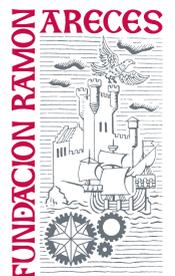


Emilio Chuvieco
Denis Alexander
Coordinadores

Ciencia y religión en el siglo XXI: recuperar el diálogo



**Ciencia y religión en el siglo XXI:
recuperar el diálogo**

Emilio Chuvieco
Denis Alexander
(Coordinadores)

Ciencia y religión en el siglo XXI: recuperar el diálogo



Reservados todos los derechos.

Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito de Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

© EDITORIAL CENTRO DE ESTUDIOS RAMÓN ARECES, S.A.

Tomás Bretón, 21 – 28045 Madrid

Teléfono: 915 398 659

Fax: 914 681 952

Correo: cerasa@cerasa.es

Web: www.cerasa.es

© FUNDACIÓN RAMÓN ARECES, S.A.

Vitruvio, 5 – 28006 MADRID

www.fundacionareces.es

Depósito legal: M-33083-2012

Impreso por:

ANEBRI, S.A.

Antonio González Porras, 35–37

28019 MADRID

Impreso en España / Printed in Spain

ÍNDICE

Presentación	9
1. El inicio de la ciencia en el mundo occidental. <i>John Hedley Brooke</i>	13
2. Los dos sentidos del término “hipótesis” en la raíz del actual malentendido sobre el caso Galileo. <i>Ignacio Sols</i>	33
3. Origen y creación en el universo del Big Bang. <i>Marco Bersanelli</i>	61
4. Exoplanetas, vida y trascendencia humana. <i>Jennifer Wiseman</i>	95
5. ¿Podremos crear alguna vez máquinas humanas? <i>Fernando de Arriaga</i>	111
6. Cerebro y alma: nuevas formas de mirar a un viejo problema. <i>José Manuel Giménez Amaya</i>	151
7. Heisenberg, Gödel y la cuestión de la finalidad en ciencia. <i>Fernando Sols</i>	167
8. Evolución, creación y diseño inteligente. <i>Francisco J. Ayala</i>	195
9. Creación o evolución: ¿tenemos que elegir? <i>Denis Alexander</i>	215
10. ¿Qué aportan las grandes religiones a la conservación ambiental? <i>Emilio Chuvieco</i>	239
11. Dignidad humana y los fundamentos de la bioética. <i>César Nombela</i>	267
12. Temas éticos en el comienzo y fin de la vida. <i>John Wyatt</i>	283

PRESENTACIÓN

Los días 10 y 11 de noviembre se celebró un simposio internacional denominado: “Ciencia y religión en el siglo XXI: ¿diálogo o confrontación?”. Este evento fue organizado por la Fundación Ramón Areces, con nuestra coordinación científica. Se registraron 410 personas en el simposio, provenientes de diferentes entidades (centros de enseñanza media, universidades, laboratorios de investigación, hospitales, clínicas...), lo que indica el interés que las relaciones entre ciencia y religión suscitan en la opinión pública.

El simposio permitió revisar, en diversos campos científicos, el interés de ese diálogo ciencia-religión, en beneficio de ambas. Se organizó en torno a 12 presentaciones, que corresponden a los capítulos que incluye este libro. En un primer bloque temático se comentan algunos aspectos controvertidos en las relaciones históricas entre ciencia y religión, por un lado el nacimiento de la ciencia en la Europa cristiana, y por otro el caso Galileo. En la primera, el Dr. Brooke subraya la importancia del cristianismo en el inicio de la ciencia contemporánea, especialmente en los siglos XVI y XVII, añadiendo también el interés que la ciencia árabe había tenido en la Edad Media, con desarrollos propios y como vehículo de transmisión de la ciencia clásica. En el caso Galileo, el profesor Sols comenta los antecedentes y detalles más destacados del proceso, subrayando el error histórico que la jerarquía católica cometió en este caso, a la vez que se rebate la percepción común de que se trata de un caso sintomático de las relaciones de la Iglesia con la ciencia, ya que no existe otro similar.

El segundo bloque de temas se centra en el inicio y exploración del universo, el origen de la materia y la evolución primaria del universo. Incluye los textos del profesor Marco Bersanelli, que presenta un repaso histórico sobre las visiones cosmológicas de distintas civilizaciones, para mostrar los avances más recientes en nuestro entendimiento del cosmos, gracias –entre otros– al proyecto Planck, que lidera el propio Bersanelli, y que permite observar radiaciones de muy larga distancia, muy cercanas al comienzo del universo (el Big Bang). La Dra. Wiseman, líder del proyecto Hubble de NASA, reflexiona sobre la búsqueda de vida extraterrestre y el significado que pudiera eventualmente tener para nuestra existencia terrestre y nuestra visión cosmológica.

El tercer grupo de temas se centra en revisar las relaciones cerebro y alma, espíritu y materialidad neurológica. Se incluyen dos capítulos a cargo del profesor Fernando de Arriaga sobre inteligencia artificial y el posible diseño de máquinas humanas y del profesor José Manuel Giménez-Amaya sobre configuración del cerebro y sentidos internos. Ambos mostraron el salto que supone la realidad espiritual sobre la material.

En el cuarto bloque de temas tratan sobre el diseño, la evolución y la finalidad, abordándose el sentido de la aleatoriedad y la finalidad en la ciencia, desde distintas perspectivas, tanto desde la física teórica, con un texto del profesor Fernando Sols sobre Heisenberg, Gödel, y la cuestión de la finalidad en la ciencia, como desde la biología, con los capítulos del profesor Francisco Ayala sobre Evolución, Creación y diseño inteligente, y del profesor Denis Alexander sobre Creación y Evolución.

Finalmente, se incluyen tres conferencias sobre cuestiones bioéticas. Por un lado, el profesor Emilio Chuvieco muestra posibles contribuciones de las grandes religiones a la conservación ambiental, subrayando el interés que las mismas ofrecen para generar visiones cosmológicas y patrones de comportamiento más respetuosos con el medio natural. Por otro, el profesor César Nombela analiza los fundamentos de la bioética, repasando algunos aspectos especialmente controvertidos, en donde entran en juego conflictos entre avances biomédicos y dignidad de la vida humana, que debe protegerse desde la concepción, ya que no hay ningún acontecimiento biológico que permita establecer saltos cualitativos en el desarrollo humano. Finalmente el Dr. John Wyatt presenta un panorama de gran interés sobre los retos que la biotecnología está generando en temas de gran trascendencia humana como los relacionados con el comienzo y el fin de la vida, la necesidad de valorar la importancia de cada ser humano, su interdependencia con el resto, y la necesaria protección de los más débiles.

CIENCIA Y RELIGIÓN: ¿DIÁLOGO O CONFRONTACIÓN?

Se ha especulado mucho sobre el papel, para unos positivo, para otros negativo, que la religión (y especialmente la cristiana, que ha centrado buena parte de este debate) ha tenido en el desarrollo de la ciencia. Sintetizando las cosas, podemos clasificar las relaciones ciencia y religión en cuatro posibles posturas: confrontación, concordancia, independencia y complementariedad.

Para los partidarios de la confrontación, la religión sería una forma de conocimiento alternativo a la ciencia, que se opondría frontalmente a la misma, al considerarla como un rival en la explicación de la realidad. Según este planteamiento, el avance de la ciencia mermaría el de la religión, que quedaría relegada a solo aquello que la ciencia desconoce. Por esta razón, los líderes religiosos habrían tratado de evitar el desarrollo científico, persiguiendo a los principales innovadores. El caso Galileo resultaría, según este planteamiento, paradigmático. Los conflictos más recientes, a propósito del evolucionismo o del inicio del universo confirmarían esa confrontación.

Un segundo tipo de planteamientos, que podemos denominar concordantes, asume que la ciencia debería apoyar a la religión para entender mejor la realidad creada, que sus conclusiones están subordinadas a nuestra interpretación de los textos sagrados. En este ámbito, la interpretación literal de la Sagrada Escritura prevalecería sobre la evidencia científica. El ejemplo más actual de este planteamiento es el de los *creacionistas* estrictos, que deducen la edad del universo a partir del análisis de los relatos bíblicos (unos 6.000 años). La incongruencia de estos cálculos con las conclusiones científicas de ciencias muy diversas se explican, en este planteamiento, a partir de intervenciones directas de Dios, cuando no se niegan directamente tales conclusiones.

El tercer grupo de posturas sobre las relaciones entre ciencia y religión sería el de aquellos que consideran que son dos materias absolutamente independientes, que no tienen ninguna relación entre sí. Por tanto, el diálogo entre ambas no tiene ningún sentido, ya que tratan de esferas distintas. Cabría admitir, en este planteamiento, que hubiera una incongruencia entre los conocimientos científicos y los teológicos, ya que ambas tratan de ámbitos distintos, material y espiritual, con leyes y fundamentos diversos.

Una cuarta postura considera que la ciencia y la religión son, al igual que en el anterior caso, independientes en sus métodos y fines, pero tienen una relación complementaria entre ellas que se fundamenta en la Verdad y en el Bien. La Verdad resulta tanto del criterio científico como del teológico por lo que no deberían contradecirse cuando se refieren al mismo objeto. Por tanto, no tendría sentido que hubiera contradicción entre el avance de la ciencia y nuestra interpretación de los textos sagrados y, cuando la hubiera, se debería a una interpretación incorrecta de los mismos. En cuanto al Bien, puesto que la ciencia no tiene referentes morales (solo indica cómo funcionan las realidades materiales),

la religión facilita a la ciencia una guía ética, que permita avanzar en consonancia con la dignidad humana.

Este último planteamiento es el más acorde con nuestra visión de las relaciones ciencia y religión, y fue en buena parte inspirador de la organización del simposio que patrocinó, con la profesionalidad que la caracteriza, la Fundación Ramón Areces. En nuestra opinión, ciencia y religión se enriquecen mutuamente: por un lado, la ciencia nos aporta un mejor conocimiento de la realidad material (entender mejor “el lenguaje de Dios”, como titula su libro uno de los científicos más destacados de nuestro tiempo, Francis Collins, director del proyecto Genoma Humano), por otro, la religión facilita un sentido de finalidad, unos valores morales, que permiten entender la dimensión espiritual exclusiva del ser humano. Esta visión complementaria tiene una actitud positiva ante la ciencia, evitando caer en el fideísmo, que, como afirmaba el cardenal Poupard, “piensa que puede salvar la fe denigrando la capacidad de la razón humana para alcanzar la verdad. Este ha sido un mecanismo utilizado por muchos creyentes frente al progreso científico. Pero negar los derechos de la razón para fundamentar la fe siempre empobrece la fe, que finalmente es forzada a convertirse en un sentimentalismo piadoso”. Un planteamiento complementario también evita utilizar la ciencia como argumento apologético, especialmente cuando se pretende utilizar a Dios como explicación de los procesos que no se conocen. Este pretender llenar las lagunas de nuestra actual ignorancia con la acción directa de Dios, deja en muy mal lugar la explicación “teológica” cuando se descubre la verdadera causa material de ese proceso, además de asumir implícitamente que aquellos ya conocidos no fueran también causados por Dios. Por otro lado, un planteamiento complementario busca en el diálogo entre ciencia y religión una solución acorde con la dignidad humana a problemas éticos que el propio avance de la ciencia origina, como serían la experimentación con embriones humanos, la clonación o las transformaciones genéticas.

En nuestra opinión, los capítulos que se incluyen a continuación extienden y enriquecen estas relaciones fructíferas entre ciencia y religión, dos realidades que manifiestan el genio espiritual del ser humano, que busca conocer en profundidad la realidad material, a la vez que trascenderla.

Emilio Chuvieco y Denis Alexander
Universidad de Alcalá y Cambridge University

EL INICIO DE LA CIENCIA EN EL MUNDO OCCIDENTAL

John Hedley Brooke
Presidente de la International Society for Science & Religion
Profesor Emérito, Universidad de Oxford

Breve CV

John Hedley Brooke ocupó la cátedra Andreas Idreos de Ciencia y Religión en la Universidad de Oxford entre los años 1999 y 2006. Es Fellow del Harris Manchester College, de Oxford y profesor honorario de Historia de la Ciencia en la Universidad de Lancaster. Recibió en 2007 el título de Distinguished Fellow en el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Durham. Ha sido presidente de la Sociedad Internacional para la Ciencia y la Religión entre 2008 y 2011, y actualmente es presidente del Foro Británico para la Ciencia y la Religión. Sus libros incluyen: *Science and Religion: Some Historical Perspectives* (Cambridge University Press, 1991) y *Reconstructing Nature: The Engagement of Science & Religion* (T & T Clark, 1998, en colaboración con Geoffrey Cantor). Su libro más reciente, coeditado con Ronald Numbers, es *Science & Religion around the World* (Oxford University Press, 2011).

Abstract

The story of how Greek science and philosophy was eventually translated, developed and transmitted to Europe through the mediation of Arabic culture is well known. The role played by religious beliefs and institutions in the nurturing of the sciences has, however, been the subject of competing master-narratives. Until relatively recently there has been a tendency in Western historiography to diminish the originality of Muslim thinkers, with a consequent

emphasis on Christian values and doctrines in the launch of ‘modern science’. By contrast, Muslim scholars, in celebrating the originality of Arabic astronomy, mathematics, optics and medicine, have tended to present Christianity as a cultural force that, if anything, was (and continued to be) opposed to scientific initiatives. The debate is coloured by the fact that apologists for particular religious beliefs like to present their own tradition as having a special relationship with the sciences. This particular trait is sometimes visible in scholarship that has emphasised the role of the Protestant Reformation in creating favourable conditions for the expansion of science. My argument in this paper will be that it is no longer possible to claim that Christianity gave birth to modern science. At the same time, during the sixteenth and seventeenth centuries both Catholic and Protestant Christianity provided resources for the justification of new, empirical methods of enquiry. While the revival of atomism and the mechanisation of nature generated anxieties for Christian theologians, new ways were found for re-integrating scientific and theological principles that helped to produce an enduring scientific culture in Western Europe.

Palabras clave

Historia de la Ciencia, cristianismo, Islam, Lutero.

INTRODUCCIÓN

El prestigioso historiador de la ciencia David Lindberg relata en su libro *Los inicios de la ciencia occidental* el viaje a Egipto del matemático y filósofo griego Pitágoras, donde los sacerdotes le dieron a conocer los misterios de las matemáticas egipcias. Cuenta la leyenda que Pitágoras fue capturado y enviado a Babilonia, donde tuvo la oportunidad de estudiar las matemáticas babilonias. Cuando regresó a su hogar en la isla de Samos llevaba consigo un tesoro matemático. Tal como Lindberg señala, esta historia revela una gran verdad: que los griegos estaban en deuda con las innovaciones matemáticas de otras culturas, y además eran conscientes de ello (Lindberg, 1992:13). Muchos siglos después, el gran matemático y filósofo occidental Isaac Newton vio en Pitágoras a un pionero en el análisis científico de la naturaleza. Al estudiar por qué cuerdas de distinta longitud y sometidas a distinta tensión emitían notas diferentes, Pitágoras descubrió la armonía matemática subyacente a la estructura de la naturaleza. Newton llegó a afirmar que el griego se

le había adelantado al postular que la gravitación seguía una ley de la inversa del cuadrado (Gouk, 1988; McGuire y Rattansi, 1966).

He iniciado mi exposición con estas anécdotas para ilustrar lo complicado que resulta localizar los orígenes exactos de la ciencia en Occidente. En el siglo XVII, cuando el movimiento científico se expandió por toda Europa de una forma sin precedentes, numerosas voces compartían la opinión de Newton, y encuadraban su pensamiento científico en los avances de la Antigüedad. Galileo veneraba a Arquímedes por haber introducido la abstracción matemática en el modelo de representación de la naturaleza. El médico inglés William Harvey apeló a la autoridad de Aristóteles al afirmar que el órgano más importante del cuerpo era el corazón y no el hígado. Buscar el verdadero nacimiento de la ciencia es como buscar la fuente de un gran río, en este caso el río del conocimiento, en el que desembocan numerosos afluentes y arroyos.

Newton y Pitágoras compartieron mucho más que la búsqueda de la armonía matemática; ambos se consideraron miembros de una hermandad espiritual dotada de una visión privilegiada del funcionamiento de la naturaleza. Newton también volvió la vista al pasado, a un cristianismo bíblico primitivo, a una Iglesia no corrompida aún por las teorías de Atanasio. Creía fielmente en que Jesucristo era el obediente Hijo del Padre, pero negaba la consubstancialidad del Hijo con el Padre (Manuel, 1974; Snobelen, 2001 y 2005). Newton se consideraba uno de los escasos creyentes cuyo hogar espiritual no se encontraba ni en la Iglesia de Roma ni en la de Inglaterra. Pueden encontrarse incluso puntos de conexión entre su cristianismo heterodoxo y sus postulados científicos en su absoluto convencimiento en la unidad de la naturaleza provenía de su certeza de que el universo había sido creado por una única Inteligencia (Brooke, 1991:135-139; Brooke, 2005; Rogers 1999).

Pero volveremos a hablar de Newton más adelante. El hecho de que en el momento más álgido de la “revolución científica”, Newton fuera capaz de aunar sus investigaciones sobre la mecánica celeste con un profundo compromiso con los estudios bíblicos demuestran que no deberíamos aislar los inicios de la ciencia occidental de las cuestiones de índole religiosa. Dado que este libro se refiere a la relación que existe en la actualidad entre la ciencia y la religión, mi intención es señalar algunas de las formas en las que las creencias religiosas impulsaron u obstaculizaron el germinar de la ciencia. El tema resulta muy delicado por varios motivos. Por ejemplo, las voces críticas con las iglesias cristianas han acusado con frecuencia a esta religión de reprimir durante siglos el estudio de la natu-

raleza; el paradigma es la condena a Galileo. En el polo opuesto se encuentra la historiografía más favorable al cristianismo que le atribuye de forma inequívoca el “nacimiento” de la ciencia. Aquellos que suscriben esta perspectiva tienden a restar importancia a los logros obtenidos por otras culturas, especialmente a la originalidad científica de los filósofos musulmanes medievales.

No cabe duda de que hubo un tiempo en el que los historiadores occidentales redujeron el papel desempeñado por el Islam a la mera conservación de su legado helénico. En la actualidad sabemos mucho más de los avances científicos en los países musulmanes en campos como la astronomía, las matemáticas y la medicina (Dallal, 2010 y 2011).

Un ejemplo paradigmático sería la transformación radical de la óptica llevada a cabo por Ibn al-Haytham, latinizado como Alhacén (Rashed, 2005). Las teorías heredadas de los antiguos griegos sostenían que la visión se debía a la proyección de un rayo de luz del ojo al objeto, o, según afirmaba Aristóteles, sería consecuencia de una “forma” que el objeto transmitía al ojo. Ibn-al Haytham fue más allá de estas hipótesis al afirmar que lo que se percibía, no era el objeto en sí, sino la imagen de él que se obtenía a partir del reflejo de la luz de este en el ojo, lo cual combinaba la geometría y la fisiología de la visión. Su discípulo, Al-Farisi, explicó la formación del arco iris utilizando unas esferas de vidrio llenas de agua que reproducían el comportamiento de la luz al atravesar una gota de lluvia. Con esta representación de la naturaleza, se adelantó siglos al estudio de Descartes (Rashed, 1980).

Muchas fueron las innovaciones de las culturas islámicas al campo de la astronomía, una ciencia a la que se concedía una gran importancia, en parte por sus aplicaciones religiosas: para establecer la fecha en la que debía comenzar el Ramadán y determinar la posición de la Meca, y por lo tanto la dirección en la que se debía rezar. Durante el califato de Al-Mamun contrastaron los modelos astronómicos de Ptolemeo con las nuevas observaciones realizadas en Bagdad y Damasco, un proyecto que Ahmad Dallal ha descrito recientemente como el “primer ejemplo de iniciativa científica colectiva del que se tiene constancia” (Dallal, 2011:126). El nacimiento de la trigonometría y la geometría algebraica se atribuyen también a los sabios musulmanes. Además, Dallal ve en la obra de Al-Biruni, en el siglo XI, el inicio de la separación conceptual entre la profesión del filósofo y la del científico. Al-Biruni se mostró crítico con las teorías de Aristóteles acerca del cielo, y parece probable que el hecho de convertir la fisi-

ca de una materia metafísica a una matemática respondiera a motivos religiosos (Ragep, 2001).

Quizás podamos entender ahora el respeto reverencial que el fraile inglés Roger Bacon procesaba a la sabiduría del mundo musulmán, y el temor que le causaba al mismo tiempo como cristiano (North, 2005). No cabe defender la imagen orgánica de la cristiandad alumbrando a la ciencia moderna cuando otras culturas lograron unos avances científicos y tecnológicos tan importantes tanto en el campo de la ciencia como de la tecnología (Efron, 2009). Dado que durante mucho tiempo se infravaloraron los avances de la ciencia árabe, es lógico que algunos investigadores musulmanes se entusiasmaran al encontrar en la cultura islámica tantos precursores de los pensadores occidentales. Algunos de ellos han ido más lejos aún al afirmar que existe una relación intrínseca entre el Islam y la ciencia, mientras que el cristianismo se situaría en un plano de inferioridad; para los académicos críticos, esta interpretación resulta demagógica (Ragep, 2001; Guessoum, 2011). Obviamente, esto no es más que un ejemplo de un fenómeno más amplio, que es el intento de numerosas culturas de demostrar que mantenían una relación privilegiada con la ciencia. Muchas voces afirman que, dentro del cristianismo, la ciencia ha avanzado más en los ámbitos protestantes que en los católicos (Brooke, 1991:82-116); en consecuencia, resulta importante analizar la actitud ante la ciencia de distintas tradiciones cristianas. Por ejemplo, cabe preguntarse si la valoración de la ciencia que hicieron los Padres de la Iglesia fue negativa en todos los casos.

No existe una única respuesta a esta pregunta porque sus doctrinas difieren en algunos puntos. Tertuliano, por ejemplo, concedió escaso valor al estudio de la naturaleza y a los logros de los filósofos de la naturaleza griegos: “¡Acabemos con cualquier intento de crear un cristianismo infectado por la dialéctica y las doctrinas estoicas y platónicas! No hay lugar para el debate intelectual después de recibir el cuerpo de Cristo, no cabe cuestionar las gozosas palabras del Evangelio.” Tertuliano consideraba que la fe cristiana debía saciar cualquier deseo de conocimiento (Lindberg, 1986:25-26). Pero el cartaginés no fue un Padre de la Iglesia al uso, aunque todos eran de la opinión de que existían otras prioridades antes que el estudio de la naturaleza. Basilio de Cesarea incitaba a hacer caso omiso de las especulaciones científicas paganas con el argumento de que los filósofos griegos discrepaban entre ellos: una teoría apenas había aparecido cuando era sustituida por otra, y así sucesivamente: ¿qué credibilidad merecían entonces?

Resulta interesante constatar que en la corriente del realismo científico aún aparecen de vez en cuando argumentos extraídos de la historia de la ciencia.

Sin embargo, Agustín de Hipona valora las ciencias naturales de manera más positiva. Si bien consideraba que existían cuestiones más acuciantes que el estudio de la naturaleza, también advirtió que resultaría vergonzoso que un cristiano fuera sorprendido en un disparate científico. En su *Commentario al Génesis*, Agustín de Hipona recurrió incluso a la doctrina estoica para resolver un problema exegético: el concepto estoico de las “semillas” le permitió sostener que en el momento en que el mundo fue creado se encontraba ya completo sin estar completamente completo, ya que aún debería transcurrir algún tiempo hasta que los seres vivos germinaran de las semillas que el Creador había plantado. En relación al origen de la humanidad, Agustín de Hipona afirmaba que Dios “creó al hombre en el sentido de que creó lo que el hombre sería, esto es, el principio causal de la creación del hombre y no la realidad del hombre ya creado” (Taylor, 1982:179). De este razonamiento se extrae que no hay que interpretar literalmente que el mundo fue creado en seis días. La concepción de potencialidad en la filosofía de Agustín de Hipona comporta un matiz que podría haber permitido que siglos más tarde surgiera una postura más abierta respecto a la cosmología evolutiva (McMullin, 2011), algo que no puede decirse del creacionismo de la Tierra joven actual. Pero la cuestión clave es que Agustín de Hipona es el modelo de una actitud hacia la ciencia que se ha manifestado en diversas ocasiones a lo largo de la historia del cristianismo en Occidente, en lo que yo llamo “el papel selectivo de la creencia religiosa” (Brooke, 1991:28). Los cristianos (y no solo ellos) han mostrado pocos reparos a la hora de aceptar aquellos postulados científicos que confirman sus creencias, y rechazar los demás. En palabras del propio Agustín de Hipona, “aquellos llamados filósofos, y en especial los platónicos, no deben infundirnos temor, pues dicen verdades que encuentran fácil cobijo en nuestra fe; al contrario, debemos arrebatarles sus postulados, de los que se han apropiado ilegítimamente, e incorporarlos a nuestra doctrina” (Lindberg, 2003:15). En este sentido, incluso el conocimiento pagano podría tener algún valor para la religión cristiana.

Es bien sabido que un momento clave en el desarrollo de la teología cristiana acaeció en el siglo XIII, cuando los eruditos europeos debieron hacer frente al reto intelectual que presentaban las obras de Aristóteles. De las versiones en árabe recientemente traducidas al latín quedaba patente que Aristóteles, más que ningún otro pensador de la Antigüedad, había propuesto un sistema completo

de conocimiento que abarcaba a todas las ciencias naturales. Los estudiosos cristianos medievales, como Roger Bacon, que sostenían que las matemáticas y la ciencia eran imprescindibles para que la Iglesia desarrollara su misión entre los infieles, se entusiasmaron al descubrirlas. Pero había un problema, con el que ya se habían encontrado antes los estudiosos musulmanes: Aristóteles sostenía al menos tres postulados inaceptables desde el punto de vista teológico: la mortalidad del alma, la naturaleza eterna del universo y el hecho de que todos los agentes causales provenían de la propia naturaleza. La reacción de uno de los principales teólogos, Tomás de Aquino, fue extraer de Aristóteles todo aquello que sustentaría la fe cristiana y rechazar aquellos postulados contrarios a la verdad revelada. Pero fue más lejos y se propuso demostrar que ciertos razonamientos de Aristóteles, tales como la eternidad del movimiento, por ejemplo, no comportaban ningún riesgo para la fe en el Creador. Tomás de Aquino podía exponer su pensamiento teológico como la culminación de la física aristotélica siempre que Dios –y no la naturaleza como postulaba Aristóteles– era la causa final del movimiento y la fuente de toda forma de vida, y solo podía comprenderse en tanto que remite y depende en los designios de un Creador (Carroll, 2008).

Los cristianos y los musulmanes compartían una crítica al pensamiento de Aristóteles especialmente interesante. Se refiere a las pruebas de los principios sobre la naturaleza. Según el filósofo griego, la Tierra debía encontrarse en el centro del universo, por ser este su lugar “natural”; si se moviera a cualquier otro sitio, volvería al centro. Tampoco podría existir más que un universo, ya que si hubiera dos, debería haber dos centros, lo cual sería absurdo, ya cuando un objeto cae, siempre se dirige al centro, por lo que en ese caso se encontraría atrapado entre dos fuerzas opuestas y no sabría hacia dónde caer. La omnipotencia de Dios resuelve todos estos problemas. El argumento de que la naturaleza está organizada del único modo posible obvia el hecho de que un Creador omnipotente y omnisciente podría haber decidido hacerlo de otro modo. En 1277, el obispo de París, Étienne Tempier, promulgó la condena de 219 artículos teológicos y filosóficos que supuestamente se estaban impartiendo en la Facultad de Artes de la Universidad de París por considerarlos contrarios a la omnipotencia del Creador (Harrison y Lindberg, 2011:73-75). Estas críticas teológicas abrieron el camino a una ciencia de la naturaleza más crítica, que se desarrollaría con plenitud en la Europa del siglo XVII una vez se adoptaron los métodos empíricos para el estudio de la naturaleza.

