entidad y valor general para toda la humanidad. Tan importante, e interrelacionado, será profundizar en el origen y evolución del universo o de la vida, definir el conjunto de interacciones entre los genes que integran un organismo, como establecer el alcance del cambio global, el futuro del medio ambiente o las amenazas para la biodiversidad, las posibilidades de la nueva medicina para afrontar la enfermedad, prolongar la vida y el bienestar del hombre.

He aquí un panorama de retos para una ciencia actual, basada en la interdisciplinariedad, que sigue conquistando territorios a lo desconocido pero que se hace, a partir de ellos, nuevas y más ambiciosas preguntas y, que al mismo tiempo, se encamina a resolver problemas. Desde ese rigor y ambición es como la ciencia puede estar, como muchos postulamos, al servicio de hombre y sus mejores conquistas.

## NOTAS

- 1· M. C. Galavotti, *World Conference on Science*, Publicaciones UNESCO, 2000.
- 2· A . Rioja, «Ciencia y cultura: una aproximación crítica», *Revista de Occidente*, 1/ 2002.

### **Fecha de creación**

30/11/2002

### **Autor**

César Nombela

Nuevarevista.net