Un ejemplo es el del teórico católico francés Marin Mersenne, que en la década de 1630 se había convertido en una suerte de hombre-internet y mantenía correspondencia con los principales científicos europeos. Mersenne se opuso a la idea de que la Tierra debiera encontrarse en el centro del universo y postulaba que no existían limitaciones al “lugar natural” que debía ocupar: podría encontrarse allí donde Dios hubiera deseado colocarla; por lo que no tenía sentido tratar de determinar su ubicación filosofando desde un sillón (Lenoble, 1971). Mersenne trataba de construir un argumento teológico que oponer a Aristóteles de forma que facilitara la aceptación del nuevo modelo astronómico heliocéntrico. En Inglaterra, Francis Bacon defendió el uso de métodos experimentales en la ciencia y criticó la enseñanza universitaria por su excesiva preocupación por rebatir a los pensadores clásicos. Si Dios hubiera podido crear tantos mundos diferentes como deseara, resultaba decisivo utilizar los métodos empíricos para descubrir cuál de los mundos posibles había creado. Según Bacon, la humildad cristiana y los métodos empíricos van de la mano, y se oponen a la arrogancia y la esterilidad de la filosofía escolástica. Muchos historiadores han analizado y debatido este llamamiento a una teología voluntarista de la creación que legitimara los métodos empíricos en el estudio de la naturaleza (Harrison, 2002).

Para los historiadores de la ciencia, la cuestión clave es cuál es el catalizador que consigue que la emergente cultura científica de la Europa del siglo XVII eche raíces (Gaukroger, 2006; Cohen, 2010). En realidad, existían muchos factores previos que permitieron esta expansión sin precedentes de la ciencia. Con frecuencia se ha dado por sentado que las inquietudes científicas y teológicas estaban completamente separadas, aunque lo contrario es más probable; esto es, que la investigación científica comenzó a respetarse cada vez más en tanto que argumentos teológicos, como los planteados por Bacon y Mersenne, abrieron el camino para las nuevas ideas. El cristianismo no alumbró la ciencia moderna, pero sí brindó los medios para la aceptación y credibilidad de la investigación científica. Antes de pasar a examinar lo que podríamos llamar la “presentación teológica de las ideas científicas” debemos detenernos en las múltiples condiciones previas, tanto sociales como intelectuales, económicas y políticas, que posibilitaron el avance de la ciencia. Tal y como apuntó Einstein en una ocasión, la cuestión no es por qué no ha evolucionado la ciencia en otras culturas sino más bien por qué la ciencia, una actividad tan poco natural, se ha llegado a desarrollar.

Una enumeración de estas condiciones debería incluir los grandes viajes de la era de los descubrimientos que partieron desde la Península Ibérica y que pusieron a los europeos en contacto con otras culturas. Francis Bacon enumeró las innovaciones tecnológicas que habían permitido estos grandes viajes, y mencionó la brújula magnética, la imprenta y la pólvora. La mayoría, si no todas, de las universidades europeas se mostraban ahora abiertas a los nuevos conocimientos. La más famosa es acaso la Universidad de Padua, que atrajo a sabios de toda Europa. Fue precisamente aquí donde se produjeron los avances en anatomía y fisiología que rebatieron la autoridad de Galeno. Publicada en 1543, la gran obra de Andrés Vesalio sobre la estructura del cuerpo humano es testimonio de los impresionantes avances en anatomía que se habían logrado a mediados del siglo XVI. Copérnico, que estudió en las universidades de Bolonia y de Padua, publicó su libro más importante ese mismo año. La innovación científica salió de las universidades gracias al mecenazgo de miembros de la corte: así fueron posibles algunos trabajos pioneros de las ciencias, incluidos los astrónomos Tycho Brahe y Johannes Kepler. Disponer de tiempo y medios económicos para adquirir los nuevos instrumentos científicos resultaba crucial. Tanto Brahe como Kepler eran protestantes, lo cual nos recuerda que, en el siglo XVII, la libertad para investigar libremente era análoga a la libertad que demostraron los reformistas protestantes al desafiar la autoridad de Roma. En sus críticas a Aristóteles, los radicales religiosos llegarían a describir al griego como el “Papa de la filosofía” (Hooykaas, 1972:113).

El avance del protestantismo creó unas condiciones más favorables para el avance de la ciencia en muchos sentidos. Martín Lutero nunca mostró la más mínima simpatía por Aristóteles, a quien describió como un “bufón griego” que había “burlado a la Iglesia”, “un maldito arrogante, vilmente pagano”, “el mismísimo diablo... el peor impostor de la historia de la Humanidad” (Simpson, 1925:139-140). Con estos precedentes, no es de extrañar que Lutero vertiera también airadas críticas sobre Tomás de Aquino por haber introducido en la teología “las incoherencias infieles, profanas y vacías” del filósofo (Harrison y Lindberg, 2011:81), y aunque Lutero no se mostrara a favor del sistema astronómico copernicano, resulta sorprendente cuántas de las figuras claves en el movimiento terrestre eran luteranos, como Georg Rheticus, el primer discípulo de Copérnico; Michael Maestlin, que fue profesor de Kepler en Tübinga, y, por supuesto, el propio Kepler (Barker, 2005). Algunos teólogos católicos, como Liberto Fromondo de Amberes, se referían al sistema “calvinista-coperni-

cano” para expresar su repulsa a las reformas paralelas de la ciencia y la religión (Hooykaas, 1972:132).

Pero para que el movimiento científico avanzara y se desarrollara a su propio ritmo, era indispensable una organización. Anteriormente me he referido a la red de contactos con la que contaba Mersenne. El siglo XVII vio la creación de gran número de academias científicas en toda Europa, sobre todo en Italia, Francia e Inglaterra. La Royal Society de Londres se consideraba a sí misma la materialización del ideal de Francis Bacon de crear un centro de investigación experimental colaborativa (Hunter, 2009:144-163). Al poco tiempo de fundarse, la institución presentó su publicación *Philosophical Transactions*, que ha sobrevivido hasta nuestros días. La Académie des Sciences de París presumía de ser una sociedad de científicos capaces de trabajar como un grupo de colegas y revisar mutuamente la calidad de las investigaciones científicas presentadas (Hahn, 1971).

En resumen, en la Europa del siglo XVII se dieron una serie de condiciones que permitieron la expansión de la actividad científica, si bien una de las más importantes fue la capacidad de las herramientas teológicas de legitimar la investigación científica. Por ejemplo, la Reforma Protestante supuso una nueva interpretación de las Escrituras. Una idea muy extendida era que los textos bíblicos encerraban varios niveles de significado, simbólicos y metafóricos, además del literal. La controversia entre católicos y protestantes sobre dónde residía la fuente última de autoridad, y la búsqueda de textos que avalaran sus argumentos en las discusiones doctrinales favorecieron las interpretaciones literales sobre las metafóricas. Este cambio de perspectiva a la hora de interpretar la obra que contiene la palabra de Dios tendría también consecuencias para la interpretación de su otra obra, el Universo. De esta forma, la naturaleza dejaba de ser un depósito de símbolos religiosos sin conexión entre sí y se convertía en un sistema ordenado, diseñado en beneficio del ser humano, que permitía estudiar las relaciones que existían entre sus distintos fenómenos (Harrison, 1998). Y así, a finales de siglo, encontramos a Isaac Newton dedicado a una misión cristiana radical con un doble objetivo: revelar el significado único y definitivo de todos los textos bíblicos y revelar la explicación única y definitiva de todos los fenómenos naturales. Newton dictó una serie de normas concretas para la lectura de las dos obras, las Escrituras y el Universo, estableciendo una analogía explícita entre uno y otro en una búsqueda por la interpretación más sencilla (Manuel, 1974:120). Esta analogía de las “dos obras” no era nueva (Methuen, 2008): ya había servido

a Francis Bacon para sostener que, el estudio de la naturaleza debía considerarse también un deber para los cristianos del mismo modo que el estudio de la Biblia. No obstante, Bacon había advertido al mismo tiempo del peligro que entrañaba “confundir sin criterio” o “equiparar” el estudio de la teología y la filosofía de la naturaleza (Harrison, 2008:354).

Se puede encontrar un ejemplo muy claro de estas condiciones previas en la carrera de Galileo. La Universidad de Pisa le brindó la oportunidad de estudiar matemáticas y le ofreció su primer puesto de profesor de esta materia, actividad que ejerció entre 1592 y 1610. Tras los descubrimientos que realizó gracias al telescopio, disfrutó del mecenazgo de la familia Medici de Florencia, que puso a su disposición aquello con lo que sueñan todos los científicos: tiempo para investigar. El telescopio de Galileo nos recuerda el papel que desempeñan los instrumentos en el avance de la ciencia: sus observaciones a través del telescopio abrieron nuevas vías que permitieron rebatir la autoridad de Aristóteles. La superficie irregular de la Luna demostraba que el firmamento no era perfecto; las cuatro lunas de Júpiter demostraban que la Tierra no era el único planeta con satélites; sus observaciones sobre las fases de Venus –consecuencia de que, visto desde la Tierra, se oculta detrás del Sol– proporcionaban las pruebas más sólidas hasta el momento del sistema copernicano. La carrera de Galileo pone también de relieve el valor de las sociedades organizadas a la hora de apoyar el trabajo científico. En abril de 1611, el pisano se convirtió en el sexto miembro de la Accademia dei Lincei, fundada ocho años antes por Federico Cesi, marqués de Monticello, cuya misión consistía en promover el estudio de las ciencias naturales. Galileo se sintió enormemente honrado por este nombramiento, y llegó a firmar en numerosas ocasiones como “Galileo Galilei, Linceo” (Sharratt, 1994:91-92, 107-108; Heilbron, 2003:2).

En su *Carta a Cristina de Lorena* (1615), Galileo exponía los motivos por los cuales la astronomía no debía considerarse una amenaza a las Escrituras. Unos de sus argumentos fue recuperado por los astrónomos protestantes, y puede encontrarse en la teología de la Reforma de Calvino: las Escrituras no ofrecen información técnica que se pueda esgrimir en contra de las nuevas teorías científicas, sino que su lenguaje está adecuado a las capacidades limitadas de la mente humana, y describe los fenómenos naturales de forma simple y tal como se perciben. Si la Biblia da a entender que el Sol se mueve, y que la Tierra no, es porque es así precisamente como lo percibimos los humanos. Tal y como lo describió Paolo Foscarini, contemporáneo de Galileo: “Con frecuencia, el Espíritu Santo

adopta deliberadamente un verbo vulgar y corriente” (Snobelen, 2008:707). De este modo, la esencia del mensaje de la Salvación no se ve ensombrecido por tecnicismos que tan solo los conocedores de las ciencias pueden comprender. Cabe subrayar que esta es una justificación teológica para conceder a la investigación científica un cierto grado de autonomía. Galileo citó al cardinal Cesare Baronio, que afirmó con cierto tono jocoso que “La Biblia no fue escrita para mostrarnos cómo es el cielo sino cómo llegar a él” (Finocchiaro, 1989:96).

Galileo no abogaba por la separación completa del saber científico y la exégesis bíblica; de hecho, otro de sus argumentos respecto a la importancia de las ciencias naturales es que podría ayudar a los teólogos a hallar significados más profundos de la Biblia (Finocchiaro, 1989:93). Lo realmente importante es que, a diferencia de otros filósofos de la naturaleza contemporáneos, Galileo fue capaz de partir de la tradición cristiana para ofrecer una justificación teológica capaz de diferenciar el *magisterio* de la ciencia del de la Iglesia. El pisano apeló en su defensa al principio agustiniano de que, en caso de conflicto aparente entre la ciencia y las Escrituras, no se deberá despreciar el conocimiento bien fundamentado (Finocchiaro, 1989:104-105), sino proceder a una reinterpretación de los textos sagrados.

El destino de Galileo es conocido por todos, y huelga decir que los argumentos teológicos a los que recurrió resultaron del todo ineficaces para evitar su condena. Pero este acercamiento a la exégesis bíblica se topó con un principio alternativo expuesto por el poderoso cardenal Roberto Belarmino, según él con la aprobación del Concilio de Trento, y que proclamaba la incuestionabilidad del consenso que los Padres de la Iglesia habían alcanzado acerca de la interpretación de los textos bíblicos. Finalmente a Galileo se le arrebató lo que le resultaba máspreciado: la libertad de filosofar (Brooke, 1991:97-98). Pero la vertiente política del caso resulta tremendamente compleja, ya que Galileo desobedeció directamente los deseos del Papa acerca de la cuestión copernicana, en un momento en que España ejercía una fuerte presión sobre Urbano VIII para que actuara con más dureza contra los herejes (Shank, 2005:74-79).

El caso de Galileo y las pruebas de que el protestantismo supuso un estímulo para el desarrollo de la ciencia pueden dar la impresión de que por lo general la Iglesia Católica se mostraba reacia a la innovación científica, pero podemos aducir al menos tres razones que demostrarán que este análisis es errado. En primer lugar, la Iglesia desempeñó un papel crucial como mecenas de las ciencias. El

prestigioso historiador de la ciencia John Heilbron señalaba que “durante más de seis siglos, desde que se recupera el saber de la Antigüedad a finales de la Edad Media y hasta la Ilustración, la Iglesia Católica Romana prestó más apoyo económico y social al estudio de la astronomía que ninguna otra institución, y probablemente más que todas las demás juntas” (Heilbron, 1999: 3). En segundo lugar, la Compañía de Jesús contaba entre sus filas con notables astrónomos, matemáticos y físicos dedicados a la enseñanza de las ciencias a través de sus planes educativos (Heilbron, 1999:188-194; Principe, 2009). En tercer lugar, algunos de los científicos más destacados e influyentes del siglo XVII fueron católicos. Las aportaciones de Galileo, Mersenne, Gassendi y Descartes fueron determinantes para desentrañar los misterios de la naturaleza. Cada uno conjugó a su manera los elementos de la fe y la ciencia, pero los métodos empleados no se diferencian de forma sustancial de los empleados por los filósofos de la naturaleza protestantes (Ashworth, 1986).

Para concluir, me gustaría mostrar unos cuantos ejemplos más de investigadores del siglo XVII que lograron abrir el camino a la ciencia invocando las doctrinas cristianas, y, en algunos casos, reinterpretándolas para dotar a la investigación científica de prestigio y solidez. Mis tres ejemplos son Francis Bacon, Robert Boyle e Isaac Newton.

En la visión de Bacon, la doctrina bíblica del pecado original juega un papel destacado. La desobediencia de Adán le cuesta su dominio sobre la naturaleza, que Dios tenía reservado para el hombre. La tesis de Bacon sostiene que la aplicación práctica del conocimiento científico podría devolver a la humanidad el control perdido. La historia de la creación del mundo del Génesis narra cómo Adán contaba en un primer momento con un vasto conocimiento de la creación, que perdió al ser expulsado del Edén, por lo que para recuperarlo, si no en su totalidad, al menos en parte, era necesario recurrir a los métodos empíricos por los que Bacon abogaba (Harrison, 2007). Los líderes intelectuales de la revolución puritana de la Inglaterra del siglo XVII adujeron otro argumento que motivó la búsqueda de un conocimiento para mayor gloria de Dios que aliviara el sufrimiento de la humanidad: se trataba de la doctrina del Segundo Advenimiento de Cristo, tras el cual, según las Escrituras, reinaría en la Tierra durante mil años. Bacon sostenía que mejorar el mundo a través de la ciencia era una forma adecuada de preparar el retorno de Cristo. El sueño occidental de una utopía científica procede en gran medida de la secularización de esa visión milenaria (Webster, 1975).

En su ensayo *Sobre el ateísmo*, Bacon realiza una comparación fascinante entre la cosmovisión de Aristóteles y la filosofía ateísta de los atomistas clásicos, Demócrito, Leucipo y Epicuro, cuya explicación de los fenómenos físicos a través de la disposición y el movimiento de los átomos abrió el camino para la expulsión de los dioses antropomórficos. El poema *De rerum natura* (*La naturaleza de las cosas*) de Lucrecio resume la filosofía naturalista atomista, y su redescubrimiento en el siglo XVI dio a conocer esta hipótesis. Sin embargo, aquellos que se sintieron tentados de abrazarla corrían el riesgo de ser perseguidos porque aparentemente excluía la existencia de Dios, aunque esto siempre se podía rebatir atribuyendo a Dios la disposición y el movimiento original de los átomos. El verdadero interés de los ensayos de Bacon es su afirmación de que un mundo compuesto por átomos en movimiento está más necesitado de un control providencial que el de Aristóteles. Bacon escribió: “pues es mil veces más creíble que cuatro elementos mutables y una quinta esencia inmutable, debida y eternamente situados no necesiten Dios alguno, que no un ejército de infinitas porciones o semillas, no situadas, hayan producido ese orden y esta belleza sin jefe divino” (Bacon, 1965:49). Las consecuencias estaban claras: La filosofía atomista mecánica podía ofrecer argumentos más sólidos para la existencia de la Divina Providencia que el sistema aristotélico predominante. Se ponía así de manifiesto que incluso el pensamiento clásico más ateísta tenía ventajas que ofrecer a la teología cristiana. Aunque esta hipótesis había nacido como oposición al concepto del diseño divino, debía presuponerlo para dar cuenta del orden y la belleza del mundo.

La combinación de la corriente filosófica del mecanicismo con los nuevos argumentos en relación al diseño divino queda especialmente patente en la teología natural del químico inglés Robert Boyle. Boyle abandonó la comparación habitual del universo como un organismo vivo y lo asemejó a una bella máquina artesanal, como, por ejemplo, el reloj astronómico de la catedral de Estrasburgo. Boyle gustaba de las analogías mecánicas, que consideraba adecuadas tanto para la investigación científica como para la teología cristiana. Los científicos podían estudiar los engranajes y resortes de la maquinaria de la naturaleza y producir al mismo tiempo argumentos de calado contra el ateísmo. Los relojes no se diseñan ni se crean a sí mismos, y su construcción responde a un objetivo determinado. A Boyle le maravillaba la maestría del ojo humano, y en su teología natural queda patente la influencia de un nuevo instrumento científico: el microscopio. Al estudiar el movimiento de las criaturas microscópicas, Boyle se maravillaba de cómo el Creador había insuflado vida en unos seres tan minúsculos. Este inven-

to resultó especialmente útil a la hora de integrar la ciencia en el pensamiento religioso. El razonamiento era sencillo: al agrandar los artefactos humanos, sus imperfecciones quedan al descubierto, mientras que el microscopio muestra toda la belleza de los objetos naturales. La investigación científica de la naturaleza demostraba la superioridad del artista divino (Brooke, 1991:130-135; Brooke y Cantor, 1998:217-218; Hunter, 2009:202-203).

Los argumentos de Boyle a favor del diseño divino se centraban en los delicados detalles de los seres vivos, pero también podía aplicarse a la coordinación de los sistemas físicos. Isaac Newton expone un argumento a favor del ajuste fino del universo en la línea de algunas formulaciones modernas: para que un planeta pudiera entrar en una órbita estable alrededor del Sol, en el momento de la Creación se le debió asignar una velocidad tangencial calculada con precisión, de forma que no se precipitara hacia el astro ni se perdiera en el espacio exterior. ¡Esto demostraba que el Creador era un matemático tan brillante como el propio Newton! Tal y como el físico lo expresó: la creación del Sistema Solar necesitaba de una causa capaz de comprender y comparar las cantidades de materia necesaria para el Sol y los planetas, las fuerzas de la gravedad resultantes y la distancia entre los planetas y el Sol: “y el comparar y ajustar todas esas cosas en una variedad tan grande de cuerpos, argumenta que la causa no era en ningún caso ciega y fortuita, sino muy diestra en mecánica y geometría” (Newton, 1692). Esta teología natural de finales del siglo XVII ofrecía las condiciones para que se desarrollara una investigación científica segura y respetable para la Iglesia.

Con frecuencia se dice que, durante la revolución científica del siglo XVII, la ciencia se desvinculó de la religión, pero este argumento es poco preciso y no totalmente correcto (Brooke, 1991:52-81; Hunter, 2009). Bacon se opuso de forma acertada a las explicaciones de los fenómenos naturales que apelaban a causas finales y propósitos divinos, pero no por esto dejaba de considerar la investigación científica una actividad profundamente religiosa que además estimulaba la virtud cristiana de la humildad. La ciencia y la religión pueden confluir en muchos niveles distintos. El derrumbe del universo aristotélico cristianizado en el siglo XVII no impidió que aparecieran nuevas formas que permitieran incorporar las iniciativas científicas a la creencia de un Creador sabio y poderoso. Es probable que exista una separación en algunos niveles, pero en otros existe lo que Amos Funkenstein ha dado en llamar una “fusión sin precedentes” (Funkenstein, 1986). Por ejemplo, Newton comprendió que el espacio estaba

constituido por la omnipresencia de Dios, y afirmó que las leyes de la naturaleza eran universales por tener su origen y estar sustentadas por un Dios omnipresente. No cabe duda de que la religión cristiana, en sus diversas expresiones, podía ofrecer –y de hecho ofreció– los recursos intelectuales necesarios para avalar y justificar la actividad científica. Las distintas conexiones que he mencionado en mi exposición ayudaron a que la ciencia se ganara el respeto de la sociedad en un momento en que el sueño de controlar la naturaleza se asociaba aún con la magia, la codicia y la herejía. Quizás afirmar que la ciencia moderna no existiría sin el cristianismo sea una exageración, pero no es ningún mito que la reformulación de las doctrinas cristianas desempeñó un papel fundamental a la hora de garantizar que las incipientes investigaciones sobre la naturaleza se convirtieran en una sólida cultura científica.

REFERENCIAS

- Ashworth, W. B. (1986).** “Catholicism and Early Modern Science”. En: Lindberg, D. C., and Numbers, R. L., eds. *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*. Berkeley: University of California Press, pp. 136-166.
- Bacon, F. [1965].** “Of Atheism”. En: Francis Bacon. *Essays*. London: Dent, Everyman’s Library, pp. 49-51.
- Barker, P. (2005).** “The Lutheran Contribution to the Astronomical Revolution: Science and Religion in the Sixteenth Century”. En: Brooke, J. H., and İhsanoğlu, E., eds. *Religious Values and the Rise of Science in Europe*. Estambul: Centro de Investigación de Historia, Arte y Cultura Islámicas, pp. 31-62.
- Brooke, J. H. (1991).** *Science and Religion: Some Historical Perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Brooke, J. H. (2005).** *Ciencia, Religion y Unificación de la Naturaleza*. *Pensamiento* 61, pp.147-156.
- Brooke, J. H., y Cantor, G. N. (1998).** *Reconstructing Nature: The Engagement of Science and Religion*. Edinburgh: T & T Clark.
- Carroll, W. (2008).** “Thomas Aquinas on Science, Sacra Doctrina, and Creation”. En: Van der Meer, J. M., and Mandelbrote, S., eds. *Nature*

- and Scripture in the Abrahamic Religions: Up to 1700, vol.1. Leiden: Brill, pp. 219-248.
- Cohen, H. F. (2010).** *How Modern Science Came into the World: Four Civilizations, One Seventeenth-Century Breakthrough.* Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Dallal, A. (2010).** *Islam, Science, and the Challenge of History.* New Haven: Yale University Press.
- Dallal, A. (2011).** “Early Islam”. En: Brooke, J. H., y Numbers, R. L., eds. *Science and Religion around the World.* New York: Oxford University Press, pp. 120-147.
- Efron, N. (2009).** “[The Myth] that Christianity Gave Birth to Modern Science”. En: Numbers, R. L., ed. *Galileo Goes to Jail and Other Myths about Science and Religion.* Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 79-89.
- Finocchiaro, M. (1989).** *The Galileo Affair: A Documentary History.* Berkeley: University of California Press.
- Funkenstein, A. (1986).** *Theology and the Scientific Imagination from the Middle Ages to the Seventeenth Century.* Princeton: Princeton University Press.
- Gaukroger, S. (2006).** *The Emergence of a Scientific Culture.* Oxford: Oxford University Press.
- Gouk, P. (1988).** “The Harmonic Roots of Newtonian Science”. En: Fauvel, J., Flood, R., Shortland, M.S., y Wilson, R., eds. *Let Newton Be!* Oxford: Oxford University Press, pp.101-125.
- Guessoum, N. (2011).** *Islam’s Quantum Question: Reconciling Muslim Tradition and Modern Science.* London: I. B. Taurus.
- Hahn, R. (1971).** *The Anatomy of a Scientific Institution: The Paris Académie des Sciences (1666-1803).* Berkeley: University of California Press.
- Harrison, P. (1998).** *The Bible, Protestantism, and the Rise of Natural Science.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrison, P. (2002).** “Voluntarism and Early Modern Science”. *History of Science* 40, pp. 63-89.

- Harrison, P. (2007).** *The Fall of Man and the Foundations of Science.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrison, P. (2008).** “Hermeneutics and Natural Knowledge in the Reformers”. En: Van der Meer, J. M., y Mandelbrote, S., eds. *Nature and Scripture in the Abrahamic Religions: Up to 1700*, vol.1. Leiden: Brill, pp. 341-362.
- Harrison, P., y Lindberg, D. C. (2011).** “Early Christianity”. En: Brooke, J. H., and Numbers, R. L., eds. *Science and Religion around the World.* New York: Oxford University Press, pp. 67-91.
- Heilbron, J. L. (1999).** *The Sun in the Church.* Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Heilbron, J. L. (2003).** “Academies and Learned Societies”. En: Heilbron, J. L., ed. *The Oxford Companion to the History of Modern Science.* Oxford: Oxford University Press, pp.1-5.
- Hooykaas, R. (1972).** *Religion and the Rise of Modern Science.* Edinburgh: Scottish Academic Press.
- Hunter, M. (2009).** *Boyle: Between God and Science.* New Haven: Yale University Press.
- Lenoble, R. (1971).** *Mersenne ou la Naissance du Mécanisme.* Paris: Vrin.
- Lindberg, D. C. (1986).** « Science and the Early Church”. En: Lindberg, D. C., and Numbers, R. L., eds. *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science.* Berkeley: University of California Press, pp. 19-48.
- Lindberg, D. C. (1992).** *The Beginnings of Western Science.* Chicago: University of Chicago Press.
- Lindberg, D. C. (2003).** “The Medieval Church Encounters the Classical Tradition: Saint Augustine, Roger Bacon, and the Handmaiden Metaphor”. En: Lindberg, D. C., y Numbers, R. L., eds. *When Science and Christianity Meet.* Chicago: University of Chicago Press, pp. 7-32.
- Manuel, F. E. (1974).** *The Religion of Isaac Newton.* Oxford: Clarendon Press.

- McGuire, J. E., y Rattansi, P. M.** (1966). "Newton and the Pipes of Pan". *Notes and Records of the Royal Society* 21, pp. 108-143.
- McMullin, E.** (2011). "Darwin and the Other Christian Tradition". *Zygon, Journal of Religion and Science* 46, pp. 291-316.
- Methuen, C.** (2008). "Interpreting the Books of Nature and Scripture in Medieval and Early Modern Thought". En: Van der Meer, J. M., y Mandelbrote, S., eds. *Nature and Scripture in the Abrahamic Religions: Up to 1700*, vol.1. Leiden: Brill, pp. 179-218.
- Newton, I.** (1692). "Letter to Richard Bentley". In: Thayer, H. S. (1953). *Newton's Philosophy of Nature*. New York: Hafner, pp. 46-50.
- North, J.** (2005). "Western Science, Jews and Muslims". En: Brooke, J. H., y İhsanoğlu, E., eds. *Religious Values and the Rise of Science in Europe*. Estambul: Centro de Investigación de Historia, Arte y Cultura Islámicas, pp. 15-30.
- Osler, M. J.** (2009). "[The Myth] that the Scientific Revolution Liberated Science from Religion". En: Numbers, R. L., ed. *Galileo Goes to Jail and Other Myths about Science and Religion*. Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 90-98.
- Principe, L.** (2009). "[The Myth] that Catholics did not Contribute to the Scientific Revolution". En: Numbers, R. L., ed. *Galileo Goes to Jail and Other Myths about Science and Religion*. Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 99-106.
- Ragep, F. J.** (2001). *Freeing Astronomy from Philosophy: An Aspect of Islamic Influence on Science*. *Osiris* 16, pp. 49-64.
- Rashed, R.** (1980). *Science as a Western Phenomenon*. *Fundamenta Scientiae* 1, pp. 7-21.
- Rashed, R.** (2005). *Science in Islam and Classical Modernity*. In: İhsanoğlu, E., ed. *Cultural Contacts in Building a Universal Civilisation: Islamic Contributions*. Istanbul: Research Centre for Islamic History, Art and Culture, pp. 159-172.

- Rogers, G. A. J. (1999).** Newton and the Guaranteeing God. In: Force, J., and Popkin, R. H., eds. *Newton and Religion*. Dordrecht: Kluwer, pp. 221-235.
- Shank, M. H. (2005).** Setting the Stage: Galileo in Tuscany, the Veneto, and Rome. In: McMullin, E., ed. *The Church and Galileo*. Notre Dame: Notre Dame University Press, pp. 57-87.
- Sharratt, M. (1994).** *Galileo: Decisive Innovator*. Oxford: Blackwell.
- Simpson, J. Y. (1925).** *Landmarks in the Struggle between Science and Religion*. London: Hodder and Stoughton.
- Snobelen, S. D. (2001).** “God of gods, and Lord of lords”: The Theology of Isaac Newton’s General Scholium to the Principia. *Osiris* 16, pp. 169-208.
- Snobelen, S. D. (2005).** “The true frame of Nature”: Isaac Newton, Heresy, and the Reformation of Natural Philosophy. In: Brooke, J. H., and Maclean, I., eds. *Heterodoxy in Early Modern Science and Religion*. Oxford: Oxford University Press, pp. 223-262.
- Snobelen, S. D. (2008).** “In the Language of Men”: The Hermeneutics of Accommodation in the Scientific Revolution. In: Van der Meer, J. M., and Mandelbrote, S., eds. *Nature and Scripture in the Abrahamic Religions: Up to 1700*, vol. 2. Leiden: Brill, pp. 691-732.
- Taylor, J. H. (1982).** *Ancient Christian Writers*, vol.1. New York: Newman Press.
- Webster, C. (1975).** *The Great Instauration: Science, Medicine and Reform 1626-1660*. London: Duckworth.

LOS DOS SENTIDOS DEL TÉRMINO “HIPÓTESIS” EN LA RAÍZ DEL ACTUAL MALENTENDIDO SOBRE EL CASO GALILEO

Ignacio Sols
Departamento de Álgebra, Universidad Complutense, Madrid (España)

Breve CV

Licenciado en la Universidad de Zaragoza en 1972 y doctorado en la misma universidad en 1975, Ignacio Sols fue Boursier d’Haute Niveau del gobierno francés en la Universidad de Paris Sud (Orsay) en los años 1977-1978, Research Associate del Departamento de Matemáticas de la Universidad de California en Berkeley de 1979 a 1981, y profesor titular desde 1982, catedrático desde 1986 y profesor emérito desde 2011 en el Departamento de Álgebra de la Universidad Complutense de Madrid.

Su trabajo doctoral versó sobre lógica matemática, y su investigación posterior se ha centrado principalmente en la geometría algebraica. Fundó en el año 2000 el grupo GESTA de investigación en geometría simpléctica con técnicas algebraicas, uno de cuyos encuentros anuales fue satélite del ICM, el congreso tetranual de los matemáticos en el que se hace entrega de las medallas Field, que tuvo lugar en Madrid en el año 2006 y del que fue *chairman* de su sesión de geometría algebraica.

Abstract

This is a two-sided article both for the benefit of readers not acquainted with the Galileo case, and for the benefit of those more interested in scholar discussion. For the first group, I summarize the case with data taken from the original

documents, both personal letters and official statements of the time. For the second group of readers, I try to find an explanation to the present misunderstanding between the parts interpreting the case, which has caused a certain unease in the past decade, although deliberately I do not refer to scholars representing each side, just restricting myself to sheer ideas. My proposed explanation is that two different meanings of the word “hypothesis” have caused two different interpretations of what was demanded by the Church when Galileo did not obey and was condemned.

Palabras clave

Galileo, copernicanismo, Bellarmino, hipótesis.

HISTORIA

Recojo en este artículo el contenido de mi charla en el congreso sobre ciencia y religión en la Fundación Ramón Areces, Madrid, noviembre 2011. Esta amable invitación supuso una oportunidad para mí y un honor que quiero agradecer a los organizadores. En la primera parte me dirigiré principalmente a quien no conozca bien el caso, y en la segunda trataré de lo que yo creo está en la raíz del malentendido sobre este tema. No un malentendido del pasado, sino malentendido actual. Comienzo, pues, por historia, para acabar luego con opinión.

En 1543 se publicó la obra de Nicolás Copérnico *De revolutionibus orbium caelestium*, iniciada en 1533. Su contenido es conocido, obra revolucionaria, no hubo problema, más bien fueron cardenales y el mismo papa Paulo III quienes le animaron a publicarlo a pesar de las reticencias del autor. A este Papa la dedica, aunque más bien debería haberlo hecho a su antecesor, Clemente VII, por haberle encargado sentar las bases astronómicas para la reforma del calendario, según había pedido el Concilio V de Letrán. En el lecho de muerte, se entera del prólogo que se le ha impuesto: que todo lo que contiene su libro no es sino mera hipótesis. El autor del prólogo, sabemos ahora, era el teólogo luterano Andreas Osiander, pero esto ha tardado en saberse, pues no lo firmó [*Cópernico, Ad lectorem de hypothesisibus huius operis*]. Se comprende el enfado que Copérnico se llevó, muriendo y sin posibilidad de reacción.

Sabemos por Melanchton que eso de que se moviera la Tierra y el Sol se estuviese quieto es cosa que no gustó a Lutero, quien en una de sus tertulias de sobre-

mesa (Luther, Tischreden, de 4 de junio de 1534) se pregunta en qué quedaría, pues, el milagro de Josué, cuando detuvo el Sol. Por eso, inicialmente, la teoría copernicana del doble movimiento de la Tierra, diurno y anuo, lleva la enemiga de los luteranos; pero para el tiempo de Galileo, medio siglo más tarde, era ya enseñado por astrónomos de ambas confesiones cristianas. Aquí, por ejemplo, en nuestra escuela de estrelleros de Salamanca, se enseñaban inicialmente los dos “sistemas del mundo”, ptolemaico y copernicano, pero ya antes de los descubrimientos telescópicos de Galileo solo se enseñaba el nuevo sistema (que, por cierto, de nuevo, nada. Ya los pitagóricos habían dicho que es la Tierra la que se mueve; y Aristarco de Samos, principios del siglo III antes de Cristo, afirma que lo hace ordenadamente, con esos dos movimientos, rotación y traslación. Nicolás de Oresme, obispo de Lisieux, luz de la ciencia medieval, siglo XIV, había llegado ya a explicar por qué para nosotros pasa ese movimiento inadvertido, porque participamos del “ímpetu” –hoy llamado inercia– que tiene la Tierra).

Ha pasado medio siglo, otoño de 1609. Galileo se “encuentra” con el telescopio. Introduce una importante mejora en el sistema de lentes y lo utiliza para contemplar el cielo nocturno. *Siderius Nuntius*, mensajero celeste, un opúsculo aún delicioso de leer, con dibujos de su propia mano. La superficie de la Luna tiene accidentes como los de la Tierra, Júpiter tiene cuatro lunas. Y en la última página observa que esto deja sin fundamento la objeción que solía oponerse al movimiento de la Tierra: que dejaría abandonada a la Luna. Nadie duda que Júpiter se mueva, y sin embargo vemos ahora que se lleva de camino no una, sino cuatro lunas.

Nadie allí tiene telescopio, pero todos llevan bajo el brazo el librito de Galileo, con sus dibujos. Su fama salta de la noche a la mañana. Al año siguiente, 1611, es invitado a Roma. Tres días de fiesta en el colegio romano, centro de investigación y enseñanza de los astrónomos jesuitas. Una audiencia especial con el Papa, Paulo V. Hasta aquí, todo de idilio. Pero el asunto comienza con algo tan vulgar como una cuestión de celos. Los profesores laicos de la universidad enseñaban que los astros son perfectamente esféricos, porque la teoría aristotélica así lo dice, la esfera es la forma perfecta. Y ahora resulta que tiene rugosidades. Su enseñanza, desautorizada. Su prestigio, eclipsado. Y aquí empieza “la machina”, la liga de los “colombini”, como los llamará Galileo hasta el final de su vida, capitaneados por el profesor Lodovico Delle Colombe. La estrategia de estos *colombini* será desprestigiarle ante la Iglesia, convenciendo a clérigos para que prediquen en contra del copernicanismo, la cuestión tratada de refilón

al final del *Siderius Nuntius*, pero por donde les parece Galileo más vulnerable. Y soplan al oído de clérigos el argumento del milagro de Josué, sin decir, claro está, que la idea había sido de Lutero. Los primeros que se encuentran [Cigoli a G. 16-XII-10]¹ se niegan a predicar contra algo que nada tiene que ver con la religión –como leemos en sus cartas de respuesta– pero al final, cómo no, hay quien entra al trapo, el dominico Niccolò Lorini, que predica el día de Todos los Santos de 1612 contra las perniciosas y absurdas teorías de “Ipérnico, o como se llame”. Como comentará agriamente Galileo, ni siquiera sabía su nombre.

Sigue un otoño caliente, la carta del matemático benedictino Benedetto Castelli a su maestro y amigo Galilei con el eco de la tertulia de sobremesa de la duquesa madre, Cristina de Lorena, respuesta de Galileo a Castelli –la teoría copernicana no se opone a la Escritura– y acusación ante el Santo Oficio, en 1615, por el también dominico Tommaso Caccini. Para entonces, la postura de la Iglesia está representada en el jesuita Cardenal Bellarmino quien estima que Galileo no debe tener problema, mientras “no entre en la Escritura”, y en cuanto a la obra de Copérnico, tan solo debe exigirse que se añada alguna anotación en el texto recordando que aquello es hipotético [Dini a G. 7-III-15] Tiene un valor cuasi-oficial su famosa carta [Bellarmino a Foscarini, 12-IV-15]², breve y medida, al provincial carmelita P. Paolo Antonio Foscarini, quien había escrito en defensa de Galileo acerca de la compatibilidad de la Biblia con la teoría copernicana: El Concilio ha establecido que se siga el sentido literal de la Biblia cuando no haya razón en contra para ello. Ejemplo, Adán y Eva corren a esconderse al oír las pisadas de Yaveh en el Paraíso, cuando se pasea por la tarde a la hora de la brisa. Razón en contra: Dios es incorpóreo, no anda ni hace ruido. Así pues, se trata de una expresión literaria. Ahora bien, no hay razón en contra de que la Tierra se esté quieta y el Sol se mueva, pues nadie ha probado nada. Pues se ha de interpretar la Escritura en sentido literal, en tanto

¹ Todas las cartas citadas con fecha, pero sin específica referencia, se encuentran en orden cronológico en la edición en veinte volúmenes de las obras de Galileo por Antonio Favaro [Galilei]. Los documentos citados con un número romano se encuentran en el correspondiente volumen de esta colección.

² Cfr. Galileo XII, 1124, G. a Dini, y “Considerazioni circa l’opinionone copernicana” en Galileo V, pp. 349-370. Galileo entiende bien la *hipótesis* de Bellarmino como ficción para el cálculo. También en Dini a G. 7-III-15. En Ciampoli a G., 21-II-15: Galileo no tendrá problemas *si no entra en la Escritura*. También opinaba así Mafeo Barberini, futuro papa Urbano VIII.

no haya esa prueba. Puede, sin embargo, seguir manteniéndose el copernicanismo como una hipótesis.

Sobre que no hubiese razón en contra, hemos de decir que Galileo sí creía que había razón en contra de que la Tierra se estuviese quieta: la que él mismo había dado en su carta sobre las manchas solares. La rotación de estas manchas nos revela que el Sol rota, y esta rotación solar causa la rotación de la Tierra (se creía que todo el espacio estaba llenado por el éter, y por tanto la rotación de un astro causaría un torbellino en el éter que haría rotar a los demás astros). A esto añadió una prueba presentada en el último momento, la misma mañana del lunes 24 de febrero de 1616 cuando ya se había reunido la Congregación del Índice para juzgar el caso: la prueba por las mareas. El agua de los océanos se mueve porque la Tierra se mueve. Pero lo malo que tenían estas dos demostraciones es que estaban equivocadas. Como hoy entendemos bien, no existe ninguna relación entre dichos fenómenos y el movimiento de la Tierra.

Galileo contesta con su famosa carta a la duquesa madre Cristina de Lorena [V, pp. 309-348], una carta que aún se considera obra maestra en exégesis bíblica. Como todo lo escrito por Galileo, la carta es de muy amena lectura, y muestra una gran erudición y familiaridad con la Escritura y con los Padres de la Iglesia, aunque se sabe que la escribió asesorado por el cardenal Conti [Conti a G. 7-VII-12 y 11-IV-14]. Recuerda en ella la tradición interpretativa de los Padres, principalmente de San Jerónimo y de San Agustín, quien decía que la Biblia habla exclusivamente de temas espirituales, y que trata de los temas naturales según el conocimiento de su tiempo, de modo que cuando menciona la planitud de la Tierra lo hace por la sencilla razón de que entonces no se sabía que la Tierra es redonda. Y en cuanto al criterio sobre el sentido literal, recuerda Galileo que no hay razón alguna en contra de que Tobías tuviese un perro. Pero no por eso vamos a hacer del perro de Tobías poco menos que verdad de Fe. Y es que esos criterios están muy bien, pero solo para la interpretación de cuestiones religiosas, no cuestiones de filosofía natural.

Y para completar el cuadro, un dato de suma importancia, demasiado olvidado cuando se trata este tema. En ese mismo año de 1615 el benedictino Benedetto Castelli había escrito a su maestro, Galileo, dándole una excelente idea: si es verdad que Venus y la Tierra giran en torno al Sol, como dice Copérnico, Venus debe presentar las mismas fases que la Luna. Galileo observa con su telescopio y ¡cierto! encuentra estas fases en Venus. Queda desde entonces refutado el sis-

tema ptolemaico, según el cual el Sol y los planetas giran en torno a la Tierra, y de hecho ni los astrónomos jesuitas ni nadie mantuvieron nunca más el sistema ptolemaico. Pero eso no significa que quedase demostrado el sistema de Copérnico, pues las fases en Venus eran también predichas por el sistema ticomónico. Es esencial comprender esta “tertia via” de Tycho Brahe, el medidor danés de alta precisión, para comprender el caso Galileo: Según Tycho, la Tierra está fija en el centro del cielo; el Sol gira en torno a la Tierra; y los planetas giran en torno al Sol. Si se piensa fríamente, ambos sistemas, ticomónico y copernicano ¡son matemáticamente equivalentes! En ausencia de paralajes o ángulo distinto con que se ve el universo en épocas opuestas del año (se habían buscado, pero con la precisión limitada de entonces no se habían podido encontrar), ambos “salvan las mismas apariencias”, como se decía entonces, y por eso la cuestión era tan difícil: los dos sistemas que sobrevivían a la aparición de fases en Venus resultaban entonces indistinguibles.

Con todo, la comisión de calificadores y consultores del Santo Oficio reunida el 24 de febrero de 1616 no ve tanta dificultad en el problema y despacha en pocas horas el asunto:

“El Sol es el centro del mundo, y totalmente inmóvil de movimiento local.

Censura: Todos dijeron que la dicha proposición es estulta y absurda en filosofía, y formalmente herética, en cuanto que contradice expresamente las sentencias de la Sagrada Escritura en muchos lugares según la propiedad de las palabras y según la enseñanza común y el sentir de los Santos Padres y de los doctores teólogos”³.

“Formalmente herética” era entonces algo muy serio. Afortunadamente quedaba aún cierto margen de maniobra, pues esta comisión era meramente consultiva y aún estaba pendiente la prohibición oficial. En el ínterin, dos cardenales allegados a Galileo, Gaetani y Barberini –recordemos a Maffeo Barberini pues será protagonista en esta historia– mostraron al papa Paulo V la carta de Galileo a la duquesa madre, con su argumento del perro de Tobías: como la cosa siga así, acabaremos haciendo de esto un dogma. La gestión surtió efecto pues en la pro-

³ “Sol est centrum mundi, et omnino immobilis motu locali.

Censura: Omnes dixerunt, dictam propositionem esse stultam et absurdam in philosophia, et formaliter haeticam, quatenus contradicit expresse sententiis Sacrae Scripturae in multis locis secundum proprietatem verborum et secundum communem expositionem et sensum Sanctorum Patrum et theologorum doctorum” (Galileo, XIX, p. 321).

hibición no apareció ya la seria calificación de “formalmente herético”. La carta de Galileo a la duquesa madre no entraría en el Índice, pues no estaba publicada, pero se le amonestaría personalmente de que no podía enseñar ni defender la opinión copernicana “de este modo” (es decir que podía seguir enseñándolo a modo de hipótesis, como había dicho Bellarmino en su carta):

“Su Santidad ordenó al Ilmo. Sr. Cardenal Bellarmino que llame junto a sí al dicho Galileo, y le advierta de apartarse de la dicha opinión; y si recusare hacerlo, el P. Comisario, ante notario y testigos, le haga precepto de que se abstenga totalmente de enseñar y defender, de este modo, la doctrina y opinión, o tratar de ella; si no accediere a ello, sea encarcelado”⁴.

Pero, para mayor confusión del asunto, el documento del día 26 que certifica que Roberto Bellarmino ha hecho la advertencia personal a Galileo, y que él obedientemente ha aceptado, no habla de prohibición de la doctrina copernicana “huiusmodi” –de este modo– sino “quovismodo”, de cualquier modo. Como es de prever, esto tendrá serias consecuencias.

El Decreto de la Congregación del Índice de 5 de marzo de 1616 prohíbe la carta de Foscarini, que esa sí estaba publicada, porque en ella “intenta demostrar que la opinión de los pitagóricos y de Copérnico está en consonancia con la verdad y no se opone a la Escritura”; y prohíbe también todos los libros que enseñen esta doctrina –“*aliosque omnes libros, pariter idem docentes, prohibendos*”– la cual es falsa y totalmente opuesta a la Escritura (“*falsam illam doctrinam Pithagoricam, divinaeque Scripturae omnino adversantem, de mobilitate terrae et immobilitate solis*”). Se suspende además la obra *De revolutionibus orbium caelestium* de Copérnico, y un antiguo comentario del Libro de Job por Diego de Zúñiga, hasta que sean corregidas: “*Y para que nunca más la opinión de este modo perjudique a la verdad católica, decidió que sean suspendidos los dichos libros De revolutionibus orbium de Nicolás Copérnico y de Diego de Zúñiga sobre Job, hasta que sean corregidos*” (“*ne ulterius huiusmodi opinio in perniciem Catholicae veritatis serpat, censuit, dictos Nicolaum Copernicum De*

⁴ “*Smus. ordinavit Illmo. D. Cardinali Bellarmino, ut vocet coram se dictum Galileum, eumque moneat ad deserendas dictam opinionem; et si recusaverit parare, P. Commissarius, coram notario et testibus, faciat illi praeceptum ut omnino absteineat huiusmodi doctrinam et opinionem docere aut defendere, seu de ea tractare; si vero non acquieverit, carceretur*” (XIX, p. 321). Todas las traducciones son del autor.

Revolutionibus orbium et Didacum Astunica in Job, suspendendos esse, donec corrigantur”). Las correcciones aparecieron en el año 1620, tratándose de diez frases en que se pide poco más que añadir la palabra “hipotéticamente” en tal o cual lugar, algo que Galileo y sus contemporáneos hicieron a mano en sus propios ejemplares (pero no en España, que tenía una excelente tradición copernicana: creo que esta debió ser la razón por la que en la versión española del Índice no apareció esta prohibición. Gingerish, en su amena obra sobre su búsqueda detectivesca por todo el mundo de los ejemplares que quedan de “el libro que nadie leyó” –el *De revolutionibus* de Copérnico– cree más bien que los españoles debieron ver todo aquello como un embrollo local de los italianos, (Gingerish, p. 146). Quizá no le falte razón. Más tarde se añadiría el *Epítome* de Kepler en 1619, la última obra del genial astrónomo polaco y única en que se aventura a “entrar en la Escritura”, con la buena intención de mostrar que nada en ella se opone a la teoría copernicana.

En resumen, no se podía mantener el copernicanismo “huiusmodi”, “de este modo”, es decir como teoría absoluta, pero sí como hipótesis. Y como tal se siguió enseñando el doble movimiento de la Tierra en los años que siguieron. Pero en el año 1623 sucedió algo con lo que nadie contaba: el cardenal Maffeo Barberini, uno de los dos que habían intercedido por Galileo ante Paulo V, fue elegido sucesor suyo. El nuevo Pontífice recordó muy pronto que el copernicanismo nunca había sido declarado herejía sino solo opinión temeraria, al ser opuesta a la Escritura [G. a Cessi, 8-VI-24]. Era éste precisamente su logro personal, como hemos visto. Ha dado la vuelta la tortilla y ahora llegamos los copernicanos, éste era el ambiente. De hecho, leemos felicitaciones y apreciamos cierto ambiente de euforia en las cartas que Galileo intercambia con Sor María Celeste, su queridísima hija Viginia (siempre le envía recuerdos de Sor Angélica, su hermana Livia, pero el hecho es que Livia jamás escribe a su padre) Galileo sobreestima su situación ahora favorable [Guiducci a G., 6-IX-24]. Pues fue esta falsa suposición lo que le perdió. Envalentonado porque el nuevo Papa fuese su antiguo amigo –aunque amistad bastante formal– y que hasta había escrito una *Oda a Galileo*, se atreve a componer una obra larga y cabal, un *Diálogo sobre los dos sistemas del mundo* en el que se expongan los pros y los contras de ambos sistemas, el ptolemaico y el copernicano. (Por cierto, estimo que oponer como único sistema alternativo al copernicano un sistema ya refutado, el ptolemaico, es parte de la estrategia de Galileo a favor del copernicanismo: nunca quiso ni oír hablar de la *tertia via* de Brahe, que veía como una opinión tibia. Aunque quizá

la odiaba porque resulta casi indistinguible del sistema copernicano. Al parecer, su amigo el papa Urbano VIII discutió con él este proyecto, e incluso fue idea suya este título, pues el propuesto inicialmente por Galileo *Diálogo sobre las mareas* ponía demasiado el acento sobre esta prueba, contrariamente al carácter hipotético con que se había de presentar el copernicanismo. En una carta de la época en que compone su *Diálogo*, Galileo dice que su verdadero objetivo en este escrito es confutar el geocentrismo y demostrar el heliocentrismo [G. a Diodati, 29-X-29].

Bien, pues por esta obra *Diálogo sobre los dos sistemas del mundo*, escrita bajo los auspicios del Papa y siendo el Papa en parte responsable, fue acusado Galileo Galilei, en 1632, ante el Santo Oficio, no sabemos aún por quién. Él había mantenido recientemente una agria disputa con un educado y suave jesuita, el Padre Orazio Grassi, sobre la cuestión de los cometas (en la que Grassi tenía razón) y mantenía desde antiguo otra peor con el Padre Christofer Scheiner sobre la naturaleza de las manchas solares. Muy pronto tuvo que dar Scheiner la razón a Galileo en que esas manchas no son cuerpos que giran en torno al Sol, sino que están ellas mismas en el Sol, que tiene un movimiento de rotación. Pero la polémica estaba envenenada por la discusión sobre la prioridad en el hallazgo de las manchas, y por ser ambos, Galileo y Scheiner, almas gemelas, caracteres primarios y discutidores. Lo que está claro es que Galileo perdió con estas polémicas el afecto de los jesuitas del colegio romano [G. a Diodati, 25-VII-34, Castelli a G. 19-VI-32, Rinuccini a G. 2-XII-23, Fabri a Gassendi, 25-VI-33]. Los jesuitas influían mucho en el Papa, y Galileo siempre pensó que fueron ellos quienes volvieron contra él la mente de quien había sido amigo su amigo y hasta le había dedicado una oda [G. a Diodati, 15-I-33, Barberini a G. 28-VIII-20, G. a Ladislao IV de Polonia, VIII-36]. Urbano VIII había leído, o alguien le había mostrado, su propio argumento sobre el tema, del que tan orgulloso se sentía, puesto en boca de Simplicio, el simplón aristotélico del diálogo de Galileo [Magalotti a Guiducci, 4-IX-32 y 26-VII-34]: que todo aquello debía quedar en hipótesis porque Dios podía haber hecho las cosas de modos diversos que presentasen las mismas apariencias (la verdad es que suena moderno, pero entonces sonaba como una tontería pues se venía a decir que los argumentos de Galileo aun siendo muy convincentes podían no demostrar nada). El hecho es que el Papa se indignó y montó en cólera. Se sentía traicionado por su amigo, sintiendo que en todo ese proyecto Galileo había estado jugando con él, mientras le hacía creer que estaba escribiendo como hipótesis una obra que en realidad era una

cabal defensa del copernicanismo, precisamente lo que estaba prohibido (y no andaba descaminado) [Niccolini a Cioli, 5-IX-32 y 18-IX-32, G. a F. Barberini, 13-X-32. Relación de Buonamici en julio de 1633 en *Galileo XIX*, p. 407. G. a Cioli, 23-VII-33].

El juicio de Galileo tuvo lugar durante la primavera de 1633 y no ante la Congregación del Santo Oficio, como se cree, sino ante una comisión de expertos creada por el Papa solo para el caso, lo que se interpreta como un gesto de benevolencia [Niccolini a Cioli, 18-IX-32]. Galileo había querido excusarse porque tenía ya setenta años, pero el Papa no admite la excusa, y contesta que se ponga a su disposición una litera [Galilei XIX, pp. 281], de modo que aquel anciano acaba haciendo el viaje en la litera de su protector el Gran Duque de Toscana, bastante de mala gana, pues ha sido informado de que “el Santo Oficio ya ha suspendido mi *Diálogo*”. Allí le espera un tribunal en que está presente el mismísimo Papa, en la persona de su sobrino Francesco Barberini.

En el juicio tuvo su comienzo el 12 de abril de 1633. Se le acusó inicialmente de haber contravenido el precepto personal que se le había hecho de no enseñar “quovismodo”, fuese del modo que fuese, la teoría copernicana, pues se acababa de encontrar el documento que certificaba esta prohibición, diecisiete años antes; y se le acusaba además de haber mantenido esa prohibición oculta al editor y a las autoridades para obtener la licencia eclesiástica de impresión, el famoso “imprimatur”. Pero Galileo respondió que nada tenía que haber comunicado al impresor porque nunca había existido ningún precepto especial para él, sino que solo se le había dado a conocer el precepto general de 1616. Como prueba de ello se sacó del bolsillo un documento manuscrito por Roberto Bellarmino en que el ya desaparecido cardenal certifica que aquella conversación solo consistió en dar a conocer a Galileo la norma general (probablemente para evitar que desobedeciese y anduviese luego diciendo que no sabía nada). En particular, no aparece en ese documento la expresión “quovismodo” como prohibición especial para él, sino que, al contrario, se dice expresamente que se le permite tratar del tema “ex suppositione”, o sea “como hipótesis”, como a todos estaba permitido:

“Yo no recuerdo que se me hiciese este precepto de otro modo que de viva voz del Señor Cardenal Bellarmino (...) De dicho precepto, es decir de no enseñar y del quovismodo, yo no he guardado memoria (...) El Señor Bellarmino me señaló que la dicha opinión de Copérnico se podía mantener ex suppositione como el mismo

Copérnico la había mantenido: y su Eminencia sabía que yo la mantenía “ex suppositione”, es decir como la mantiene Copérnico, como se ve en una respuesta del mismo Cardenal, dada a una carta del P. Maestro Paolo Antonio Foscarino, Provincial de los carmelitas, de la cual yo tengo copia y de la cual son estas palabras: “Digo que me parece que V. P. y el Señor Galileo obra prudentemente al contentarse con hablar ex suppositione, y no absolutamente, y esta carta del Señor Cardenal está fechada en el día 12 de abril de 1615: y que de otro modo, es decir absolutamente tomada, no podía ni ser mantenida ni ser defendida”⁵.

En las actas del proceso de 1633, consta el texto completo de esta breve carta de Bellarmino, escrita como salvaguarda de Galileo más de quince años antes:

“Nos, cardenal Roberto Bellarmino, habiendo oído que el Señor Galileo Galilei ha sido calumniado o se le ha imputado haber abjurado por nuestra mano, o incluso haber sido puesto en saludable penitencia por ello, y habiéndonos pedido que declaramos la verdad, decimos que el dicho Sr. Galileo no ha abjurado por nuestra mano, ni por ninguna otra aquí en Roma, ni en ninguna otra parte, que sepamos, de ninguna opinión o doctrina, ni ha recibido penitencia saludable de ninguna clase, sino que solo le ha sido anunciada la declaración hecho por Nuestro Señor [el Papa] y publicada por la Sagrada Congregación del Índice en la que se dice que la doctrina atribuida a Copérnico, de que la Tierra se mueva entorno al Sol y que el Sol esté en el centro del mundo sin moverse de oriente a occidente, es contraria a las Sagradas Escrituras, y por tanto no puede ser defendida ni mantenida. Y para dar fe de ello hemos escrito y firmado la presente de Nuestra propia mano, a 26 de Mayo de 1616, el arriba citado Roberto cardenal Bellarmino”⁶.

⁵ “Io non mi ricordo che mi fusse intimato questo precetto da altri che dalla viva voce del Signore Cardinale Bellarmino (...) di detto precetto, cioè nec docere et *quovis modo*, io non ho tenuto memoria (...) Il Signore Bellarmino mi significó, la detta opinione del Copernico potersi tener *ex suppositione* sì come esso Copernico l’haveva tenuta: et sua Eminentia sapeva ch’ io la tenevo *ex suppositione*, cioè nella maniera che tiene il Copernico, come da una risposta del medesimo Signore Cardinale, fatta a una lettera del P. Maestro Paolo Antonio Foscarino, Provinciale de’ Carmelitani, si vede, della qualle io tengo copia e nella quale sono queste parole: “Dico che mi pare che V. P. et il Signore Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlar *ex suppositione*, e non assolutamente”; et questa lettera del detto Signore Cardinale è data sotto il dì 12 Aprile 1615: e che altrimenti, cioè assolutamente presa, non si doveva nè tenere ne difendere” (XII, p. 340).

⁶ “Noi Roberto Cardinale Bellarmino, havendo inteso che il Signore Galileo Galilei sia calunniato o imputato di havere abiurato in mano nostra, et anco di essere stato per ciò penitenziato

Por lo tanto, a Galileo, a pesar de lo afirmado en la sentencia condenatoria de 1633 –presumiblemente para cargarse de razón–, se le juzgó solo por desobediencia al precepto general, por lo que 1633 nos da la clave interpretativa del precepto de 1616, el que en realidad nos interesa si queremos comprender la posición de la Iglesia.

Como no estaba prohibido el copernicanismo como hipótesis, Galileo declaró al tribunal que en su *Diálogo* todo había sido tratado hipotéticamente. Sin embargo, en los informes de los miembros del tribunal se percibe que todos se dan cuenta de que esto no es verdad: lo de “hipótesis” solo es mencionado por el autor del *Diálogo* en la introducción, y se finge al final del libro una especie de empate, pero el hecho es que Galileo está defendiendo la tesis copernicana, y el único argumento que presenta en contra es el que ridiculiza poniéndolo en boca de Simplicio. Lo demás son argumentos a favor, siendo el principal de ellos el de las mareas (aunque Galileo tenía ya sus reservas sobre la capacidad conclusiva de este argumento, por las críticas que había recibido)

La manifiesta insinceridad de Galileo es advertida en sus informes por todos y cada uno de los miembros del tribunal, lo que es grave y pone a este tribunal en su contra [XIX, pp. 348s]. Su presidente, el Cardenal Maculano, un partidario de que las cuestiones naturales no se deciden con la Escritura [Castelli a G. 2-XII-32], le visita para aconsejarle que diga la verdad [Maculano a Barberini 28-IV-33, Castelli a G. 2-X-3]. Galileo se hace traer un ejemplar de su *Diálogo*, lo lee, y pide una nueva convocatoria del tribunal, que tuvo lugar el 30 de abril, para declarar que, en efecto, no le parece que haya tratado del copernicanismo como hipótesis, pero que desde 1616 tiene la Tierra por inmóvil, y en su libro tan solo se deja llevar de la vanidad del polemista que

di penitenzie salutari, et essendo ricercati della verità, diciamo che il sudetto S. Galileo non ha abiurato in mano nostra nè di altri qua in Roma, nè meno in altro luogo che noi sappiamo, alcuna sua opinione o dottrina, nè manco ha ricevuto penitenzie salutari nè d' altra sorte, ma solo gl' e stata denunziata la dichiarazione fatta da Nostro Signore e pubblicata dalla Sacra Congregazione dell' Indice nella quale si contiene che la dottrina attribuita al Copernico, che la terra si muova intorno al sole e che il sole stia nel centro del modo senza muoversi da oriente ad occidente, sia contraria alle Sacre Scritture, e però non si possa difendere nè tenere. Et in fede di ciò habbiamo scritta e sottoscritta la presente di Nostra propria mano, questo di 26 di Maggio 1616. Il medesimo di sopra Roberto Cardinale Bellarmino (XIX, p. 348).

muestra su habilidad demostrando una proposición que sabe falsa [XIX, p. 324, 30-14-33].

La cosa llega a oídos del Papa. Esto es increíble y una burla. Que se le interrogue por su intención, y si mantiene que es copernicano, que abjure públicamente de ello:

“Su Santidad ha decretado que Galileo sea interrogado acerca de su intención, incluso con amenaza de tortura; y si mantiene lo dicho, previa abjuración ante el pleno de la Congregación del Santo Oficio de la vehemente [sospecha de herejía], sea condenado a cárcel al arbitrio de la Sagrada Congregación, y le sea ordenado que en adelante, ni por escrito ni verbalmente, vuelva ya a tratar más en modo alguno de la movilidad terráquea ni de la estabilidad del Sol, bajo pena de ser considerado reincidente en caso contrario. En cuanto al libro por él compuesto, titulado *Diálogo del académico Galileo Galilei*, ha de ser prohibido”⁷.

Habida cuenta su edad de setenta años, la amenaza de tortura era formal, pero el hecho es que se enseñaba al acusado los instrumentos de tortura. Más serio es lo del “sub pena relapsus”. En caso de recaída, es decir, en caso de tratar el copernicanismo “quovismodo”, fuese del modo que fuese, incluso como hipótesis, la pena para Galileo había de ser la prevista para los relapsi: la hoguera.

Llegamos así al tristemente famoso acto, Santa María sopra Minerva, 21 de junio de 1633, reunido el Colegio Cardinalicio, un anciano postrado de rodillas abjura de lo que había defendido durante toda su vida, aquello por lo que había luchado tanto, tantos esfuerzos gastados, aquello en lo que en realidad creía. ¡Y se compromete a denunciar ante la Inquisición si supiere de alguien que siga esa doctrina!

“Yo Galileo, hijo de Vincenzo Galileo de Florencia, de 70 años de edad, constituido personalmente en juicio, y arrodillado delante de vosotros, Eminentísimos y Reverendísimos Cardenales, Inquisidores generales en toda la República Cristiana contra la perversidad herética; teniendo delante de mis ojos el Evangelio Sacrosanto,

⁷ Smus. Decrevit, ipsum Galileum interrogandum esse super intentione, etiam comminata ei tortura; et si sustinuerit, praevia abiuratione de vehementi in plena Congregatione S. Officii, condemnandum ad carcerem arbitrio Sacrae Congregationis, iniuncto ei ne de caetero, scripto vel verbo, tracter amplius quovismodo de mobilitate térrea nec de stabilitate solis et e contra, sub pena relapsus; librum vero ab eo conscriptum, cui titulus est Dialogo di Galileo Galilei Linceo, prohibendum fore [X. p. 360].

que toco con mis propias manos, juro que siempre he creído, creo ahora, y con la ayuda de Dios creeré en lo por venir, todo aquello que mantiene, predica y enseña la Santísima Católica y Apostólica Iglesia. Pero para que este Santo Oficio, por haber yo, después de haberseme hecho precepto de lo mismo que se me ha intimado jurídicamente de que debía dejar absolutamente la falsa opinión de que el Sol sea el centro del mundo y que no se mueva, y que la Tierra no sea el centro del mundo y que se mueva, y que no podía mantener, defender ni enseñar, fuese del modo que fuese, ni de palabra ni por escrito, la dicha falsa doctrina, y después de serme notificado que la dicha doctrina es contraria a la Sagrada Escritura, he escrito y dado a la imprenta un libro en el que trato esta misma doctrina ya condenada y aporto razones con mucha eficacia a favor de ella, sin aportar ninguna solución, y he sido juzgado vehementemente sospechoso de herejía, esto es de haber tenido y creído que el Sol sea el centro del mundo e inmóvil y que la Tierra no sea el centro y que se mueva; Por tanto, queriendo yo quitar de la mente de Vuestras Eminencias y de todo fiel cristiano esta sospecha vehemente, justamente concebida de mí, con corazón sincero y fe no fingida abjuro, maldigo y detesto los dichos errores y herejías, y en general todos y cada uno de los otros errores, herejías y sectas contrarias a la Santa Iglesia; y juro que en lo por venir, no diré nunca más ni mantendré, ni de palabra ni por escrito, cosa tal por la que se pueda tener de mí tal sospecha; y si conociera a algún herético o que sea sospechoso de herejía, lo denunciaré a este S. Oficio, o simplemente al Inquisidor u Ordinario del lugar donde trabajo⁸.

⁸ Io Galileo, figlio del q. Vincenzo Galileo di Fiorenza, dell' età mia d' anni 70, costituito personalmente in giuditio, et inginocchiato avanti di voi Eminentissimi et Reverendisimi Cardinali, in tutta la Republica Christiana contro l' heretica pravità generali Inquisitori; avenido davanti gl' occhi miei li sacrosanti Vangeli, quali tocco con le proprie mani, giuro che sempre ho creduto, credo adesso, e con l' aiuto di Dio credero per l' avvenire, tutto quello che tiene, predica et insegna la Sanctissima Cattolica et Apostolica Chiesa. Ma perchè da questo Sancto Officio, per haver io, dopo d' essemi stato con precepto dall' istesso giuridicamente intimato che omninamente dovessi lasciar la falsa opinione che il sole sia centro del modo e che non si muova e che la terra non sia centro del mondo e che si muova, e che non potessi tenere, difendere nè insegnare in qualsivoglia modo, nè in voce nè in scritto, la detta falsa dottrina e dopo d' essermi notificado che detta dottrina è contraria alla Sacra Scrittura, scritto e dato alle stampe un libro nel quale tratto l' istessa doctrina già dannata et apporto ragioni con molta efficacia a favor di essa, senza apportar alcuna solutione, sono stato giudicato vehementemente sospetto d' heresia, cioè d' haver tenuto e creduto che il sole sia centro del mondo et immobile e che la terra non sia centro e che si mueva; Pertanto, volendo io levar dalla mente delle Eminenze Vre. e d' ogni fedel Christiano questa vehemente sospitione, giustamente di me conceputa, con cuor sincero e fede non finta abiuro, maledico e detesto li sudetti errori et heresie, e generalmente ogni et qualunque altro errore, heresia e setta contraria alla Sancta Chiesa; e giuro che per l' avvenire non dirò mai più ne asserirò, in voce o in scritto, cose tali per le quali si possa haver di me simil sospitione; ma

Bochornoso. Profundamente bochornoso. Como católicos, es para avergonzarse. Y, por supuesto, el *Diálogo* de Galileo fue introducido en el Índice. Muchas veces se ha observado que, para cargarse de razón, los términos de la sentencia de 1633 interpretan las disposiciones de 1616 en el sentido más severo posible: la condena por hallarse a Galileo vehementemente sospechoso de herejía, no deja claro si es el copernicanismo doctrina vehementemente sospechosa de herejía (pero no herejía), o si es Galileo vehemente sospechoso de haber engañado al tribunal, ocultándole que en realidad ha defendido en su libro esa doctrina. Si es esto segundo, la sentencia se referiría al copernicanismo como herejía, algo mucho más grave que la calificación de 1616 como doctrina estulta y absurda en filosofía. Ciertamente es que un documento de la congregación del Índice, o una sentencia del Santo Oficio, no son ni de lejos magisterio pretendido infalible como tenían claro también entonces, por ejemplo, en carta de René Descartes, abril de 1634, al P. Marin Mersenne: “Sé bien que se podría decir que todo lo que los inquisidores de Roma han decidido no se convierte por ello en artículo inmediato de fe, y que para ello primero sería necesario que fuera aceptado por el Concilio”. Sin embargo no fueron simplemente “eclesiásticos” quienes dictaminaron, sino que fueron organismos de la Iglesia. No es magisterio infalible, está claro, pero los actos de estos organismos son magisterio, y el escándalo para los fieles de los siglos siguientes, especialmente los científicos, no puede ser minusvalorado, ni tomado a la ligera.

También supone agravamiento de 1616 la afirmación en la sentencia final del juicio –no la traemos aquí por ser muy larga– de que se le había prohibido mantener el copernicanismo en modo alguno (es decir, se atienen al documento que ellos guardan, donde dice “de cualquier modo” y no el que guardaba el propio Galileo, escrito de puño y letra por Bellarmino, donde esta expresión no aparece, y se dice que obra prudentemente si sigue tratando del copernicanismo como hipótesis); y también se interpreta del peor modo posible la acusación, apenas discutida aquí por parecerme de menor interés, de haber obtenido la licencia de impresión –el famoso “imprimatur”– con engaño. Galileo negó esto último con firmeza hasta el final de su vida, tanto ante el tribunal como en su correspondencia privada.

El tribunal le declara vehementemente sospechoso de herejía y le condena a cárcel formal [XIX, p. 283], aunque esta condena es inmediatamente con-

se conoscerò alcun heretico o che sia sospetto d' heresia, lo denontiarò a questo S. Offitio, o vero all' Inquisitore o Ordinario del luogo dove mi travarò” (XIX, pp. 402-407).

mutada por la de reclusión en su propia villa Belloesguardo, cerca de Arcetri, a unos veinte kilómetros de Florencia. Por cierto, contra lo que suele decirse, podemos afirmar con seguridad que Galileo no pasó ni una noche en una cárcel. Primero, porque sabemos que fue habilitado en Roma en el palacio del Duque de Etruria, y, después de juzgado, en Siena, en el palacio del Arzobispo; y también porque él mismo dice en carta a Diodati de 26 de enero de 1634 que siempre ha sido bien tratado y jamás ha visto una cárcel (por lo visto ya entonces existía el rumor).

Por último, ahora sí que se le prohibía, de modo explícito e inequívoco, volver a tratar del movimiento de la Tierra y de la quietud del Sol “quovismodo”, fuese del modo que fuese, y nada menos que “sub poena relapsus”, así que mejor dedicarse a su inacabada teoría del movimiento de los cuerpos, de cuando era joven. Es ahora cuando sus *Discursos sobre dos Nuevas Ciencias* de 1634 y 1637 presentan la teoría correcta, pues los “De Motu Antiquiora” como él los llamaba, de los años noventa, estaban mal. Hay noticia por una carta suya de 1609 [VIII p.281 G. a Belisario Vinta] de que ya entonces había entendido cómo debía corregirla, pero no lo había hecho debido a su encuentro con el telescopio. Y es principalmente por esta teoría correcta del movimiento –cinemática de graves y proyectiles que inspirará la dinámica de Newton– y no por su astronomía, en la que casi todos sus descubrimientos tienen al menos otro descubridor simultáneo, por lo que el nombre de Galileo se hará inmortal como precursor inmediato de Isaac Newton. Cierto es que nunca hubiera redactado su teoría correcta del movimiento –tan abandonada la tenía– sin ese retiro forzoso impuesto por la Iglesia, pero no vaya nadie a esgrimir esto ahora en defensa de lo indefendible, porque se trata de una mera casualidad o de una paradoja como tantas paradojas tiene la vida.

De lo que a continuación siguió, brochazos rapidísimos: en dos ocasiones suplican sus amigos al Papa la gracia de su liberación, y tan solo en marzo de 1638 se le permite un viaje corto a Florencia para ser tratado de su ceguera, iniciada en 1637 y que acabará siendo total. En aquel período de su vida, le cuidaba su muy amada hija Sor María Celeste hasta la muerte de ella, durísimo golpe del que el anciano padre ya nunca se repone. Pasa a cuidarle entonces su discípulo y primer biógrafo, el escolapio Viviani, y otros dos discípulos también escolapios. Muere en 1642. Se pide para él un monumento funerario, pero Urbano VIII lo deniega. “Porque ha muerto en penitencia” [XIX, p. 286].

Un siglo después, en el año 1725, James Bradley demuestra la hipótesis copernicana al observar la aberración de la luz: las estrellas ocupan posiciones ligeramente diferentes según las épocas del año, un fenómeno debido al movimiento de la Tierra (como las gotas de lluvia parece que nos llegan inclinadas, cuando nos movemos) Como consecuencia de ello, en 1741 se contestó afirmativamente a una petición de publicación de la obra completa de Galileo (no contenía la carta a la duquesa madre). En la nueva edición del Índice de 1758 no se incluye ya la prohibición general de los libros copernicanos, pero siguen las tres obras citadas de Copérnico, Diego de Zúñiga, Foscarini, Kepler y Galileo, pues la revocación de los decretos de 1616, 1619 y 1633 planteaba problemas jurídicos –esencialmente, reconocer que la Iglesia se había equivocado– por lo que esta derogación fue siendo aplazada *sine die* hasta llegar a extremos ridículos. Se llegó así a la situación bochornosa, en pleno siglo XIX, de que una obra astronómica del profesor de La Sapienza, Giuseppe Settele, viese denegada su impresión por el Maestro del Palacio Apostólico, P. Anfossi, quien a fecha de 1820 aún no se había enterado de que la Tierra se mueve. Pero el asunto sí que se movió, claro, y acabó en un decreto de 1822 en el que se amenaza con sanciones a ¡quienes intenten impedir la publicación de obras copernicanas! Galileo había predicho que un día ocurriría esto, y ocurrió.

OPINIÓN

Siempre he pensado que el mejor intérprete del caso Galileo ha sido el propio Galileo. Vuelve sobre el tema una y otra vez en las cartas desde su retiro, y desde luego acierta: su enemigo natural no fue la Iglesia, a la que el propio Galileo dice que siempre quiso servir, sino la “machina”, la liga de los “colombini”, los profesores laicos de la universidad que al final se llevaron el gato al agua, enemistándole con el mundo clerical. Y creo que su otro enemigo fue él mismo, su carácter primario, su falta de tacto, sus absurdas polémicas con los Padres Grassi y Scheiner que solo sirvieron para que perdiera el afecto de los padres jesuitas del colegio romano, que tanto le habían apoyado y tanta influencia tenían sobre el Papa, hasta acabar todo como acabó, perdiendo el afecto del Papa ¡el amigo que le había escrito una oda y le había defendido! Y, lo que es peor, Urbano VIII acabó viendo a Galileo como falso amigo, como alguien que se había burlado durante años de su persona, públicamente y con engaño. Por esto, todo lo que rodea su juicio tiene un tono de extrema severidad, solo matizada en atención al duque Cósimo de Venecia, protector de Galileo, con quien no

desea el Papa enemistarse. La razón de la severidad de 1633 es pues personal. “Si Galileo hubiese sabido mantener el afecto de los Padres de este colegio, viviría glorioso en el mundo, no hubiera sucedido ninguna de sus desgracias, y hubiese podido escribir al arbitrio de cualquier materia, incluido el movimiento de la Tierra”. Así cuenta Galileo a Diodato, en carta del 25 de julio de 1634, lo que el director del colegio romano, Padre Griemberger, había confiado a un amigo suyo [G. a Guiducci, 26-VII-34, cfr. Magalotti a Guiducci, 4-IX-32 y 26-VII-34]. Con todo, creo que este argumento personal no exonera en modo alguno a los organismos de la Iglesia que le juzgaron. Lo que al final importa es que, aun supuestos para materias religiosas aquellos métodos de la Inquisición que profundamente turban hoy nuestro corazón de católicos, el hecho es que se dio en este caso un especial abuso de poder, en el que la Iglesia invade un terreno totalmente ajeno a su competencia.

Tampoco exonera a estas instituciones eclesiásticas el hecho innegable de que Galileo cometiera errores de libro, tanto errores estratégicos como errores plana y sencillamente científicos. Por ejemplo, los argumentos que aportaba –las manchas solares y las mareas oceánicas–. Ambos eran falsos. En cambio, aunque llegó a mencionar lo de los vientos alisios y contra-alisios, que ese sí es argumento verdadero, no insistió en ello (aunque en realidad poco podía insistir, pues los pocos datos de entonces no tenían fuerza demostrativa). Sin embargo, el principal argumento a disposición entonces, que no demuestra la tesis de Copérnico pero da evidencia de ella, son las tres leyes de Kepler. Pues bien, Galileo nunca las mencionó, porque nunca leyó a Kepler –no pasó de las primeras páginas de su primera obra⁹–. Y error científico fue plantear el debate como cuestión entre copernicanismo y sistema ptolemaico. Claro, así cualquiera puede, oponiendo al sistema propio un sistema que estaba ya refutado desde el hallazgo de las fases de Venus. Y es que Galileo siempre esquivó lo que era quid de la cuestión y razón de su extrema dificultad y de que el copernicanismo fuese todavía una hipótesis: que los dos sistemas confrontados eran copernicanismo y sistema tiónico y ambos eran entonces ¡matemáticamente indistinguibles! E indistinguibles fueron hasta que se encontró la aberración de la luz un siglo después.

⁹ Aunque, la verdad, hay que disculparle, porque Kepler escribe de forma muy farragosa, mezclando sus geniales hallazgos con consideraciones infumables de cómo los planetas se corresponden con los poliedros regulares y cosas por el estilo. De Kepler decía Galileo que ni el propio Kepler lo entendía, y quizá no le faltara razón.

Lo que más en serio se dice en favor de quienes prohibieron la enseñanza del copernicanismo, no con la intención de exculpar sino de dejar la culpa en su justo lugar, es que al menos en el terreno científico la parte eclesiástica tuvo razón (aunque, paradójicamente, no la tuvo en el propio terreno religioso, al no comprender que la religión no debe invadir el terreno científico). En este sentido, se dice que tenían razón los eclesiásticos al no permitir que se enseñase el copernicanismo como verdad probada sino solo como hipótesis, como teoría probable, pues las pruebas aportadas hasta entonces eran falsas. Con mi mayor respeto y estimación hacia personas que han expresado esta opinión –intencionadamente hablo aquí solo de opiniones y no de opinantes– creo que esto no es así. Hay en la actualidad un malentendido, y creo que la raíz de ese malentendido es el distinto sentido que tenía entonces y tiene ahora la palabra “hipo-tesis” (de raíces $\upsilon\pi\omicron$ + $\tau\iota\theta\epsilon\iota\mu\iota$, traducible como sub + ponere, o sea “suppositio”, por ejemplo al decir “ex suppositione”, que es lo mismo que decir “por hipótesis”). En la actualidad significa, nadie lo duda, lo que antes hemos dicho: una afirmación sobre la naturaleza que se cree cierta, pero aún no se ha probado. Pero en aquella época significaba algo muy distinto: por hipótesis se entendía una ficción útil para el cálculo matemático (“una fantasía”, como decía Galileo). Por ejemplo, cuando Eudoxo pone en el siglo IV a.C. las esferas celestes cuyo movimiento arrastra a los astros, una para cada planeta, otra para el Sol, otra para las estrellas..., no es que este matemático genial creyera que esas esferas existen realmente, sino que proponía esa ficción para mejor echar las cuentas en astronomía. Pero inmediatamente después llegó Aristóteles y las tomó por esferas reales, y se llega así a la visión medieval, ingenua y bellísima, de los coros angélicos cantando alabanzas al Creador mientras hacen girar las esferas celestiales. Por eso fastidió tanto a un Copérnico moribundo que le impusieran como prólogo de su libro que todo lo allí escrito no era sino mera hipótesis. Porque hipótesis no significaba que no estuviese demostrado –que ciertamente no lo estaba– sino que el autor solo pretendía aquello como ficción para el cálculo, cuando la sustancia del libro de Copérnico es que todo eso debe ser verdad. Por esta razón, cuando Bellarmino exige a Galileo que enseñe el movimiento de la Tierra como una hipótesis, añadiendo además que así lo había propuesto el propio Copérnico, su exigencia debió resultar inaceptable a Galileo –él nunca creyó que el prólogo fuese de Copérnico– o al menos le resultó muy difícil obedecer (tan difícil que no obedeció y con “justicia” fue por ello después condenado). ¡Lo que le estaba prohibiendo era enseñarlo siquiera como verdad probable! Veamos, si no, las palabras exactas del propio Bellarmino en su famosa carta a Foscarini:

“1º Digo que me parece que Usted y el Señor Galileo obran con prudencia al contentarse con hablar “ex suppositione” y no absolutamente, como siempre he creído que había hablado Copérnico. Porque decir que supuesto que la Tierra se mueve y el Sol esté fijo se salvan todas las apariencias mejor que con las excéntricas y los epiciclos está muy bien dicho, y no hay en ello peligro alguno; y esto basta al matemático: Pero querer afirmar que realmente esté el Sol en el centro del mundo, y solo rote sobre sí mismo sin correr desde el Oriente hasta el Occidente, y que la Tierra esté en el tercer cielo y gire con suma velocidad entorno al Sol, es algo que corre mucho peligro no solo de irritar a todos los filósofos y teólogos escolásticos, sino también de perjudicar a la Santa Fe al hacer falsas las Sagradas Escrituras (...).

3º Digo que cuando hubiese verdadera demostración de que el Sol esté en el centro del mundo y la Tierra en el tercer cielo, y que el Sol no circunda a la Tierra, sino que la Tierra circunda al Sol, entonces haría falta andar con mucha consideración al explicar las Escrituras que hablan contrariamente, y más bien decir que no las entendemos antes que decir que sea falso aquello que se demuestra. Pero no creeré que exista tal demostración, hasta que no me sea mostrada: no es lo mismo demostrar que supuesto que el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo se salven las apariencias que demostrar que de verdad el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo; porque la primera demostración creo que pueda darse, pero de la segunda tengo grandísima duda, y en caso de duda no se debe dejar la Escritura Santa expuesta por los Santos Padres”¹⁰.

¹⁰ *“1º Dico che mi pare che P. V. et il Signor Galileo facciano prudentemente a contentarsi di parlare ex suppositione e non assolutamente, come io ho sempre creduto che habbia parlato il Copernico. Perché il dire, che supposto che la Terra si muova et il Sole stia fermo si salvano tutte l'apparenze meglio che con porre gli eccentrici et epicicli, è benissimo detto, e non ha pericolo nessuno; e questo basta al mathematico: ma volere affermare che realmente il Sole sia nel centro del mondo, e solo si rivolti in sé stesso senza correre dall'Oriente all'Occidente, e che la Terra stia nel terzo cielo e giri con somma velocità intorno al Sole, è cosa molto pericolosa non solo d'irritare tutti i filosofi e theologi scholastici, ma anco di nuocere alla Santa Fede con rendere false le Scritture Sante. (...).*

3º Dico che quando ci fusse vera dimostratione che il Sole stia nel centro del mondo e la Terra nel terzo cielo, e che il sole non circonda la terra, ma la terra circonda il sole allhora bisogneria andar con molta consideratione in esplicare le Scritture che paiono contrarie, e più tosto dire che non l'intendiamo che dire che sia falso quello che si dimostra. Ma io non crederò che ci sia tal dimostratione, fin che non mi sia mostrata: né è l'istesso dimostrare che supposto ch' il Sole stia nel centro e la Terra nel cielo, si salvino le apparenze, e dimostrare che in verità il Sole stia nel centro e la Terra nel cielo; perché la prima dimostratione credo che ci possa essere, ma della seconda ho grandissimo dubbio, et in caso di dubbio non si deve lasciare la Scrittura Santa esposta da' Santi Padri”[Bellarmino a Foscarini, 12-IV-15].

Y ya que Bellarmino pide que se haga de la obra de Copérnico el uso indicado en su propio prólogo “Al lector, sobre las hipótesis de esta obra”, quizás sea momento ya de transcribirlo aquí por completo para mejor comprender la lectura que se pedía de la tesis copernicana:

“No dudo de que algunos eruditos, divulgada ya la fama de la novedad de las hipótesis de esta obra, que pone a la Tierra móvil, y el Sol en medio del universo, estén muy ofendidos y piensen que no conviene turbar las disciplinas liberales constituidas rectamente desde hace tiempo.

Pero si quieren tomar la cosa con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra nada ha cometido que merezca reproche. Pues es propio de los astrónomos colegir de la meticolosa observación la historia de los movimientos celestes. Después, imaginar y fingir causas de éstos, o hipótesis —ya que las causas verdaderas por ninguna razón pueden ser alcanzadas—, supuestas las cuales puedan calcular rectamente, desde principios geométricos, este movimiento, tanto en el futuro como en el pasado. De ambos se ha ocupado aquí el autor de modo admirable. No necesitan estas hipótesis ser verdaderas, ni siquiera verosímiles, sino que únicamente basta que exhiban un cálculo acorde con las observaciones, no sea que algún geómetra u óptico sea tan ignorante que tome el epiciclo de Venus como verosímil, o crea ser la causa de que en cuarenta partes [del círculo completo] tanto precede al Sol como le sigue. ¿Quién pues no ve que, puesto esto, se sigue que es necesario que el diámetro de una estrella en el perigeo aparezca cuatro veces más grande que en el apogeo, y el cuerpo mismo más de seis veces mayor, lo que está en contradicción con toda la experiencia de hace muchísimo tiempo? Hay también en esta disciplina otros absurdos no menores, que no es necesario presentar aquí. Suficientemente claro está que este arte simplemente ignora las causas de los desiguales movimientos de las apariencias [de los astros]. Y si él las imagina en ficción para llegar a imaginar muchísimas cosas, no es que las imagine para intentar persuadir a alguien de ellas sino tan solo para constituir rectamente el cálculo. Ya que para explicar uno y el mismo movimiento, se ofrecen varias hipótesis (como para el movimiento solar, la excentricidad y el epiciclo) el astrónomo puede escoger con gran libertad la de más fácil comprensión. Quizá el filósofo exija mayor verosimilitud; sin embargo nadie puede comprender esto ni darlo a conocer con certeza, a menos que le fuere divinamente revelado. Demos pues a conocer también estas nuevas hipótesis entre las antiguas no más verosímiles, ya que son a la vez fáciles y admirables, y conducen a un tesoro de doctísimas observaciones. Y que nadie, en lo que concierne a las hipótesis, espere nada cierto de la astronomía, pues ésta no pretende presentar nada de este modo, no sea que tome por verdaderas las cosas confeccionadas para otro uso, y salga de esta disciplina más ignorante que cuando entró. Vale.”¹¹

¹¹ Ad lectorem de hypothesisibus huius operis

Non dubito, quin eruditi quidam, vulgata iam de novitate hypotheseon huius operis fama, quod terram mobilem, solem vero in medio universi immobilem constituit, vehementer sint offensi, putentque disciplinas liberales recte iam olim constitutas turbare non oportere. Verum si rem exacte perpendere volent, invenient authorem huius operis nihil, quod reprehendi mereatur, commisisse.

Se puede poner la objeción a las pruebas que aquí presento de que solo cito a Roberto Bellarmino y el prólogo de Andreas Osiander al que éste remite, que al fin y al cabo son solo interpretaciones oficiosas, pero no oficiales, de la posición de la Iglesia. Por eso me parece oportuno citar también un documento oficial, la sentencia misma de Galileo en 1633:

“Encontrada expresamente la transgresión del precepto antes dicho que te fue hecho, venido tú en el mismo libro a difundir la dicha opinión ya condenada y como tal declarada en presencia tuya, sucede que tú en dicho libro con varios razonamientos te esfuerzas en persuadir de que dejas como indeciso y probable lo que es un error gravísimo, no pudiendo de ningún modo ser probable una opinión declarada y definida como contraria a la Escritura divina”¹².

Est enim astronomi proprium, historiam motuum coelestium diligenti et artificiosa observatione colligere. Deinde causas earundem, seu hypotheses, cum veras assequi nulla ratione possit, qualescunque excogitare et confingere, quibus suppositis iidem motus ex geometriae principiis, tam in futurum, quam in praeteritum recte possint calculari. Horum autem utrumque egregie praestitit hic artifex. Neque enim necesse est, eas hypotheses esse veras, imo ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum, si calculum observationibus congruentem exhibeant, nisi forte quis geometriae et optices usque adeo sit ignarus, ut epicyclium Veneris pro verisimili habeat, seu in causa esse credat, quod ea quadraginta partibus, et eo amplius, solem interdum praecedat, interdum sequatur. Quis enim non videt, hoc posito, necessario sequi, diametrum stellae in perigeo plusquam quadruplo, corpus autem ipsum plusquam sedecuplo maiora, quam in apogeo apparere, qui tamen omnis aevi experientia refragatur? Sunt *et alia* in hac disciplina non minus absurda, quae in praesentiarum excutere nihil est necesse. Satis enim patet, apparentium inaequalium motuum causas, hanc artem penitus et simpliciter ignorare. Cum autem unius et eiusdem motus, variae interdum hypotheses sese offerant (ut in motu solis eccentricitas et epicyclium) astronomus eam potissimum arripit, quae comprehensu sit quam facillima. Philosophus fortasse verisimilitudinem magis requiret; ne uter tamen quicquam certi comprehendet, aut tradet, nisi divinitus illi revelatum fuerit. Sina- mus igitur et has novas hypotheses inter veteres nihilo verisimiliores innotescere, praesertim cum admirabiles simul et faciles sint, ingentemque thesaurum doctissimarum observationum secum advehant. Neque quisquam, quod ad hypotheses attinet, quicquam certi ab astronomia expectet, cum ipsa nihil tale praestare queat, ne si in alium usum conficta pro veris arripiat, stultior ab hac disciplina discedat quam accesserit. Vale [Copérnico].

¹² *“Trovata expresamente la transgressione del predetto precepto che ti fu fatto, avenido tu nel medesimo libro difusa la detta opinione già dannata et in faccia tuya per tale dichiarata, avvenga che tu in detto libro con varii ragiri ti studii di persuadere che- tu la lasci come indecisa et espesamente probabile, il che pur è errore gravissimo, non potendo in niun modo esser probabile un’ opinione dichiarata e definita per contraria alla Scrittura divina” [XIX, p.411].*

No podía ser tenida como “probable”, no podía ser conjetura o hipótesis en el sentido actual de la palabra –hipótesis física, sobre la naturaleza–, una opinión declarada como contraria a la Escritura en el Decreto de 5 de marzo de 1616. Creo que esto echa por Tierra la actual interpretación, benévola y apologética, de que la Iglesia, con el Decreto de 1616, aún permitía tratar el movimiento telúrico como “hipótesis” en el sentido actual de la palabra, es decir, como algo aún por probar. De hecho, es impensable que los teólogos de la Comisión de 1616, que despacharon el asunto en una mañana, examinaran las pruebas aportadas por Galileo pero encontrarán, con mayor perspicacia que el propio matemático, que eran falsas. ¿Cómo iban a detenerse a examinar si había verdad en una afirmación que ellos mismos declaraban absolutamente opuesta a la Escritura? Desde luego, la prueba de las mareas, imposible que la considerasen pues la presentó Galileo *in extremis*, y llegó a manos del Papa un lunes por la mañana, a la misma hora en que ya estaba reunida la Congregación del Índice de 1616. Sin embargo, es mencionada explícitamente como “prueba falsa” en la acusación de 1633, cuando ya se había oído hablar bastante de su debilidad, pues los períodos de las mareas no cuadran bien con la duración del día y del año (su composición de las tendencias centrífugas – sobre el agua y no sobre la Tierra– correspondientes a los dos giros predice una y no dos mareas al día; y el influjo lunar no aparece en la explicación de Galileo, en particular la experiencia de mareas vivas y muertas, durante el mes lunar. Kepler es el primero que sospecha que la verdadera causa de las mareas es cierta fuerza de atracción de la Luna sobre la masa de los océanos, pero Galileo, aunque siempre expresó su admiración por Kepler, vio en esto un desvarío senil). Pero tampoco es totalmente cierto que Galileo tuviese siempre esas falsas pruebas por absolutamente concluyentes, aunque a veces lo expresó así. En el *Diálogo*, el autor aparece consciente de las limitaciones de su propia demostración, la cual solo daría a la opinión copernicana un alto grado de probabilidad. La desobediencia de Galileo –el “delito” por el que fue “justamente” condenado– no consistió en haber mantenido la opinión copernicana. *Su desobediencia consistió en haber mantenido el copernicanismo como opinión probable.*

Por eso, más que de un malentendido del pasado aclarado en el presente, creo que se trata de un malentendido del presente acerca del pasado, y mi tesis es que la raíz de ese malentendido está en el doble sentido del término “hipótesis”. Para dar una idea de la confusión reinante en torno a esta palabra –en el siglo XVII no había equívoco alguno– recordaré que en la traducción inglesa de la excelente obra de Annibale Fantoli *Galileo: per il Copernicanismo e per la Chiesa*, la

actual obra de referencia y última palabra sobre el tema, en el texto crucial, antes citado en italiano, en que Galileo declara al tribunal la prohibición que le hizo personalmente Bellarmino, de las tres ocasiones en que Galileo dice “ex suppositione”, en dos de ellas ha sido traducida esta palabra al inglés por “conjecture”, justo lo que no significaba entonces¹³. Y en la tercera ocasión, al azar, sin que se vea para ello razón alguna, se deja la palabra tal cual, sin traducir:

“The Lord Cardinal Bellarmine signified to me that the aforesaid opinion of Copernicus might be held as a conjecture, as it had been held by Copernicus, and His Eminence was aware that, like Copernicus, I only held that opinion as a conjecture, which is evident from an answer of the same Lord Cardinal to a letter of Father Paolo Antonio Foscarini, provincial of the Carmelites, of which I have a copy, and in which these words occur: “It appears to me that Your reverence and Signor Galileo act wisely in contenting yourselves with speaking ex suppositione and not with certainty” This letter of the Cardinal is dated April 12, 1615. It means, in other words, that the opinion taken absolutely, must not be either held or defended (XIX, 339; tras. de Santillana 1955, 238-239)”

Esto sucede en la traducción de una obra de referencia sobre el tema a cargo de tan lúcido experto como George Coyne, pero que ha mantenido traducciones anteriores de los textos. Así es imposible aclararse. Así comprendo que la autoridad para mí más respetada haya podido ser inducida a error por este equívoco.

También quiero presentar, en la dirección opuesta, una crítica a la extendida opinión de que el caso Galileo supuso un freno para la astronomía, una rémora para la Ciencia. Esto es falso e injusto, y una ingratitud para con la Iglesia, pues la realidad es muy la contraria, como sabe cualquier conocedor de la conservación de la cultura antigua y de la gestación medieval de la ciencia moderna, fundamentalmente entre clérigos, en aquellas universidades que fueron evolución natural de las escuelas monacales y catedralicias y se nutrieron de una ingente multitud de copias de manuscritos antiguos realizadas por los monjes medievales. La acusación de que el caso Galileo frenara la ciencia astronómica tampoco

¹³ Si consultamos el Merriam-Webster Dictionary veremos que declara “conjecture” como equivalente a “supposition”. Y “supposition” como “something that is supposed: Hypothesis”. En efecto, recordemos estas palabras en las expresiones “Conjetura de Poincaré”, o “Hipótesis de Riemann”, donde significan lo mismo. Pero aunque estos términos, “conjetura” e “hipótesis”, son equivalentes ahora, en el siglo XVII significaban cosas muy distintas, pues el sentido de la primera palabra no ha cambiado, y el sentido de la segunda, al menos en la comunidad científica, sí.

tiene base, pues el problema estaba solo en el “intrare nelle Scritture”, como escribía Bellarmino a Foscarini en las “Considerazioni circa l’opinione copernicana” de 12 de abril de 1625 [Dini a G. 7 de marzo de 1616; Ciampoli a G., del 21 de marzo]. Esta es también la postura del cardenal Maffeo Barberini, después Urbano VIII. Mientras se tratase de libros científicos se sobrentendía que aquello era hipótesis, de modo que en el período posterior a la condena de Galileo los libros de astronomía daban por supuesto el sistema de Copérnico sin siquiera molestarse en decir que era hipotético.

Y más prohibiciones de la Iglesia Católica en materia de Ciencia no ha habido. El caso de Galileo es único, y ésa es la razón de que se ponga siempre el mismo ejemplo como constatación de la “constante oposición de la Iglesia a la Ciencia”: la razón de ello es que no hay otro caso. El de Giordano Bruno, con todo lo que tiene de escándalo para cualquier creyente que aquel atrevido pensador fuera quemado vivo por la Inquisición católica por defender sus ideas, no vale como contraejemplo de mi afirmación, pues Bruno no era científico. Y el otro que se suele citar, Miguel Servet, tampoco me vale, pues no fue quemado por católicos sino por Calvino, estando él mismo presente.

Con todo, quiero advertir que me refiero a teorías científicas. Lo que digo es que nunca más se ha opuesto ninguna carta pastoral ni ningún tribunal eclesiástico a ninguna teoría científica –se aprendió pronto del caso Galileo- pero esto no significa que la Iglesia no se haya opuesto, y no se oponga actualmente, como creo que debe oponerse, a ciertas praxis científicas. Porque la praxis atañe a la moral, y eso sí interesa a cuantos prestamos atención a la enseñanza de la Iglesia. Y no solo atañe a la Iglesia sino a cualquiera que tenga sentido moral y comprenda que hay prácticas incompatibles con la dignidad humana. Pocos hay que justificarían los experimentos del Doctor Mengele en los campos de concentración nazi, aunque estos hayan podido suponer algún avance para la ciencia. Como tampoco invade el magisterio de la Iglesia el terreno científico cuando se opone a interpretaciones materialistas de alguna teoría científica, por ejemplo al oponerse a una interpretación materialista del evolucionismo, pues no es ella misma evolucionismo, sino una filosofía. Al oponerse a ella, no se opone la Iglesia a teoría científica alguna sino a una filosofía materialista.

Y en cuanto a este caso singular, únicamente podemos decir con la mejor intención y en descargo de las personas que estrepitosamente erraron, que todo aquello sucedió en momentos en que la ciencia moderna estaba naciendo. Su

estado de gestación estaba a punto de culminar y pronto iba a dar a luz los *“Philosophiae naturalis principia mathematica”*, 1687, año cumbre en la historia de la Humanidad. Había astronomía –pura matemática– y había filosofía, pensamiento puramente racional sin ayuda de experimentación. Pero estaba naciendo un modo nuevo de conocer, un modo en que el razonamiento se entrecruza con la experimentación. Un modo por el que puede ser mañana verdad lo que hoy solo es verdad probable. Lo que hoy resulta indistinguible, quizá por la experimentación pueda ser distinguido mañana. Recuérdense las palabras de Bellarmino antes citadas: *“No es lo mismo demostrar que supuesto que el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo se salven las apariencias que demostrar que de verdad el Sol esté en el centro y la Tierra en el cielo; porque la primera demostración creo que pueda darse, pero de la segunda tengo grandísima duda”*. Lo que caía fuera de su alcance, del mundo mental de Roberto Bellarmino, era el naciente método experimental como base de la nueva filosofía natural¹⁴.

¹⁴ Debo agradecer esta observación al Dr. Manuel García Doncel, así como su generosidad en las conversaciones y correspondencia que hemos mantenido, y en particular su meticulosa y acertada crítica a este manuscrito. Él llamó mi atención sobre la iluminante conferencia de Maurice Clavelin en el Eurosynposium Galileo 2001 [Clavelin] en la que este tema está tratado magistralmente. Y le agradezco que me permita transcribir aquí su propio comentario, cruzado con la terminación de mi escrito:

“Yo creo que Belarmino, como la mayor parte de los académicos de su tiempo, está convencido de que en el orden natural (no teológico), no hay más que dos tipos de conocimiento: el del filósofo natural y el del matemático. Y como Copérnico en el De Revolutionibus no es filósofo natural, ha de ser matemático, y hablar necesariamente “ex suppositione”. Belarmino había de sentirse en esto bien seguro al leer el prefacio de Osiander. (Belarmino sin duda leyó ese prefacio; lo que nunca he logrado averiguar es si pudo sospechar que no era de Copérnico. Pero, aunque supiera que era de Osiander, le confirmaría en su convicción, al menos como testimonio de un académico de otro ambiente cultural y profesional muy distinto, que hablaba así, no solo del De Revolutionibus, sino de lo que podemos “esperar de la astronomía”).

a. Solo bajo esa mentalidad puedo entender que el De Revolutionibus sea puesto en el Índice “donec corrigatur”, y no absolutamente, como los textos de Foscarini y Zúñiga (que no eran matemáticos, sino filosóficos o teológicos). Pues si el libro es matemático y profesa hablar “ex suppositione”, bastará corregir los descuidos en que se haya olvidado de esa profesión (y yo no imagino que Belarmino ni los censores teólogos pudieran leer más allá del primer capítulo). Dejándolo todo él “ex suppositione”, no hay ni que tenerlo en cuenta en la exégesis bíblica.

b. Y solo bajo esa mentalidad entiendo la enorme dificultad de Belarmino en creer que se pueda encontrar una “prueba”. Pues, para Belarmino, la prueba ha de ser filosófica, y no existía un sistema de filosofía natural en el que concebir el razonamiento de esa prueba. (Galileo, en cambio,

Bien, pues demos fin a este escrito. Quiero hacerlo subrayando que no ha habido más casos, quizá porque la Iglesia aprendió pronto de su error. Bueno es aprender de nuestros errores. Pero hay que reconocerlos. La verdad es siempre la mejor apologética.

REFERENCIAS

- Brandmüller, W. (1982).** Galilei und die Kirche oder Das Recht auf Irrtum. Regensburg, Pustet. Traducción española por Elisabeth Wannick: Galileo y la Iglesia Ediciones Rialp. Madrid.
- Cópernico, N. (1543).** De revolutionibus orbium coelestium. Traducción española: “Sobre las revoluciones de los orbes celestes” Tecnos (1987)
- Clavelin, M. (2001).** Galilée astronome philosophe. En “Largo campo di filosofare”, Eurosymposium Galileo 2001. Eds: J. Montesinos y C. Solís. La Orotava, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, pp. 19 -39
- Coyne, G. V. y Baldini, U. (1984).** The Young Bellarmine’s Thoughts on World Systems. En The Galileo Affair: A Meeting of Faith and Science. Publicaciones del Observatorio Vaticano, distribuídas por la Libreria Editrice Vaticana, pp. 103-110
- Drake, S. (1990).** Galileo: Pioneer Scientist. Toronto: University of Toronto Press.
- Fantoli, A. (1997) Galileo.** Per il Copernicanesimo e per la Chiesa. Vaticano: Librería Editrice Vaticana. Traducción inglesa por G. V. Coyne: For

dentro de su incipiente método empírico-formal, buscaba la «prueba» como contrastación de nuevas predicciones de la “hipótesis copernicana”):

Para mí, respecto a este tema, el gran «pecado» de Belarmino (perdonable mirando a su pasado, pero desgraciado mirando a su futuro), es precisamente la incomprensión de que se estaba elaborando ese nuevo método empírico-formal, un *tertium quid* que rompía su alternativa simplista “matemática-filosofía” (al utilizar formalismo matemático para descubrir nueva «realidad» física). A mí me convenció de esta argumentación la conferencia de Clavelin en el Eurosymposium sobre Galileo en 2001. Ese pecado implica un cierto menosprecio de lo que hoy denominamos ciencias, el cual puede tener relación con lo de sus *Lecciones de Lovaina*: solamente “conoceremos la auténtica configuración del firmamento *quando super illud ascenderimus*” y con el argumento teológico de Urbano VIII.

Copernicanism and for the Church. University of Notre Dame Press. Notre Dame, Indiana.

Galilei, G. (1890-1909). Edizione Nazionale delle Opere di Galileo Galilei. 20 volúmenes. Ed. Antonio Favaro. Reimpresa en 1968. Florencia: Giunti Barbèra

Gingerich, O. (2004). The book nobdy read. Chasing the Revolutions of Nicolaus Copernicus. Walker & Company. New York.

Juan Pablo II (1979). Discurso en el centenario del nacimiento de Albert Einstein. Acta Apostólica Sedis. Vaticano: Tipografía Poliglotta Vaticana. Vol. 71, 1464

Juan Pablo II, (1992). Discurso con ocasión de la Sesión Plenaria de la Academia Pontificia de las Ciencias y Conclusión del trabajo de la Comisión de Estudio de la Controversia Ptolemaica-Copernicana, en los “Discorsi dei Papi alla Pontificia Accademia delle Scienze” Vaticano: Academia Pontificia de las Ciencias. pp.271-280

Kepler, Johannes (1937-1993). Gesammelte Werke. Eds: M. Caspar y F. Hammer Munich: C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung

Luther, M. (1916). Martin Luthers Werke. Tischreden IV. Weimer, 1916

Montesinos, J. y Solís, C. (eds.) (2001). Largo Campo di Filosofare, Eurosymposium Galileo. La Orotava. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.

Pedersen, O. (1983). Galileo and the Council of Trent. Studi Galileani, vol. 1, nº1, Specola Vaticana.

Poupard, P. (ed.) (1984). Galileo Galilei, 350 Anni di Storia 1633-1983. Casale Monferrato: Edizioni Piemme.

Sanchez de Toca, M. (2000). Un doble aniversario: XX aniversario de la creación de la Comisión de Estudio del Caso Galileo y X de su clausura. Ecclesia, Revista de Cultura católica. Roma, Pontificio Ateneo, Regina Apostolorum, XIV, n. 2, 2002, pp.141-168

Sols, I. y J.P. Camacho (1993). El proceso al copernicanismo y a Galileo. Atlántida, Julio/Septiembre 1993, vol. IV, nº 15, pp. 161-275

ORIGEN Y CREACIÓN EN EL UNIVERSO DEL BIG BANG

Marco Bersanelli

Departamento de Física de la Universidad de Milán, Italia

Breve CV

Marco Bersanelli es catedrático de Astronomía y Astrofísica y Director de la escuela de Doctorado en Física de la Universidad de Milán, donde investiga en cosmología. Ha participado en numerosos experimentos sobre esta materia, incluyen dos expediciones a la estación Amundsen-Scott del Polor Sur. Actualmente es uno de los líderes de la misión Planck de la Agencia Espacial Europea, lanzada en 2009, que intenta estudiar el inicio del universo. Además de publicar numerosos artículo científicos, es autor de varios libros y ensayos interdisciplinarios, incluyendo *De Galileo a Gell-Mann* (Templeton Press, 2009) sobre la aventura de la investigación científica. Es director científico de Euresis, una asociación que promueve la ciencia como una expresión de la búsqueda de la belleza y el significado último de la realidad.

Abstract

All ancient civilizations wondered about the nature of celestial objects and developed mythological accounts for the origin of an ordered cosmos from a primordial substance (water, chaos, etc.). The Judeo-Christian tradition introduced an entirely new concept of creation, by which the universe (all that is, every creature, each instant of time) emerges from nothingness by the free act of a loving and rational God. Modern science has developed a remarkably faithful description of the physical processes responsible for the formation of the basic structures in the universe, from planetary to cosmic scales. While several issues

are still open and pose serious challenges, we can describe in coherent physical terms the main stages of cosmic evolution. Initially the universe was characterised by a state of extreme simplicity, with high temperature and density, with slight density perturbations which acted as gravitational seeds for structure formation. The combination of cosmic expansion and of a variety of physical processes acting at local scales produced a series of transitions to increasingly complex systems. Cosmological observations now underway are producing a snapshot of the early universe with unprecedented detail, shedding new light on the physics at work some 14 billion years ago, just a tiny fraction of a second after the Big Bang. Thus scientific cosmology has superseded the mythological accounts of ancient cultures, by providing a rational description of the origin of structures through the wonderful fabric of natural laws. On the other hand, modern science leaves untouched the big question of creation: What is the ultimate source of all-that-is? Why reality (including space-time), instead of non-reality? Furthermore, modern cosmology arouses new fundamental questions: Why is the universe suitable for life and consciousness? What is the nature of physical laws driving cosmic evolution? What makes our understanding of the universe possible?

Palabras clave

Big Bang, astronomía, Creación, Biblia.

EL COSMOS DE LA ANTIGÜEDAD

Cuesta imaginar lo impresionados que debían sentirse los hombres de la Antigüedad al observar el firmamento nocturno. Incontables generaciones han crecido fascinadas por la grandeza del firmamento, sin que hubiera inteligencia capaz de comprender ni lenguaje de expresar, ni siquiera vagamente, la naturaleza física de los cuerpos celestes. Desde los primeros tiempos de la humanidad, la regularidad de los ciclos solares y lunares cautivó la atención de los hombres prehistóricos, tal y como demuestran los hallazgos arqueológicos de hace unos 20.000 años (ver, por ejemplo, Marshack, 1991). Se sabe que hace 10.000 años, las poblaciones de las ciudades-estado del Mediterráneo ya dirigían la vista al cielo (Abrams, 1991). A partir del año 3000 a.C. aparecieron los primeros calendarios precisos egipcios y sumerios y los babilonios desarrollaron sofisticados cálculos aritméticos que les permitían seguir el movimiento de las estrellas y los

planetas. Existen pruebas históricas concluyentes de que el cielo era un elemento clave en la vida y el imaginario de los pueblos antiguos de todo el mundo. Existen fascinantes restos megalíticos que datan del periodo comprendido entre el 4000 y el 2000 a.C. a los que se atribuye un significado astronómico, como los de Nabta Playa en el desierto del Sáhara, Rujm-al-Hiri en los Altos del Golán o Stonehenge en Gran Bretaña, cuya construcción requirió de enormes esfuerzos y de la tecnología más avanzada del momento. A partir del 2000 a.C., las civilizaciones mesoamericanas precolombinas comenzaron también a construir grandes emplazamientos astronómicos como El Castillo o Xochicalco. Los mayas veneraban la Vía Láctea y a Venus, compañera del Sol, y parece que fueron capaces de avistar la nebulosa de Orión sin la ayuda de ningún instrumento. En el Lejano Oriente, los astrónomos de varias dinastías chinas realizaron descripciones muy precisas de determinados acontecimientos astrológicos, como novas, supernovas, grandes manchas solares, cometas (incluido el paso del Halley en el año 613 a.C.), y en el año 2136 a.C. elaboraron el primer informe sobre un eclipse solar del que se tiene constancia. Algunas de las mediciones realizadas por los primeros astrónomos de la cuenca mediterránea sorprenden por su exactitud. Por ejemplo, los babilonios midieron el ciclo de Venus (de alrededor de 584 días) con un margen de error de 0,5%, y los egipcios alinearon las pirámides hacia el norte con gran exactitud gracias a un ingenioso método que se descubrió hace tan solo unos años (Gingerich, 2000).

Esta apreciación de la belleza y la regularidad de los fenómenos astronómicos es un claro antecedente de lo que hoy en día llamamos ciencia. La contribución de los primeros observadores fue clave a la hora de desarrollar una relación de familiaridad con el firmamento y una conciencia del orden del universo; sin embargo, estos pueblos no buscaban una explicación a los movimientos que de los cuerpos celestes a través de un modelo físico o geométrico, y además no parece que sintieran la necesidad de hacerlo. Por el contrario, un elemento común de las muy diversas sensibilidades y tradiciones del Mundo Antiguo fue identificar el cielo como la morada de los dioses, el punto de origen y de destino de la vida humana. Distintos grupos étnicos veneraban al Sol, a la Luna, a Venus, a la Vía Láctea y a otros cuerpos celestes como deidades primarias y desarrollaron diversos mitos, rituales y formas de expresión artística que ponen de manifiesto la existencia de una profunda conexión entre el cielo y el origen y el destino de los hombres.

POR QUÉ EL CIELO

Resulta interesante preguntarse por qué, entre todos los elementos naturales, los pueblos de la antigüedad eligieron siempre el cielo como representación de lo divino. Para encontrar una respuesta, tratemos de imaginar lo que un observador de la época podía sentir al mirar el firmamento.

En primer lugar, el cielo es algo único. Los pueblos primitivos vivían en entornos muy distintos, a orillas de los principales ríos, en las sierras o las laderas de las montañas, en valles, etc. pero siempre bajo un mismo cielo. Algunos pueblos migraron y recorrieron grandes distancias, atravesando diversos paisajes y climas opuestos. Pero la presencia del Sol y la Luna y el aspecto del firmamento por la noche era el mismo en todas partes. Ningún paisaje natural es tan único y omnipresente como el cielo. A buen seguro que la percepción de la inmensidad del firmamento jugó también un papel destacado; para los pueblos primitivos el cielo no sería inmenso del mismo modo que la Tierra. Los primeros pobladores no podían surcar los mares ni coronar montañas, pero podían intentarlo; en cambio, tratar de alcanzar los cielos era inimaginable. La esfera celeste estaba simple y llanamente fuera del alcance humano. Pero tal como veremos más adelante, resulta interesante constatar que en la actualidad la situación es prácticamente la misma, a pesar de los increíbles avances tecnológicos.

Otra cuestión clave es el movimiento: la regularidad de las órbitas de los cuerpos celestes no encuentra ninguna correspondencia en la Tierra. En la antigüedad, algunos mecanismos muy rudimentarios como las ruedas de los carros o los molinos producían movimientos circulares, si bien con gran esfuerzo, y además, para hacer girar una rueda, aunque fuera de pequeñas dimensiones, se necesitaba aplicar una fuerza motriz de manera continua. El resultado era por lo general ruidoso e inestable, y acababa por fracasar. Por el contrario, el silencioso recorrido del Sol, la Luna y las estrellas a lo largo de la bóveda celeste, siempre perfecto en cada una de sus repeticiones, debió parecerles una prueba clara de la naturaleza divina del cielo. La luminosidad y la posición relativa de las estrellas, salvo unos cuantos planetas errantes, se mantenía perfectamente constante, sin cambios perceptibles generación tras generación.

Ya en la Prehistoria, el ser humano se dio cuenta de que el cielo resultaba imprescindible tanto para su propia existencia como para la del resto de las criaturas, al igual que lo es en la actualidad, obviamente. El Sol era una fuente única de luz y de calor, imprescindible para la supervivencia de todas las formas de

vida. El ciclo regular del día y la noche y los cambios de estaciones aseguraban la fertilidad de la Tierra y el ritmo de la actividad humana.

La singularidad, la inmensidad y la estabilidad del cielo, junto con su espectacular belleza y actuación providencial hicieron que todas las culturas antiguas situaran en él a sus dioses. Estos mismos atributos fueron los que estimularon a realizar las primeras observaciones astronómicas, que supusieron el primer acercamiento sistemático y cuantitativo a los fenómenos naturales. Descifrar el movimiento de los cuerpos celestes permitió a algunos sacerdotes y astrónomos iniciados predecir la configuración de las estrellas y los planetas. Estos conocimientos se utilizaban en rituales y ceremonias religiosas y para invocar a sus dioses: esto es, en la expresión del sentido de lo misterioso de estos pueblos.

ENCONTRAR LOS ORÍGENES

La relación de los pueblos antiguos con el cosmos estaba marcada por otra cuestión clave: la búsqueda de los orígenes. La pregunta de dónde procede la Tierra, las criaturas vivas y la fascinante disposición de los cielos. No se tiene noticia de la existencia de ninguna civilización que no haya manifestado su necesidad de encontrar una explicación a los orígenes del cosmos. Sin embargo, resulta interesante constatar cómo las respuestas que se hallan en relatos mitológicos nada tenían que ver con las observaciones astronómicas: incluso los pueblos con unos conocimientos más avanzados basaron su cosmogonía únicamente en mitos sobre la creación que no guardaban una relación significativa con los fenómenos astronómicos observados. Pero esto no debería sorprendernos tanto si tenemos en cuenta que un proceso de formación implica la idea del cambio, y en el cielo no se podía apreciar evolución alguna¹⁵; la danza atemporal de las estrellas y los planetas no daban ninguna pista de su desarrollo en el tiempo. Aunque la posición angular de las estrellas en el firmamento se podía medir con bastante precisión sin necesidad de usar instrumentos o con unos muy rudimentarios, la falta de herramientas ópticas hacía inimaginable que una observación más detallada revelara pistas de la evolución cósmica. El universo no era ni más ni menos que lo que parecía: perfecto e inalterable. Si una vez hubo un nacimiento del

¹⁵ Resulta interesante constatar cómo, en la mayoría de las culturas, el nacimiento de una estrella (nova o supernova) o el paso de un cometa se percibían como anomalías cósmicas, desajustes y signos de mal augurio y en ningún caso fenómenos atmosféricos.

mundo, se completó con la puesta en marcha del baile eterno de las estrellas y los planetas.

Las cosmogonías estaban plagadas de acontecimientos fantásticos, protagonizados con frecuencia por un gran número de dioses y diosas. Los antiguos egipcios, por ejemplo, sostenían que Geb, dios de la Tierra y Nut, diosa del Cielo, se encontraban unidos en un primer momento, y que el nacimiento del mundo se produjo cuando Shu, dios del Aire y la Atmósfera, separó sus cuerpos, lo cual permitió la proliferación de criaturas vivas, entre ellas el ser humano, así como en una compleja jerarquía de deidades de distintos grados. Los dioses eran a un tiempo los agentes de la creación y resultado de la misma. Los egipcios creían que el mundo procedía de una sustancia fundamental, una expansión ilimitada de agua, un elemento que para ellos era fundamental en tanto que su vida giraba alrededor del Nilo. Resulta interesante constatar la similitud de la cosmogonía egipcia (Kragh, 2007) con la mayoría de los mitos creacionales de los pueblos mediterráneos de la época (en el periodo comprendido entre el 3000 a.C. y el 1000 a.C.), como los sumerios, los babilonios o los griegos.

En el siglo VII a.C., varios pensadores griegos de la ciudad de Mileto, en la costa occidental de Anatolia, introdujeron un cambio fundamental en la visión sobre el origen del universo. La tradición histórica señala que fue Tales (620-546 a.C.) quien planteó por primera vez una serie de preguntas fundamentales como qué principio ha originado “todo lo que existe”, cuál es la sustancia fundamental que conforma el universo, o cuáles son los componentes últimos del mundo. La búsqueda del elemento último (“arché” o αρχή) fue uno de los temas centrales de las escuelas filosóficas presocráticas. Tales de Mileto identificó el “arché” en el agua, acaso una opción natural dadas las tradiciones egipcia y babilónica. Anaximandro de Mileto (620-546 a.C.), discípulo de Tales, propuso como “arché” el “ápeiron” (ἄπειρον), una misteriosa sustancia inmaterial e ilimitada. Su amigo y compañero Anaxímenes de Mileto (585-528 a.C.) señaló que el “arché” debía ser el aire. Pero más allá de elegir un elemento fundamental, la principal novedad fue que los milesios no se conformaron con leyendas sobre la formación del cosmos y buscaron una descripción del universo plausible y que respondiera a causas naturales. Por ejemplo, Anaximandro sostuvo que tanto la Tierra como los demás cuerpos celestes se habían originado a partir de una serie de ciclos de contracción y rarefacción del “ápeiron”; Anaxágoras afirmaba en sus clases que los cuerpos celestes estaban formados por hierro candente. Los milesios fueron los primeros en tratar de identificar los componentes básicos

del mundo físico y explicar mediante un proceso natural cómo el cosmos había alcanzado su estructura.

Pero para los presocráticos y otros grandes filósofos, la cuestión del origen no se interpretaba únicamente en términos de causalidad temporal o física (inicio, constitución), sino de causalidad ontológica (principio, causa). Estos dos niveles están especialmente presentes en el pensamiento de Aristóteles y fueron posteriormente adoptados por los estudiosos católicos de la Edad Media e incorporados a la visión predominante de esta época.

LA CONCEPCIÓN JUDEOCRISTIANA DE LA CREACIÓN

La cultura hebrea cuenta también con su propia cosmogonía. En 1903, tras un concienzudo estudio de la Biblia, el astrónomo Giovanni Schiaparelli dibujó un mapa del universo que reflejara la visión del universo de los antiguos hebreos (Figura 1); la representación cartográfica es muy detallada, y muestra una Tierra plana completamente rodeada de agua, sobre la que se alza la bóveda celeste con las aguas celestiales encima y el mundo de los muertos debajo. A primera vista, el mapa no se diferencia demasiado del que se obtendría al representar la visión cósmica de los egipcios o los sumerios de la época. Sin embargo, los judíos realizaron una contribución única a nuestra visión cosmológica, que no provenía de ninguna idea nueva acerca de la estructura del universo ni de ningún tipo de observación astronómica precisa, sino de su propio pensamiento religioso. El resultado fue la introducción de diversas innovaciones en la concepción de la “creación” en comparación con la de otras culturas.

En primer lugar, la visión de los judíos del Creador es la de un solo Dios personal. El intrincado árbol genealógico de los dioses y semidioses típico de los mitos de la creación politeístas contrasta radicalmente con la sobria y directa declaración inicial de la Biblia: “En el principio, Dios creó los cielos y la Tierra” (Génesis 1:1). A diferencia de otras concepciones religiosas, la Biblia muestra a un Dios que cuida el universo creado al tiempo que claramente no se identifica con Él. Por otra parte, en la tradición hebrea, el acto creador de Dios no implica “crear algo a partir de algo”, sino más bien, “dar existencia a todas las criaturas” desde la “no existencia”, incluido el universo en su totalidad. No existe ningún tipo de sustancia previa a la Creación; cualquier elemento primordial imaginable, sea el agua, el aire, la luz o la oscuridad, es parte de la creación de Dios. Además, el universo no es el escenario donde se libra una batalla constante entre

el bien y el mal, sino que el Génesis repite en varias ocasiones que el Creador considera las criaturas “buenas”: “Dios vio que todo cuanto había hecho era muy bueno” (Génesis 1:31).

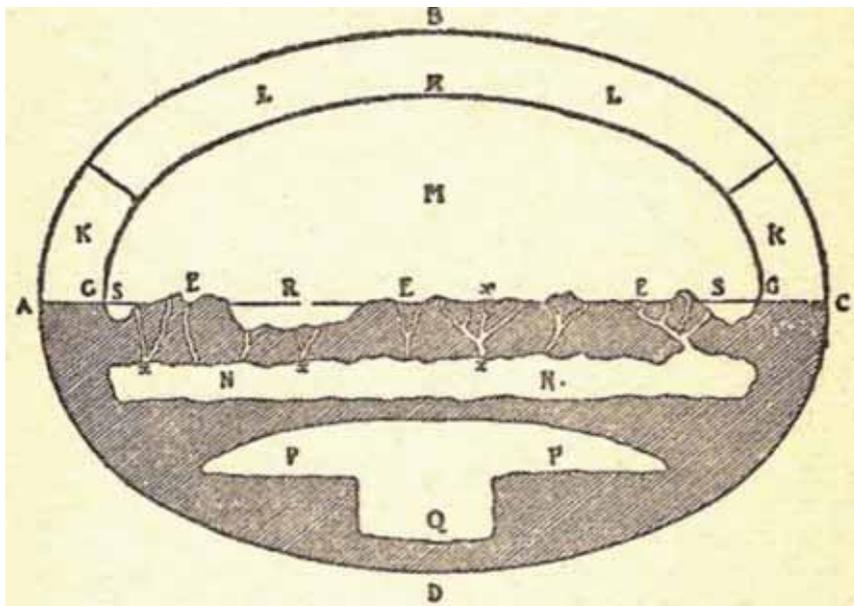


Figura 1. Mapa del universo a partir de lo descrito en el Antiguo Testamento (Schiapparelli, 1903). La Tierra plana (EEE) se encuentra rodeada por el mar (SS) y está conectada a un enorme abismo (NN) a través de una serie de cavidades (EEE) que representan manantiales de agua. El origen de los vientos se encuentra en KK, mientras que M es el lugar donde es probable que las nubes se formen y se disuelvan. La sólida bóveda del firmamento (GHG) soporta el cielo superior (ABC), que rodea la Tierra, y las aguas celestiales (LL), responsables de la lluvia, la nieve y el granizo. La cavidad inferior (PQP) es el Sheol, la morada de los muertos.

LA CRIATURA DEL TIEMPO

La emergente cultura medieval cristiana europea recupera gran parte de las tradiciones griega y judía. Con el paso de los siglos, del encuentro de estas dos grandes culturas surgirá una síntesis sin precedentes, con representantes de la talla de Agustín de Hipona y Tomás de Aquino.

Una de las cuestiones originales del pensamiento judeocristiano más importantes para nuestro análisis es la noción del tiempo como una criatura. Agustín de

Hipona analiza en profundidad la naturaleza del tiempo en su obra *Confesiones*, y señala que resulta imposible concebir un periodo o un instante que no haya sido creado por Dios: “Cómo habían de pasar innumerables siglos, cuando aún no los habías hecho tú, (...) ¿O qué tiempos podían existir que no fuesen creados por ti?” (*Confesiones*, XI, XIII); “Todo periodo de tiempo se concreta en criaturas sujetas a este, por lo que no cabe sino deducir que el tiempo es a su vez una criatura. No existe ni han podido existir ningún periodo de tiempo que no haya sido creado por Dios” (Interpretación literal del Génesis, Libro 4, capítulo. 20, n. 37). La idea de que el tiempo no es una realidad absoluta, sino contingente al igual que cualquier otra criatura, está latente en el pensamiento hebreo, aunque no se desarrolla del todo hasta la Edad Media.

Si el tiempo es una criatura, cualquier periodo o instante ha sido creado. Las consecuencias de esto son significativas, ya que, por ejemplo, si el tiempo tuviera un principio, el primer instante del tiempo no habrá sido “más creado” que cualquier otro. En un pasaje de su obra *Suma teológica*, Tomás de Aquino hace una importante distinción entre “Creación” e “inicio del tiempo”: “No se dice que las cosas hayan sido creadas al principio del tiempo en el sentido de que dicho principio del tiempo sea la medida de la creación, sino porque simultáneamente con el tiempo fueron creados el cielo y la Tierra” (*Suma teológica*, parte I, cuestión 46, artículo 3). De hecho, en este concepto de creación *ex nihilo* Tomás de Aquino no se refiere necesariamente a un inicio temporal, sino que asegura que la Creación supone la dependencia radical y ontológica de Dios de la existencia de todas las criaturas y de todo el universo (Carroll, 2000). De manera coherente con lo anterior, sostiene que la Creación es coherente, desde un punto de vista filosófico, con un universo sin un inicio en el tiempo: un universo eterno, en el pasado, en el futuro o en ambos, sería un universo creado como si su tiempo fuera finito en el pasado o en el futuro. Y si el tiempo tuvo un principio, la creación del universo no puede reducirse a ese momento concreto del pasado que marca el inicio del tiempo, sino que implica la continua “llamada a la existencia” del universo en cada momento.

La concepción del tiempo de Agustín de Hipona y de Tomás de Aquino es importante para comprender bien la Creación en el contexto de la cosmología moderna y las ciencias naturales en general. Con frecuencia utilizamos los términos “creación” y “origen” indistintamente, pero si el tiempo es parte del acto creativo de Dios, es importante establecer una distinción clara. El término “origen” se refiere a la formación en el tiempo de nuevas estructuras a partir de una realidad

previa, por acción de las leyes naturales; es decir, el cambio de un sistema físico de una configuración determinada a otra. La “Creación” es un concepto muy distinto, y señala la dependencia última de Dios del universo completo y de todas sus criaturas, incluidas las realidades materiales como el tiempo y las leyes de la física. Esta distinción resulta importante para evitar confusiones metodológicas innecesarias. La cosmología científica y la ciencia en general se refieren al “origen” y no a la “creación”; si hablamos del “origen” de un lago, hablamos del proceso geológico que comenzó hace miles de años con un glaciar que se convirtió en la masa estable de agua dulce que se encuentra frente a nosotros. Cuando decimos que el lago fue “creado”, nos referimos al milagro de su existencia, al hecho de que exista ahora mismo, en el preciso instante al que llamamos “ahora”, y también al milagro de que existiera en el pasado, así como a su formación en el tiempo a través de una serie de leyes geofísicas que, a su vez, también han sido creadas.

La ciencia es un método de conocimiento fascinante que nos permite comprender la estructura y la evolución del universo, y nos permite describir, de forma incompleta pero veraz, el paso del mundo físico de un estado, por primario que sea, a otro. Por el contrario, la concepción judeocristiana de la Creación alude a la discontinuidad entre la nada (y aquí es importante no cometer el ingenuo error de confundirla con el “vacío”) y el ser, entre la realidad y la ausencia total de realidad. Empleamos el término “realidad” para referirnos a todo, incluido lo inmaterial como el tiempo, el espacio o las leyes de la física.

La teología judeocristiana deja meridianamente claro que Dios es el creador de “todas las cosas”. “Tú creaste todas las cosas, y por tu voluntad existen y fueron creadas” (Apocalipsis, 4:11). Resulta interesante analizar las referencias a la creación en el Credo de Nicea (325 a.C.): “Dios (...) creador del cielo y de la Tierra, de todo lo visible y lo invisible”¹⁶. Parece que quien redactó el Credo no consideró suficiente decir que Dios era el “creador del cielo y de la Tierra” y añadió “de todo lo visible y lo invisible” para dejar claro que no se excluía ninguna forma de realidad, especialmente lo “invisible”. Evidentemente, el término “invisible” no

¹⁶ El Nuevo Testamento recoge: “Lo que se ve fue hecho de lo que no se veía” (Carta a los Hebreos 11:3). San Pablo recoge esta misma idea: “Porque por medio de Él fueron creadas todas las cosas: las que hay en los cielos y las que hay en la Tierra, visibles e invisibles; sean tronos, sean dominios, sean principados, sean potestades; todo fue creado por medio de Él y para Él” (Carta a los colosenses 1:16).

se refiere únicamente a aquello que nuestros ojos no pueden ver, como el aire, las ondas radiofónicas o la material oscura, sino a las realidades “incorpóreas”. Cuando se escribió el Credo en el siglo IV, lo más probable es que esta referencia aludiera a los ángeles, pero en la actualidad sabemos de la existencia de otras realidades “invisibles”, como el tiempo, el espacio y las leyes de la física. De hecho, probablemente estas son las “cosas” más misteriosas que estudia la ciencia moderna, ya que desconocemos su naturaleza, y su procedencia, si bien, desde el punto de vista cristiano, cabe decir que el Credo de Nicea deja absolutamente claro que se tratan de criaturas de Dios.

ARMONÍA MEDIEVAL

La distinción entre “creación” y “origen” introduce una separación saludable y liberadora entre las dos disciplinas: por una parte la investigación científica, y por la otra el estudio filosófico y teológico, y permite a cada una seguir su propio camino según las características y limitaciones de sus respectivos métodos. Pero esto no significa que exista una disociación estricta entre ambas, ya que para la tradición judeocristiana, el conocimiento del universo que nos brindan las ciencias naturales no está completamente disociado del Misterio de la creación de todas las cosas. Sin embargo, el tipo de relación entre ambas no es lógica ni naturalista, esto es, no se trata de una explicación que nos permitiera “descubrir a Dios” a través de un elaborado experimento científico o un complejo teorema matemático, sino más bien una relación de analogía: el universo es una señal de Dios (Giussani, 1997).

El concepto del universo como una señal de su Creador alcanzó su síntesis perfecta en la Europa medieval de los siglos XIII y XIV. El mapa del universo de aquel entonces era el heredado del sistema geocéntrico aristotélico-ptolemaico, al que se había añadido el Empíreo, la décima esfera externa que representaba la morada de Dios y de los ángeles. Algunas representaciones cosmográficas medievales muestran el Empíreo como un conjunto de nueve esferas que representan la jerarquía de los coros de ángeles y que rodean el primer móvil, que es simétrico a las nueve esferas astronómicas (Figura 2). La estructura providencial y ordenada del universo, así como su plenitud y belleza se consideraban manifestaciones del amor de Dios por los seres humanos y por las demás criaturas. Citando los excelsos versos de Dante Alighieri: “Le cose tutte quante / hanno ordine tra loro, e questo è forma / che l’universo

a Dio fa simigliante” (Paraíso: I, 103-111) (“Las cosas todas ellas / guardan entre sí un orden, que es la forma / que a Dios el universo hace semejante”) La armonía cósmica incluye a todas las criaturas, también las ocultas o aparentemente irrelevantes: “Nell’ordine ch’io dico sono accline / tutte nature, per diverse sorti, / più al principio loro e men vicine” (“Al orden que yo digo se inclinan / todas las criaturas, de diversas formas, / más a su principio o menos vecinas”) (Paraíso, I, 111). Ningún aspecto de la naturaleza puede considerarse insignificante, ya que todas las criaturas deben su existencia a Dios y Él ha querido que formen parte del orden cósmico. La contemplación de la belleza del universo nos permite hacernos una idea de la sabiduría del Creador y del amor que nos profesa, por lo que resulta imposible contemplarlo sin conocer algo del mismo Dios: “con tant’ordine fé, ch’esser non puote / sanza gustar di lui chi ciò rimira” (“con tal orden hizo, que estar no puede/ sin gustar de ello quien lo mira”) (Paraíso: X, 5-6).

Pero la perfecta armonía del cosmos medieval se vio alterada por una serie de importantes descubrimientos astronómicos, el primero de los cuáles fueron las observaciones telescópicas de Galileo en 1609.

En la segunda parte de este ensayo nos extenderemos más en la idea del universo que propone la cosmología moderna. Son muchos quienes creen que la ciencia moderna ha desbancado cualquier discurso previo acerca del universo, concretamente a la narrativa judeocristiana, que se ha convertido en una reliquia mitológica obsoleta. Pero con frecuencia, estas conclusiones parten de un error metodológico: no comprender la distinción entre “origen” y “creación”.

Llegados a este punto cabe analizar cómo se refiere la Biblia al universo, y cuál es el contenido del mensaje que quiere transmitir. Una vez que tengamos claras estas cuestiones, nos preguntaremos si el lenguaje de la tradición judeocristiana está obsoleto o si aún tiene algo que ofrecer a la visión del universo que hemos tomado de la cosmología contemporánea.

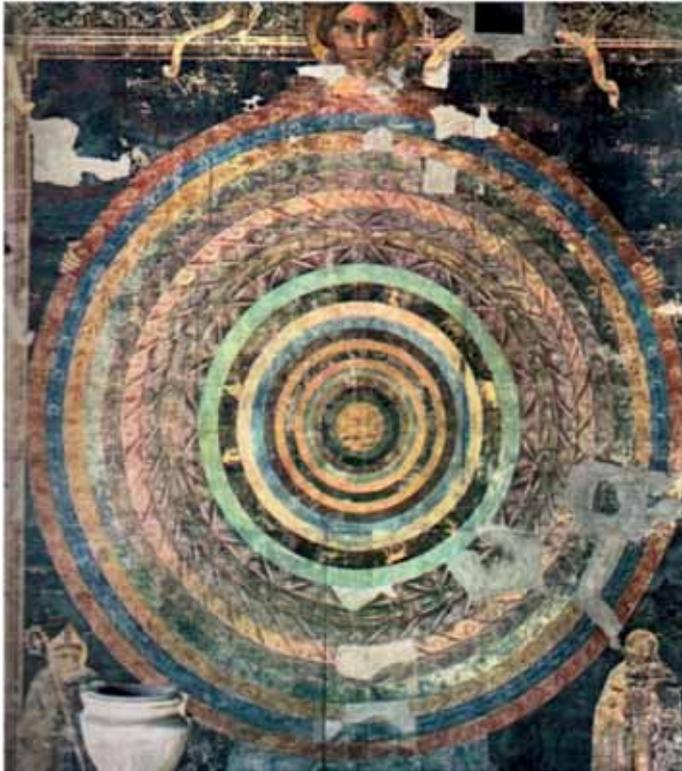


Figura 2. Representación del cosmos medieval de Fresco de Piero di Puccio, en el Camposanto de la Piazza dei Miracoli, Pisa (1389 y 1391). La obra muestra un universo geocéntrico sostenido desde el exterior por Cristo. En la esquina inferior izquierda aparece Santo Tomás y en la derecha San Agustín. En el centro está el *orbis terrarum*, el orbe terrestre. Los 21 círculos ascendentes que rodean la Tierra son los otros tres elementos (el agua, el aire y el fuego), los siete planetas (la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno), el cielo estrellado con los símbolos del zodiaco, el Primer Móvil y las nueve jerarquías de los ángeles.

ESFERAS POSMODERNAS

Nuestro conocimiento del universo ha cambiado enormemente desde tiempos de Dante. La historia es conocida por todos: el primer paso, y también el más polémico, fue la confirmación de las teorías copernicanas, que despojaban a la Tierra su posición de centro del universo y la relegaban al mismo estado que los demás planetas que giran alrededor del Sol. Las esferas de cristal celeste de las que se había hablado de una forma u otra durante dos mil años recibieron su gol-

pe de gracia de manos de Kepler, que sustituyó su perfecta circularidad por trayectorias elípticas de aspecto menos noble¹⁷. Finalmente, las teorías de Newton identificaron al Sol como una estrella más de los millones que hay en un universo infinito y sin centro. Por lo tanto, la ilusión de que nuestra galaxia, la Vía Láctea, era no ya el centro del universo, sino algo especial, tenía los días contados. Edwin Hubble demostró a mediados de la década de 1920 que las nebulosas espirales que se podían ver con los telescopios más potentes del momento conformaban enormes “universos aislados” similares a nuestra galaxia, y que cada uno contenía cientos de miles de millones de estrellas repartidas por el espacio a una distancia de decenas de millones de años luz.

LA INMENSIDAD DEL COSMOS

En los últimos años, una diversos estudios sistemáticos del cielo como el 2dF Redshift Galaxy Survey (Sondeo de corrimiento al rojo de galaxias en un campo de 2 grados) (ver, por ejemplo, Percival *et al.*, 2002) y el Sloan Digital Sky Survey (Exploración digital del espacio Sloan) (SDSS-III collaboration 2011, Eisenstein *et al.*, 2011) han cartografiado cientos de miles de galaxias y determinado la dirección angular de cada una de ellas en la esfera celeste, y su distancia de la Tierra¹⁸. Estos datos han permitido a los astrofísicos dibujar un mapa tridimensional muy exacto de una muestra de galaxias muy extensa y medir la distribución estadística de la materia en el universo. Los resultados muestran que las galaxias tienden a agruparse en cúmulos de miles, que crean a su vez enormes filamentos de materia entreverados con vacíos enormes. Sin embargo, a una escala enorme, mayor de 30 millones de años luz, la distribución de la materia resulta relativamente uniforme. La Agencia Espacial Europea prevé lanzar en

¹⁷ Copérnico se mostró fiel a la idea aristotélica del movimiento circular uniforme, y le molestaba especialmente el concepto ptolemeico del *equants*, que contradecía parcialmente este principio: esto supuso una motivación para investigar, tal y como declara él mismo en el prólogo a *De revolutionibus orbium coelestium*. Sin embargo, hasta que Kepler descubrió las leyes del movimiento elíptico de los planetas, el sistema heliocéntrico de Copérnico distaba de simplificar el modelo. Copérnico no lograba una mayor precisión ni siquiera introduciendo más círculos que en el antiguo sistema geocéntrico ptolemeico, por lo que muchos astrónomos de la época se mostraron escépticos (Koestler, 1990).

¹⁸ El proyecto BOSS (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*, Estudio espectroscópico de oscilación de bariones), que forma parte de la exploración SDSS-III, pretende medir de forma continua el corrimiento al rojo de 1,5 millones de galaxias y el espectro de 150.000 cuásares.

2019 la misión espacial Euclid¹⁹, que realizará un estudio espectroscópico de todo el cielo que cartografiará 500 millones de galaxias a fin de obtener nuevos datos acerca de la distribución a gran escala de la materia y de la dinámica de la expansión cósmica²⁰.

La inmensidad del universo resulta apabullante. Tal y como hemos visto, mucho antes de la aparición de la ciencia moderna, los pueblos antiguos tenían ya una idea bastante acertada de la inmensidad del cosmos en comparación con la naturaleza humana. Encontramos una descripción única del alcance de esta desproporción en un célebre pasaje bíblico: “Al ver el cielo, obra de tus manos, la Luna y la estrellas que has creado: ¿qué es el hombre para que pienses en él, el ser humano para que lo cuides?” (Libro de los Salmos 8:4-5). Tres mil años después, la ciencia moderna no ha hecho sino alimentar nuestro sentimiento de insignificancia en comparación con el universo, y nos obliga a preguntarnos quiénes somos en medio de este inmenso océano de galaxias, qué somos en mitad de esta vastedad inaprensible. Pero el Libro de los Salmos muestra inmediatamente después la otra cara de la paradoja: “Lo hiciste [al hombre] poco inferior a los ángeles, lo coronaste de gloria y esplendor” (Libro de los Salmos 8:6). De hecho, el ser humano es una criatura especial en todos los sentidos. La individualidad e identidad de cada ser humano, cuyo cuerpo no es más que una mota de polvo en el universo físico, existe como una suerte de “singularidad” a través de la cual la naturaleza muestra propiedades desconocidas hasta ese momento: la conciencia de uno mismo y la libertad. Se nos ha concedido la “gloria y el esplendor” de poder admirar la creación y buscar su significado último. Tal y como señaló Tomás de Aquino: “Anima est quodammodo omnia”: “el alma es, de algún modo, todas las cosas” (Suma Teológica, parte I, cuestión 14).

El Antiguo Testamento emplea repetidamente la imagen de la inmensidad del universo para ilustrar el poder y la misericordia divina: “Como son más altos los cielos que la Tierra, así son mis caminos más altos que vuestros caminos, y mis pensamientos más que vuestros pensamientos” (Isaías 55:9). Impresiona leer estas palabras siendo consciente de la enormidad del universo gracias al co-

¹⁹ <http://sci.esa.int/euclid>

²⁰ Euclid pretende obtener información acerca de la naturaleza de la energía oscura midiendo con exactitud la expansión acelerada del universo empleando varios métodos independientes.

nocimiento que nos brinda nuestra visión cosmológica actual. Cuanto más profundo es nuestro conocimiento, más conmovidos debiéramos sentirnos ante el poder y la misericordia inconmensurables de Dios.

Cabe llamar la atención sobre el hecho de que aquí, y en el lenguaje judeo-cristiano en general, el universo en toda su majestuosidad se describe en todo momento como una realidad contingente; no hay espacio oculto para Dios, y las edades del universo son siempre breves: “Levantad los ojos al cielo y mirad después al suelo. Mirad que los cielos se derriten y se hacen humo y la Tierra se deshace como la ropa mientras sus habitantes mueren como moscas. Pero mi salvación durará para siempre y mi justicia nunca se acabará” (Isaías 51:6). En el Nuevo Testamento, será Jesús quien repita estas mismas palabras: “El cielo y la Tierra pasarán, pero mis palabras no pasarán” (Marcos 13:31). La grandeza del universo se emplea únicamente como una imagen metafórica, ya que los judíos eran planamente conscientes de la diferencia entre el Creador y las criaturas: “Si, vanos por naturaleza son todos los hombres que han ignorado a Dios, los que, a partir de las cosas visibles, no fueron capaces de conocer a Aquel que existe, al considerar sus obras, no reconocieron al artífice. En cambio, tomaron por dioses rectores del universo al fuego, al viento, al aire sutil, a la bóveda estrellada, al agua impetuosa o a los astros luminosos del cielo. Ahora bien, si fascinados por la hermosura de estas cosas, las consideraron como dioses, piensen cuánto más excelente es el Señor de todas ellas, ya que el mismo autor de la belleza es el que las creó. Y si quedaron impresionados por su poder y energía, comprendan, a partir de ellas, cuánto más poderoso es el que las formó. Porque, a partir de la grandeza y hermosura de las cosas, si llega, por analogía, a contemplar a su autor. Sin embargo, estos hombres no merecen una grave reprobación, porque tal vez se extravían buscando a Dios y queriendo encontrarlo; como viven ocupándose de sus obras, las investigan y se dejan seducir por lo que ven: ¡tan bello es el espectáculo del mundo!” (Libro de la Sabiduría, 13:1-7).

AL PRINCIPIO FUE EL CALOR

¿Hasta dónde se extiende el océano cósmico de galaxias? La galaxia más cercana, la M31 en Andrómeda, se encuentra a unos 2,5 millones de años luz, lo cual significa que la luz que nos llega hoy desde ella emprendió su viaje hace 2,5 millones de años, y la forma de la que hoy vemos Andrómeda es

la de hace 2,5 millones de años. La velocidad de la luz, la mayor que se puede alcanzar en la naturaleza, es altísima (300.000 kilómetros por segundo), pero finita, por lo que cuanto más lejos miremos en el espacio, más nos alejaremos en el tiempo. Esto tiene unas consecuencias enormes para nuestro conocimiento del universo. El telescopio espacial Hubble²¹ nos ha ofrecido las mejores imágenes ópticas hasta el momento. El campo ultraprofundo del Hubble (HUDF; Beckwith *et al.*, 2006) es una imagen que muestra alrededor de 10.000 galaxias en una superficie menor que una diezmillonésima parte del firmamento (Figura 3), entre ellas algunas de las galaxias conocidas más remotas, cuya luz nos llega tras viajar más de 12.000 millones de años. Su observación nos permite hacernos una idea de cómo era el universo entonces.

La pregunta que se plantea es si ese gran océano de galaxias que es nuestro universo cambia con el paso del tiempo o se mantiene igual. En la actualidad tenemos clara la respuesta: el universo cambia con el paso del tiempo. La belleza del cosmos actual asemeja más a una flor que se abre que a un cristal rígido conformado por esferas cósmicas (Bersanelli, 2011). A finales de la década de los veinte del siglo pasado, Edwin Hubble y Georges Lemaître realizaron un descubrimiento que marcó un hito: la expansión cósmica (Lemaître, 1927; Hubble, 1929), que de golpe hizo que el universo pasara de ser el decorado fijo al protagonista de la obra. A escala cósmica, cada momento o periodo es único. La expansión significa también que el universo era más pequeño, denso y presentaba una temperatura más elevada que la actual. Actualmente se calcula que la edad del universo (calculada a partir del momento en el que dos puntos cualesquiera del espacio se encontraban juntos) es de alrededor de 14.000 millones de años, o para ser más precisos, $13,76 \pm 0,11$ miles de millones de años (Komatsu *et al.*, 2011). Si nos remontamos en el tiempo, es de suponer que la temperatura y la densidad de energía alcanzaron unos valores inimaginables en todo el espacio. Las galaxias más lejanas que aparecen el campo ultraprofundo del Hubble pertenecen un universo mucho más joven, con menos de 2.000 millones de años, o cuando contaba con menos del 15% de su edad actual y era diez veces más pequeña que hoy en día.

²¹ <http://www.hubblesite.org>

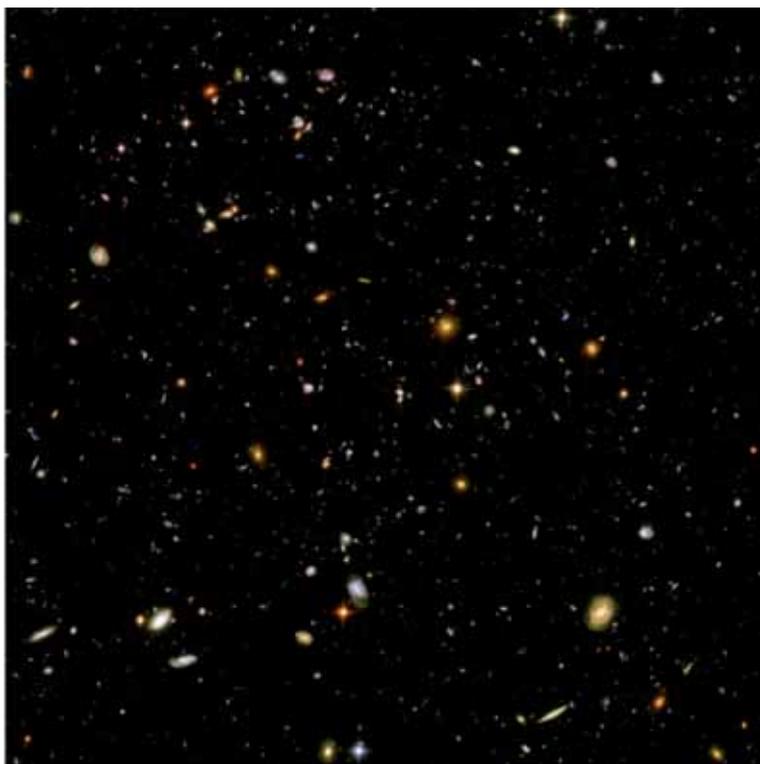


Figura 3. El campo ultraprofundo del Hubble recoge más de 10.000 galaxias en una superficie del cielo de 11,5 minutos de arco cuadrados. Para cubrir el cielo entero se necesitarían unas 13 millones de imágenes de este tipo. La imagen fue tomada con el telescopio espacial Hubble entre el 24 de septiembre de 2003 y el 16 de enero de 2004. Se necesitó un tiempo de exposición de 11,3 días durante 400 órbitas del telescopio espacial alrededor de la Tierra [Extraído de Beckwith *et al.*, 2006].

Ante la pregunta de si podemos remontarnos aún más hacia nuestros orígenes cósmicos, o lo que es lo mismo, si es posible ver algo más allá del alcance del campo ultraprofundo del Hubble, la respuesta es afirmativa, por sorprendente que parezca. La clave se encuentra ante nuestros ojos, y curiosamente en cierto modo también ante los de los astrónomos de la Antigüedad: el telón de fondo oscuro del firmamento. Los primeros observadores se preguntaron acerca de la naturaleza de las estrellas y los planetas, pero parece que Kepler fue el primero en llamar la atención sobre la difusa oscuridad del cielo (Harrison, 1987). ¿Qué es ese velo que se muestra ante nosotros cada noche en el cielo, más allá de las estrellas y que también se encuentra presente en las

imágenes más lejanas que puede mostrar el Hubble? Hoy en día sabemos que el telón de fondo cósmico que contemplamos no es completamente oscuro, sino que resplandece a través de una radiación uniforme y muy tenue que llega hasta nosotros desde una época anterior a la formación de las galaxias. Esta fascinante luz fósil procede de la última zona del espacio cósmico al que tenemos acceso. Sus fotones se libraron cuando, a causa de la expansión del universo, la temperatura descendió por debajo de los 3.000 grados kelvin y permitió la formación de los primeros átomos a partir de electrones, protones y otros núcleos ligeros independientes hasta ese momento. Todo esto sucedió cuando la edad del universo era de unos 380.000 años, solo un 0,003% de la edad actual. La expansión del universo amplió la longitud de onda de estos fotones (o corrimiento al rojo) 1000 veces durante su viaje por el espacio. El resultado es que hoy podemos ver sus microondas, con una longitud de unos pocos milímetros, y esta es precisamente la razón por la que la radiación fósil recibe el nombre de radiación de fondo de microondas. Desde su feliz descubrimiento a mediados de la década de los sesenta del siglo pasado (Penzias y Wilson, 1965), la radiación de fondo de microondas se ha convertido en una mina para el conocimiento del universo. Pronto se descubrió que la suave luminosidad que causaba en el cielo era enormemente uniforme (o “isotrópica”), lo cual indicaba que el universo era en sus comienzos un lugar simple y regular. A mediados de la década de los ochenta del siglo pasado, las mediciones de la isotropía de la radiación de fondo de microondas mostraron unos niveles del 0,01%.

La esfera que nos rodea y de la que recibimos la radiación de fondo de microondas es la región más remota del universo que podemos observar, y su tamaño, aunque finito, es inconcebible (tal y como preveíamos, y al igual que pensaban los pueblos antiguos, estamos completamente quietos en nuestra ubicación cósmica). Más allá de ese límite existen regiones espaciotemporales en las que las temperaturas eran demasiado altas para que los átomos se mantuvieran neutros, con lo que la materia se ionizó y el universo resultó opaco a la luz. Quizás, en un futuro, los astrónomos sean capaces de penetrar de algún modo en esta “niebla cósmica” y descubran las ondas gravitacionales o los neutrinos primigenios que se cree que se liberaron en los primeros momentos de vida del cosmos, aunque con esto solo se acercarán al límite fundamental de nuestro horizonte cósmico, establecido por la velocidad finita de la luz y la edad, también limitada, y el índice de expansión del universo. Nuestras observaciones se ven limitadas por

una esfera espaciotemporal finita, similar en cierto modo a la del cosmos de la antigüedad. Obviamente, ahora sabemos que no nos encontramos en el centro del universo, y que cualquier otro observador obtendría la misma visión general del cosmos. Por otra parte, la esfera última no es fija, sino que se encuentra en expansión. A medida que pasa el tiempo recibimos fotones de la radiación de fondo de microondas que se encuentran a distancias cada vez mayores, y nuestro horizonte crece a un ritmo de 26.000 millones de kilómetros al día. Además, el corrimiento al rojo de la radiación de fondo de microondas va aumentando poco a poco, y su temperatura disminuye a un ritmo de media millonésima de millonésima de grado kelvin al día. Estos cambios resultan insignificantes en la escala humana, ya que tardan millones de años en poder apreciarse; pero en cualquier caso, en un momento dado nuestro horizonte cósmico presenta una frontera fundamental: que el universo observable es, sin lugar a dudas, finito. Por primera vez en la historia de la ciencia moderna tenemos motivos de peso para pensar que hemos alcanzado un límite concreto en el espacio que podemos sondear.

GÉNESIS GALÁCTICA

Observar las galaxias que se encuentran a una u otra distancia de nosotros, y por lo tanto pertenecen a distintas épocas cósmicas, nos permite estudiar directamente su evolución a lo largo del tiempo. Los estudios realizados demuestran que las galaxias más jóvenes presentan diferencias respecto a las que han evolucionado completamente en el universo cercano. Los astrofísicos son capaces de interpretar estos datos a través de modelos físicos que incorporan distintas características como la morfología, las poblaciones estelares, la abundancia de elementos químicos, de polvo y de gas interestelar, las tasas de formación estelar, la materia oscura, etc. (ver, por ejemplo, Matteucci, 1996).

Pero otra cuestión es cómo se formaron las galaxias, y cuáles fueron las condiciones iniciales que hicieron posible su aparición. La alta isotropía de la radiación de fondo de microondas señala que en un primer momento, antes incluso de la formación de las galaxias, el universo era extraordinariamente uniforme. La cuestión que se plantea entonces es cómo se pudo originar la actual estructura jerárquica de la materia a partir de un estado inicial tan estable. En 1992, el satélite COBE de la NASA descubrió unas pequeñas desviaciones de 0,001% en escalas

angulares de más de siete grados en la perfecta uniformidad²² de la radiación de fondo de microondas (Smoot *et al.*, 1992). Los resultados de la misión abrieron las puertas a otros proyectos más ambiciosos. El satélite WMAP de la NASA (Hinshaw *et al.*, 2007)²³ ha proporcionado mapas de las fluctuaciones de la radiación de fondo de microondas con resolución angular en escala de subgrado y una mayor sensibilidad que abarcan el cielo completo. El satélite Planck²⁴ de la Agencia Espacial Europea, lanzado en 2009 (Planck Collaboration, 2011), lleva a cabo observaciones mucho más detalladas de la radiación de fondo de microondas a través de imágenes de alta precisión. La granularidad observada de la radiación de fondo de microondas, llamada anisotropía, rastrea las “semillas” de las que nacieron las galaxias, ya que se trata de las fluctuaciones primigenias de la densidad y la velocidad del plasma caliente que existía en los inicios del universo. La esquiva materia oscura, que no interacciona con las partículas bariónicas normales (las que forman las estrellas, los planetas, nuestro cuerpo y todo lo que conocemos) tuvo una importancia destacada en todo el proceso, ya que su acción gravitatoria mejoró la eficacia del colapso gravitatorio. Las anisotropías de la radiación de fondo de microondas son una instantánea del tejido inicial del cosmos, donde la gravedad tardaba miles de millones de años en formar primero galaxias, y después, estrellas y planetas. Estas pequeñas irregularidades tienen una importancia enorme tanto para la historia del cosmos como para nuestra propia existencia, ya que todas las complejas formas observables hoy provienen de ellas.

Los astrofísicos actuales cuentan con un conocimiento bastante amplio de los fundamentos de la formación y evolución de las galaxias, aunque quedan grandes preguntas sin respuesta. Podemos rastrear su origen hasta su –llamémosla así– forma prenatal, cuando no eran más que pequeños puntos de materia con una densidad mayor que la de su entorno, que era una expansión informe y caliente de materia y radiación. Pero, tal y como hemos señalado, esto no debe interpretarse como una explicación que rivalice con la creación de estas galaxias.

²² <http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe>. El descubrimiento de las anisotropías en la temperatura de la radiación de fondo de microondas y las mediciones de alta precisión de su espectro de frecuencia recogidas por el satélite COBE en 1992 valieron a George Smoot y a John Mather el Nóbel de Física en 2006.

²³ <http://map.gsfc.nasa.gov>

²⁴ <http://rssd.esa.int/planck>

Al decir que una galaxia ha sido “creada” nos referimos al hecho en sí de que existe ahora mismo, que, en este preciso momento, se le dota de presencia a partir de la no existencia. De hecho, este preciso instante de tiempo cósmico, y todo el tiempo que esa galaxia ha existido también ha sido creado. Todas las leyes físicas que le dieron forma, y las que están actuando en este preciso momento, han sido también creadas y llamadas a existir desde la no existencia.

UN UNIVERSO ACOGEDOR

La anisotropía de la radiación de fondo de microondas muestra cuáles son las semillas de las estructuras cósmicas que resultaron el complejo universo que nos rodea. Estas fluctuaciones son necesarias para que la evolución cósmica sea completa, y además su amplitud resulta de suma importancia. Si el nivel de anisotropía primigenio hubiera sido algo superior al 0,001%, por ejemplo de 0,01%, la gravedad superaría la expansión de tal modo que el universo habría creado objetos ultracondensados, como las estrellas de neutrones y los agujeros negros, que resultan ciertamente interesantes para los astrofísicos sin embargo, este universo no hubiera podido generar ningún astrofísico. Si, por el contrario las anisotropías hubieran sido demasiado pequeñas, por ejemplo del 0,0001%, el universo actual sería una masa de gases de hidrógeno y helio en expansión en el que no habría rastro de galaxias, estrellas, planetas ni de forma compleja de ningún tipo.

Pero las anisotropías primigenias se encontraban a un nivel de 0,001%, que permitió a los embriones galácticos crecer y desarrollarse. Una vez que las protogalaxias se habían formado alrededor de los pozos de potencial mediante la acreción gravitacional, la materia bariónica, difusa hasta el momento, se enfrió y fragmentó, y las primeras estrellas comenzaron a brillar. Fue precisamente en este momento en el que en el interior de las estrellas de mayor tamaño empezó a producirse carbono, oxígeno y elementos pesados, que son los cimientos de la complejidad química y por tanto los organismos biológicos. Las explosiones de supernova de las grandes estrellas desencadenadas por una sutil combinación de leyes nucleares y de mecánica cuántica liberó los elementos pesados que se encontraban en el núcleo, lo que les permitió formar nuevas generaciones de estrellas y planetas. De las cenizas de estas explosiones se formaron los planetas rocosos como el nuestro. De hecho, la materia de la que está compuesto nuestro cuerpo es “polvo de estrellas” formado por unas cuantas generaciones de astros antes de la formación del sistema solar.

La amplitud de las anisotropías primigenias en la radiación de fondo de microondas y la nucleosíntesis estelar son solo un par de ejemplos de las condiciones que han sido imprescindibles para que la vida exista en este momento y lugar, y posiblemente en otros sitios de universo, y están estrechamente relacionadas con toda la historia del cosmos, pero podríamos exponer un sinfín de ejemplos más (Barrow y Tipler, 1986; Polkinghorne, 1996). Resulta interesante ver que todo esto no es más que el renacer posmoderno de lo que ya presagiaban los antiguos. Hemos visto cómo muchas civilizaciones antiguas consideraban que existía una estrecha relación entre la vida humana y el cosmos. En la actualidad, la ciencia moderna señala que, de las partículas subatómicas a las agrupaciones de galaxias, la naturaleza se muestra mucho más predispuesta a la posibilidad de la vida de lo que los antiguos filósofos podían imaginar. Hace miles de años, los hombres del campo sabían que debían su vida al Sol, a la lluvia y a al cambio de las estaciones. Hoy sabemos que la vida está mucho más enraizada en la propia naturaleza, y que no solo necesitamos el Sol y las nubes, sino que no podríamos existir sin la expansión cósmica, sin las fluctuaciones de densidad primigenias, sin la materia oscura, sin la nucleosíntesis estelar, sin las supernovas o sin los neutrinos, por poner solo unos cuantos ejemplos. Además, la vida no podría prosperar sin la existencia de unas leyes fundamentales muy concretas, pero, al mismo tiempo, lo suficientemente flexibles (Davies, 2007).

En la Biblia encontramos una serie de pasajes de gran belleza que expresan la intuición de que no solo la Tierra y nuestro medio más cercano, sino también el universo en su totalidad, auspician la vida: “Ha estirado los cielos como una tela, los ha extendido como una carpa para vivir.” (Isaías 40:22). Resulta especialmente emocionante leer el salmo 139 del Libro de los Salmos y pensar en los lentos pero extraordinarios procesos cósmicos que adecuaron las condiciones para que fuera posible nuestra existencia (nuestro cuerpo y nuestra conciencia) y que proceden desde los confines de la historia cósmica:

“No estaba oculto de ti mi cuerpo,
cuando en secreto fui formado,
entretelado en las profundidades de la Tierra;
Mi embrión vieron tus ojos;
y en tu libro se escribieron todos,
los días que me fueron dados,
cuando no existía ni uno solo de ellos”
(Libro de los Salmos 139:15-16)

EL ENIGMA DE LA INTELIGIBILIDAD

Hay quienes creen que nuestra capacidad para explicar los fenómenos naturales a partir de leyes físicas merma nuestra capacidad de percibir el misterio del mundo, ya que una vez que hemos sido capaces de describir los fenómenos naturales a través de leyes físicas ya no hay lugar para otras cuestiones con un significado más profundo. Sin embargo, esta actitud se debe a una incapacidad de apreciar la contingencia de la existencia de las cosas, y al hecho de poder “leer” el orden natural a partir de leyes cuantitativas expresadas en lenguaje matemático.

Analicemos, por ejemplo, las anisotropías primigenias. Los cosmólogos pueden medir con una enorme precisión la granularidad de la radiación de fondo de microondas en el límite espacio-temporal observable. La teoría física que describe el comportamiento del plasma primigenio predice un nivel de anisotropía bien definido expresado como una función de la escala angular. Esto se describe en términos del llamado espectro angular (Figura 4), que previsiblemente sigue un patrón acústico, con subidas y bajadas, y que representa unos campos de compresión de la densidad y velocidad máximos y mínimos en el universo primigenio. Las observaciones actuales han medido con precisión el espectro de potencia angular y se espera que los resultados de los proyectos que pronto se pondrán en marcha lo sean aún más. La exactitud de las predicciones es sencillamente sorprendente: determinados parámetros ofrecen información crucial acerca de los componentes y la dinámica del universo, y determinadas observaciones sumamente precisas nos permiten medirlos. Pero en este contexto, lo más sorprendente es la evidencia clara de que nuestro conocimiento físico se corresponde con los datos observados. El lenguaje matemático nos permite interpretar lo que ocurre en el límite del espacio-tiempo observable hace 14.000 millones de años. Los experimentos de física cuántica también arrojan constantemente resultados sorprendentes, en regímenes completamente ajenos a nuestra experiencia cotidiana y más allá de los límites de nuestra imaginación.

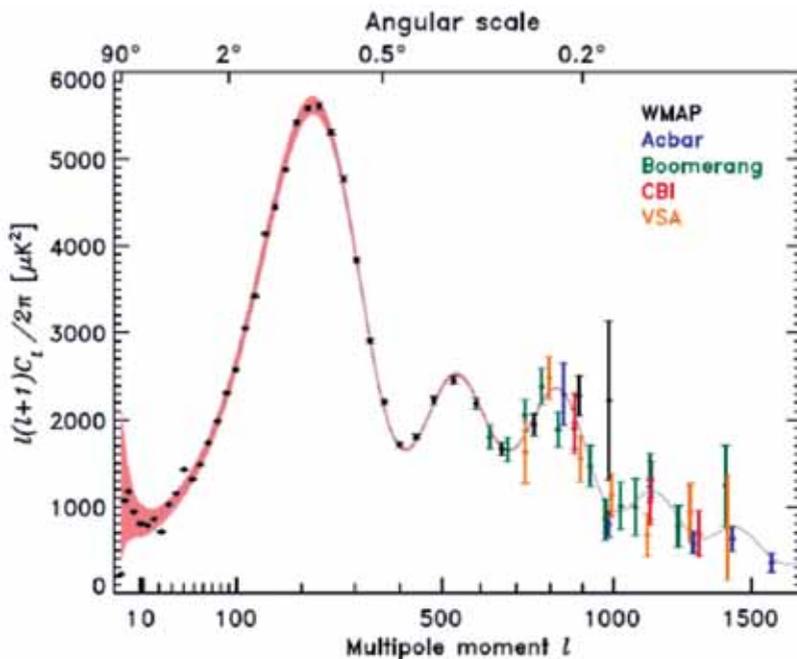


Figura 4. Mediciones del espectro de potencia angular de la radiación de fondo de microondas realizadas por el satélite WMAP y otros experimentos. El patrón oscilante se debe a las variaciones acústicas del fluido fotón-barión en el plasma primigenio. La curva es el patrón previsto por el modelo físico de compresión y rarefacción en el plasma primigenio. Los puntos (con barras de error) representan las mediciones realizadas por el satélite WMAP y por otros experimentos [Extraído de Spergel *et al.*, 2007].

¿Y por qué el universo es así? Llegados a este punto, resulta interesante preguntarse qué es lo que hace que el cerebro humano sea capaz de comprender las más remotas fronteras del mundo físico, tan alejado de nuestra experiencia directa, qué es lo que hace que nuestra mente resulte tan adecuada para comprender los misterios del cosmos; quiénes somos para que se nos haya ofrecido esta posibilidad, por insignificantes que seamos en la escala cósmica. Nuestra capacidad de comprender no solo no acaba con nuestro sentido de la curiosidad, sino que aviva el misterio que rodea nuestra relación con el universo (Bersanelli y Gargantini, 2009). Las célebres palabras de Einstein cobran hoy más sentido que nunca: “El misterio eterno del universo es su comprensibilidad; el hecho de que sea comprensible es un milagro” (Einstein, 1950). Paul Eugene Wigner (1960) se mostraba aún más entusiasta: “No existe ninguna explicación racional a la in-

creíble utilidad de las matemáticas en las ciencias naturales; roza el misterio. No se trata de que las leyes naturales existan, y menos aún de que el hombre sea capaz de descubrirlas; el milagro reside en lo idóneo que resulta el lenguaje matemático para formular las leyes físicas; es un regalo maravilloso que ni comprendemos ni merecemos”. Los físicos no son capaces de dar respuesta a la pregunta de por qué es posible la física. En este caso, la ciencia parece entrar en un territorio que la sobrepasa, tal y como señaló Benedicto XVI (2006): “Las matemáticas como tal son una creación de nuestra inteligencia, pero la correspondencia entre sus relaciones y las estructuras reales del universo (...) suscita nuestra admiración y plantea un gran interrogante, ya que implican que el universo está estructurado de manera inteligente, de modo que existe una correspondencia profunda entre nuestra razón subjetiva y la razón objetiva de la naturaleza, por lo que resulta inevitable preguntarse si no debe existir una única inteligencia originaria, que sea la fuente común de una y de otra”.

Ya hemos mencionado cómo el lenguaje bíblico pone de relieve la naturaleza contradictoria del ser humano: por una parte somos frágiles y contingentes, incluso insignificantes en cierto sentido, pero por la otra hemos sido creados como un nexo con el infinito, y estamos abiertos a la totalidad de las cosas: “Diste [al hombre] dominio sobre la obra de tus manos, todo lo pusiste bajo sus pies” (Libro de los Salmos 8, 7). Para que el hombre pueda “dominar” al resto de las criaturas, debe ser capaz de conocer, comprender y, quizás, hacer un buen uso de la naturaleza. Resulta interesante que una de las primeras cosas que Adán hizo fue darle nombre a todas las criaturas (“Todos los animales, a las aves del cielo y a las fieras salvajes”, Génesis 2:19-20). Por pequeños que seamos, hay algo en nuestra naturaleza que puede abarcar toda la realidad y que ansía el infinito: “Y creó Dios al hombre a su imagen. A imagen de Dios lo creó...” (Génesis 1:25).

MUCHAS PREGUNTAS ABIERTAS

Aunque los cosmólogos disponen de mucha información acerca del universo, aún quedan por resolver una serie de cuestiones fundamentales. Para hacernos una idea de nuestro desconocimiento basta con recordar que tenemos motivos para pensar que tan solo el 4% de la materia que conforma el universo es del tipo de materia y energía que conocemos; el 96% restante estaría compuesto por materia oscura (alrededor del 26%) y energía oscura (sobre el 70%). También contamos con pruebas que indican que la expansión cósmica se está aceleran-

do, lo cual plantea preguntas nuevas acerca de la dinámica del cosmos. De este modo, las principales cuestiones a las que tratan de dar una respuesta los científicos en estos momentos son ¿cuáles son los componentes del mundo? ¿hasta dónde llegará la expansión cósmica? ¿qué sucedió en un instante concreto hace 14.000 millones de años? y ¿hasta dónde podemos rastrear la historia del universo? Estas preguntas guardan una cierta relación entre sí, además de con otra cuestión fundamental que pasamos a exponer: hemos visto cómo las galaxias se han formado a partir de sus semillas primigenias gracias a las fuerzas gravitacionales, pero para empezar, ni siquiera sabemos de dónde proceden estas ni cómo se desarrollaron todas esas irregularidades de las que hemos hablado. Tal como suele suceder en la ciencia, una vez que hemos comprendido el desarrollo de un fenómeno determinado a partir de una serie de condiciones iniciales plausibles, damos otro paso y nos preguntamos de dónde proceden éstas.

La teoría más aceptada es que las semillas galácticas se formaron a través de un proceso cuántico. Puede ser que provengan de fluctuaciones cuánticas primigenias originadas en los primeros momentos del universo y se ampliaron hasta un tamaño macroscópico a través de una expansión exponencial que podría haberse producido en el primer instante (alrededor de 10^{-35} segundos) después del Big Bang, lo que se conoce como “inflación cósmica”. Este concepto se remonta a principios de la década de los ochenta del siglo XX, y apareció para ofrecer una explicación para una serie de problemas ciertamente desconcertantes, como la alta isotropía de regiones por lo demás no relacionadas causalmente, y la geometría casi plana del espacio (Guth, 1987).

La inflación indica la existencia de un mecanismo físico responsable del origen de las anisotropías primigenias. Está claro que la investigación del origen de las semillas cósmicas es una cuestión relacionada con el “origen” y no con la “creación”: ¿cuál es el estado físico que causa la formación de esas semillas? La ciencia solo puede describir un cambio en el tiempo de algo que “ya estaba ahí”, independientemente del nivel del que se trate, ya sean 10^{-35} segundos o 10.000 millones de años.

Uno de los retos a los que se enfrenta la observación cosmológica actual es la creación de una prueba de inflación experimental. En la actualidad, lo más parecido que existe son las mediciones de alta precisión de la polarización de la radiación de fondo de microondas. Los modelos actuales señalan que si en realidad existió una inflación cósmica, produjo una serie de ondas gravitacionales

que dejaron su impronta en forma de un patrón bien definido de polarización de la radiación de fondo de microondas. La amplitud de las ondas gravitacionales primigenias es proporcional al cuadrado de la escala de energía a la que se generaron. Por lo tanto, si pudiera detectarse sería una muestra inequívoca de que la inflación determinaría la escala de energía a la que se produjeron las fluctuaciones iniciales. Otras pruebas de inflación cósmica estudian la distribución no gaussiana de la estadística de la radiación de fondo de microondas. Por lo tanto, una medición precisa de la polarización de la radiación de fondo de microondas ofrecería un estudio físico en profundidad con unos niveles de energía muy superiores a los de cualquier otro experimento, y permitirían investigar los procesos inmediatamente posteriores en el primer instante (una parte pequeñísima de un segundo) después del Big Bang. El objetivo de la misión espacial Planck, que actualmente se encuentra en su fase de recopilación de datos, es precisamente dar respuesta a estos problemas experimentales. La misión podría ofrecer prácticamente toda la información cósmica encriptada en las anisotropías de la radiación de fondo de microondas y unas mediciones de la polarización mucho mejores que las actuales.

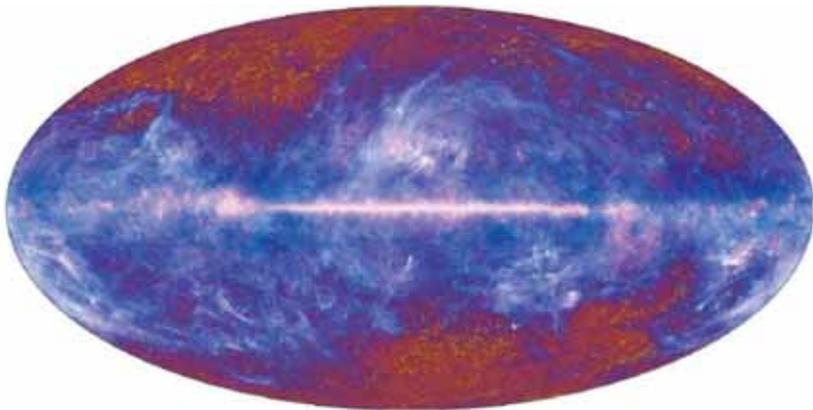


Figura 5. Imagen del cielo completo de la primera observación de la misión Planck. Esta imagen pone de relieve las dos principales fuentes de emisión del cielo de microondas: la radiación de fondo de microondas se encuentra en segundo plano, representada en una escala de color rojo anaranjado, y la emisión de la Vía Láctea, en blanco y morado. Los nueve canales de frecuencia del telescopio Planck y sus sofisticadas técnicas de análisis de las imágenes permiten separar y clasificar estos hallazgos en datos científicos de enorme valor para los cosmólogos y los astrofísicos. En la actualidad se están analizando los datos obtenidos [Agradecimientos: ESA, LFI Consortium, HFI Consortium].

CONCLUSIÓN

La cosmología, entendida como el intento por comprender el mundo en su totalidad, es una de las empresas más antiguas de la humanidad. Culturas antiguas muy distintas entre sí eligieron el cielo como la representación física de sus creencias religiosas. Las primeras observaciones del movimiento de los cuerpos celestes desempeñaron un papel destacado en el desarrollo del sentido del orden, de la estética y la perfección en la mente humana. No hay duda de que la astronomía antigua nació de la atracción por el cielo, de un sentido de curiosidad y e interés por lo misterioso, del mismo modo que el asombro y una profunda fascinación por la naturaleza son los alicientes fundamentales del trabajo de los científicos modernos. Max Planck afirmaba: “Quien no puede ya maravillarse ante nada demuestra haber perdido el arte del razonamiento y la reflexión” (Planck, 1936). La capacidad de maravilla y asombro son algo más que el primer aliciente para el estudio científico que sigue su curso posteriormente; son su fuente constante de alimentación y de energía. Tal y como lo describió Richard Feynman: “Al analizar un problema en profundidad nos invade siempre la misma sensación de emoción desbordante y misterio, y, cuanto más avanzamos, más profundo se presenta y con más fuerza te atrae a seguir investigando” (Feynman, 1958).

Muchas y variadas fueron las leyendas y “mitos de la creación” inventados para dar cuenta del origen del universo; la tradición judeocristiana introdujo el concepto de la creación, completamente desconocido hasta el momento, que relataba que el universo (todo lo que existe, incluido lo “invisible”) emergió de la nada a través de un acto libre de un dios único, racional y lleno de amor. A través de las leyes de la física, la ciencia moderna ha logrado ofrecer una descripción muy coherente de la estructura y la evolución del cosmos, desde el nivel planetario al cósmico. Por ejemplo, tenemos la increíble oportunidad de asistir al nacimiento de las galaxias y comprender qué está sucediendo. Las nuevas observaciones del espacio nos ofrecen una instantánea de un universo mucho más joven con una riqueza de detalles impensable en otra época, y pueden arrojar luz sobre los procesos físicos que se produjeron en una minúscula fracción de segundo justo después del Big Bang.

Evidentemente, aún quedan muchas cuestiones por resolver, pero no cabe duda de que la ciencia ha desbancado a cualquier visión mitológica de la antigüedad acerca del origen del universo y ha ofrecido una descripción racional de la formación de las estructuras cósmicas por la acción de las leyes naturales.

Pero la ciencia moderna no es capaz de dar una respuesta a la gran pregunta de la creación: cuál es la fuente última de todo lo que existe y por qué hay existencia en lugar de no existencia. Por otra parte, el conocimiento científico plantea a su vez nuevas cuestiones básicas como cuál es la naturaleza de lo “invisible” como el espacio-tiempo y las leyes de la física, por qué es el universo un lugar adecuado para el desarrollo de la vida y la inteligencia o qué es lo que hace posible nuestro entendimiento del universo.

La distinción entre origen, que es competencia del estudio científico, y la creación, el territorio de la metafísica y el pensamiento religioso, no implica una separación drástica entre ambos. La cosmología moderna se refiere a la belleza, el orden y la inmensidad del universo, así como a su contingencia, lo idóneo de las condiciones para la vida y la capacidad de la razón humana de comprenderlas. Estas particularidades de la naturaleza del cosmos están profundamente enraizadas en nuestra tradición judeocristiana. Como científicos gozamos de una posición privilegiada para disfrutar de los salmos y de otros pasajes bíblicos, que iluminan nuestra percepción moderna del universo y del lugar que ocupamos en él.

Quisiera finalizar con dos citas muy especiales para mí. La primera expresa cómo, para los cristianos, el Creador no es una entidad ajena e impenetrable, sino que “descendió al universo” para acompañarnos en nuestra naturaleza, tan humana. “Dios no es para nosotros una hipótesis abstracta; no se trata de un extraño que se retiró después del Big Bang, sino que se mostró ante nosotros en Jesucristo. En el rostro de Cristo vemos el rostro de Dios, y a través de sus palabras nos llega su voz.” (Benedicto XVI, 2010). La segunda cita es de Luigi Giussani (2008) y se refiere a todas las criaturas, incluido el tiempo, como “llamados a existir”, tanto ahora como siempre: “Con su ayuda lograremos llegar hasta Él. Le sorprenderemos mientras da vida a todas las flores del mundo, levanta todas las montañas, extiende todos los lagos y reparte las estrellas, todas las estrellas del firmamento”.

REFERENCIAS

- Abrams, S. (1991). *Astronomy in Ancient Mesopotamia*, *The Electronic Journal of the Astronomical Society of the Atlantic* 3, 2.
- Barrow, J. D. and Tipler, F. J. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Clarendon.

- Beckwith, S. V. W. *et al.* (2006).** The Hubble Ultra Deep Field, *The Astronomical Journal*, 132:1729-1755.
- Benedict XVI (2006).** Discurso de Su Santidad Benedicto XVI a los participantes en la Convención, Verona 19 de octubre de 2006.
- Benedict XVI L. (2010).** Letter of His Holiness Benedict XVI to Seminarians. Vaticano, 18 de octubre de 2010, the Feast of Saint Luke the Evangelist.
- Bersanelli, M. and Gargantini, M. (2009).** From Galileo to Gell-Mann: the wonder that inspired the greatest scientists of all time: in their own words. Templeton Press. Traducción al español: Solo el asombro conoce. La aventura de la investigación científica. Ediciones Encuentro, Madrid.
- Bersanelli, M. (2011).** Infinity and the Nostalgia of the Stars, in “Infinity. New Research Frontiers”, Ed. Michale Heller & W. High Woodin, Cambridge University Press.
- Carroll, W. E. (2000).** Creation, Evolution, and Thomas Aquinas. *Revue des Questions Scientifiques* 171 (4): 319-347.
- Davies, P (2007).** Cosmic jackpot. Why our universe is just right for life. Nueva York: Houghton Mifflin.
- Einstein, A. (1950).** Physics and Reality, in *Out of My Later Years*, Nueva York: Philosophical Library, 63.
- Eisenstein, D. J. *et al* (2011).** SDSS-III: Massive Spectroscopic Surveys of the Distant Universe, the Milky Way, and Extra-solar Planetary Systems. *The Astronomical Journal*, 142 72.
- Feynman, R. (1958).** The Value of Science, in *Frontiers in Science, a Survey*; E. Hutchngs Ed., Basic Books, Nueva York.
- Gingerich, O. (2000).** Plotting the Pyramids, *Nature* 408, pp. 297-8.
- Giussani, L. (1997).** *The Religious Sense*. Montreal: McGill-Queen’s University Press.
- Giussani, L. (2008).** *Is It Possible To Live This Way?: An Unusual Approach to Christian Existence*. McGill-Queens University Press, p. 54.
- Guth, A. H., (1997).** *The Inflationary Universe. The quest for a new theory of cosmic origins*. Addison-Wesley.

- Harrison, E. (1987).** *Darkness at Night. A riddle of the universe*, Harvard, Harvard University Press.
- Hinshaw, G., et al. (2007).** Three-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe observations: temperature analysis. *Astrophysical Journal Supplement* 170, 288.
- Hubble, E. (1929).** A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 15, 168.
- Koestler, A. (1990).** *The sleepwalkers: a history of man's changing vision of the universe*. New York: Penguin Books, cap. 2.
- Komatsu, E., et al. (2011).** Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Cosmological Interpretation. *The Astrophysical Journal Suppl. Series*, 192, 18.
- Kragh, H.S. (2007).** *Conceptions of cosmos. From myths to the accelerating universe. A history of Cosmology*. Oxford, pp. 10-15.
- Lemaître, G. (1927).** L'univers en expansion. *Ann. Soc. Sci. de Bruxelles*, 47, 49. Translated in *MNRAS*, 91, 483. 1931.
- Marshack, A. (1991).** *The roots of civilization*. Mount Kisco, NY: Colonial Hill.
- Matteucci, F. (1996).** Galaxy evolution. *Fundamentals of Cosmic Physics*, 17, pp. 283-396.
- Penzias, A. and Wilson, R. (1965).** A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*, vol. 142, pp. 419-421.
- Percival, W.H., et al. (2002).** Parameter constraints for flat cosmologies from cosmic microwave background and 2dFGRS power spectra, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 337, 1068-1080.
- Planck, M. (1936).** *Wissenschaftliche Selbstbiographie*, 47.
- Planck Collaboration (2011).** Planck early results. I. The Planck mission, *Astronomy and Astrophysics*, 536, A1, 2011.
- Polkinghorne, J. (1996).** *Beyond Science: The Wider Human Context*. Cambridge University Press.

- Schiapparelli, G. (1903).** Astronomy in the Old Testament. Oxford: Clarendon Press, p. 33.
- SDSS-III collaboration (2011).** The Eighth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey: First Data from SDSS-III. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 193 (2).
- Smoot, G.F. *et al.* (1992).** Structure in the COBE differential microwave radiometer first-year maps. *Astrophysical Journal* 396 (1992), L1.
- Spergel, D. N., *et al.* (2007).** Three-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: implications for cosmology. *Astrophysical Journal Supp.*, 170, 377.
- Wigner, E. P. (1960).** The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences, *Communications on Pure and Applied Mathematics* 13, N^{o.} 1: 7, 14.

EXOPLANETAS, VIDA Y TRASCENDENCIA HUMANA

Jennifer Wiseman

American Association for the Advancement of Science, Washington, EE.UU.

Breve CV

Jennifer Wiseman es astrofísica. Actualmente ejerce como directora científica del proyecto para el Telescopio Espacial Hubble en el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA. Su investigación se centra en los mecanismos de formación de estrellas y planetas. Anteriormente dirigió el Laboratorio Goddard de Exoplanetas y Astrofísica Estelar, y ha organizado debates sobre Ciencia, Ética y Religión (DoSER), a cargo de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia.

Abstract

In recent years, astronomers have detected over 600 planets outside of our own solar system, and many more are being identified as possible planets. Thus very rapidly the study of these “exoplanets” has moved from being in the realm of science fiction to being a top priority of the world’s astronomical programs. Actual images of extra solar planets are now being revealed for the first time. The NASA-ESA Hubble Space Telescope is already characterizing the atmospheres of Jupiter-like planets in other systems. And the recent launch of the NASA Kepler space telescope is enabling the first statistical assessment of how common solar systems like our own really are.

Will we find planets like “Earth”? How will we know if there’s life beyond Earth? And what will finding (or not finding) other life-friendly planets mean for our understanding of human significance and our

relationship to God? As we begin to characterize these “other worlds” and assess their habitability, the question of the significance and uniqueness of life on Earth will impact our society as never before. I will provide a comprehensive overview of the techniques and status of exoplanet detection, followed by reflections as to the societal impact of finding out that Earths are common, or rare. Will finding other potentially habitable planets create another “Copernican Revolution”? Will perceptions of the significance of life on Earth change when we find other Earth-like planets? I will discuss the intriguing implications for humans of searching for life elsewhere.

Palabras clave

Religión, Astronomía, Exoplanetas, Vida extraterrestre.

MÁS ALLÁ DE NUESTRO SISTEMA SOLAR

Vivimos en tiempos cruciales para el descubrimiento astronómico. Durante las últimas dos décadas, los astrónomos han desarrollado técnicas que han permitido detectar cientos de planetas que orbitan estrellas diferentes a nuestro Sol, y miles de sistemas estelares que muestran alguna evidencia de albergar planetas. Este logro notable ha transformado la noción de la existencia de planetas extrasolares y posiblemente vida, desde un ámbito meramente ficcional a otro, esencialmente científico. De hecho, el campo de la “astrobiología” –que contempla el estudio de las condiciones necesarias para la vida terrestre y extraterrestre– tiene actualmente carácter prioritario en los programas espaciales más importantes del mundo incluyendo la NASA.



Figura 1. Exoplaneta en tránsito HAT-P-7b, también conocido como Kepler 2b (composición artística). Este planeta gigante es más grande que Júpiter y orbita alrededor de una estrella más caliente que nuestro Sol. Cuando estos exoplanetas transitan por delante de sus respectivas estrellas, es posible estudiar la luz absorbida por su borde atmosférico y determinar su tamaño, aunque aún no es posible obtener imágenes detalladas (Fuente: NASA, ESA, y G. Bacon).

TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE EXOPLANETAS

Encontrar planetas que orbitan otras estrellas constituye un auténtico desafío tecnológico. Los planetas son excesivamente pequeños comparados con las estrellas y al no emitir luz propia, quedan ocultos por el resplandor de su estrella, que suele ser mil millones de veces más brillante. Por esta razón, hasta hace poco, la teoría de que otras estrellas distintas de nuestro Sol albergasen planetas carecía de observaciones reales que lo confirmaran.

Al inicio del año 1990, se produjeron las primeras detecciones confirmadas de planetas extrasolares, o “exoplanetas”. Aunque estos planetas no eran visibles, podían ser inferidos mediante la detección de oscilaciones de sus respectivas estrellas, que obedecen a efectos gravitacionales. La luz procedente de estrellas experimenta ligeros cambios periódicos en su color aparente (calculado en términos de frecuencia o longitud de onda) entre el azul y el

rojo según las fuerzas gravitacionales alejen o acerquen a dichas estrellas. El grado de desplazamiento depende de factores como la inclinación de la órbita con respecto al observador y las masas de la estrella y del planeta. Este fenómeno se denomina “efecto Doppler”. Así, mediante la detección y medición de variaciones de frecuencia durante inspecciones estelares, los astrónomos comenzaron a descubrir un creciente número de exoplanetas junto con sus rangos de masa estimados y períodos orbitales, incluso cuando se encontraban múltiples planetas en un sistema. A finales del año 2000, cientos de exoplanetas ya habían sido detectados, la mayoría mediante el uso de la técnica Doppler con telescopios terrestres y gracias al desarrollo de instrumentos cada vez más sofisticados.



Figura 2. Incremento del número de exoplanetas descubiertos por año, hasta mayo de 2012.

A finales de los años noventa y dos mil, se puso a punto otra técnica indirecta para el estudio de los exoplanetas. Mediante la observación de sistemas de estrellas/planetas en los que las órbitas planetarias estaban alineadas en el campo visual del observador, los astrónomos podían detectar el casi imperceptible descenso que se producía en la emisión de la estrella con cada órbita de un planeta, al eclipsar una mínima parte de la luz que detectamos. Estos sistemas “en tránsito” permiten la determinación del tamaño de exoplanetas. Además,

como la luz de la estrella viaja a través del anillo exterior de la atmósfera del planeta en su camino hacia nosotros, una parte de la luz es absorbida, dándonos evidencia espectroscópica de la composición química de la atmósfera planetaria.

Tras la inauguración en 2009 del Observatorio Espacial Kepler de la NASA, que inspecciona unas 100.000 estrellas, en busca de planetas en tránsito, las observaciones de tránsito se han convertido en una herramienta clave para estimar estadísticamente qué proporción de las estrellas tienen planetas, así como los tamaños planetarios y distancias orbitales. En algunos casos, se han observado grandes exoplanetas gaseosos, directamente mediante el bloqueo de luz de una estrella vecina. Así, en solo dos décadas, hemos pasado de las primeras detecciones rudimentarias de unos pocos exoplanetas a cientos de exoplanetas confirmados, y adquirido nociones de las características de estos planetas y sistemas. El estudio de exoplanetas se ha convertido en tema central de la astronomía en todo el mundo, constituyendo un notable avance dentro del ámbito científico.

¿EXISTEN OTROS PLANETAS COMO LA TIERRA?

Considerando la conmoción suscitada por el éxito inicial en la búsqueda de planetas fuera de nuestro sistema solar; es evidente, desde las primeras detecciones, que la mayoría de estos planetas son muy diferentes de la Tierra. Los más fáciles de detectar son gigantes mundos gaseosos con una superficie sólida, similares a Júpiter. Algunos tienen años orbitales que parecen imposiblemente cortos, realizando todo el viaje alrededor de su estrella madre en menos de cinco días. Estos planetas de rápido movimiento están también muy cerca de sus estrellas, haciéndolos increíblemente calientes.

La misión Kepler ofrece un mero atisbo de la distribución estadística de los planetas. Si bien los sistemas observados se encuentran muy lejanos para facilitar un estudio detallado, los resultados iniciales de la misión indican que, en promedio, cada estrella tiene un planeta (algunos tienen más de uno, otros no tienen ninguno). La mayoría de los planetas son del tamaño de Neptuno, o más grandes. Sin embargo, una fracción sustancial es solo 1-2 veces el tamaño de la Tierra.



Figura 3. Primeros resultados del Observatorio Espacial Kepler, que muestran la distribución del número de exoplanetas en tránsito detectados. Planetas del tamaño de Neptuno son los más comunes, pero muchos de ellos son similares en tamaño a la Tierra (Fuente: NASA Ames/Wendy Stenzel).

La mayoría de los planetas no se encuentran en órbitas que permitan la existencia de agua líquida, necesaria, al menos en la Tierra, para sustentar las formas de vida. De hecho, la “zona habitable” alrededor de las estrellas es bastante restrictiva. Dicha zona se encuentra a una distancia de la estrella donde la temperatura del planeta sería lo suficientemente caliente para evitar que el agua se congele, pero lo suficientemente fría como para evitar la ebullición. Las delimitaciones de la zona habitable de una estrella dependen del brillo de ésta. En febrero de 2012, la misión Kepler detectó diez planetas lejanos, similares en tamaño a la Tierra, que se encuentran en las zonas habitables de sus estrellas. Sin embargo, la habitabilidad real de un planeta (o sus lunas) podría depender de muchos otros factores, tales como el destello de la estrella, la excentricidad de la órbita del planeta, y la composición y el carácter de efecto invernadero de su atmósfera.

LA BÚSQUEDA DE VIDA EN OTROS MUNDOS

Incluso si un planeta es habitable, esto no significa que haya vida en él. ¿Cómo podemos detectar vida en un exoplaneta? Dado que no tenemos los medios para viajar a otros sistemas estelares, debemos confiar en la teledetección mediante telescopios. Es imprescindible conocer los signos presentes en la atmósfera del planeta que podrían indicar la presencia de vida. La astrobiología es una ciencia de nueva creación, dedicada al estudio de las condiciones en la Tierra y en otros lugares del espacio necesarias para sustentar vida. Determinados estudios astrobiológicos predicen qué tipo de “biomarcadores” podríamos distinguir como evidencia de vida en un mundo lejano. Para ello se emplean técnicas de dispersión espectroscópica de la luz y la observación de los colores constituyentes, obteniendo patrones de frecuencia de los diferentes elementos de la atmósfera.

De esta forma, la presencia de vapor de agua en la atmósfera de un exoplaneta constituye posiblemente un indicador importante de habitabilidad (aunque no prueba que el planeta esté ciertamente *habitado*). Otro biomarcador conocido es el *metano*, que en la Tierra es emitido por ciertas formas de vida, especialmente el ganado. Pero el metano también puede ser producido geológicamente, por lo que tendríamos que considerar también las fuentes no-biológicas. El *oxígeno* en diversas formas puede ser un importante indicio de actividad biológica en desarrollo. Nuestro propio planeta tiene una gran cantidad de oxígeno en la atmósfera debido a la abundante fotosíntesis de la vida vegetal en constante regeneración del suministro de oxígeno. Sin la vida de las plantas, todo el oxígeno reaccionaría con otros elementos y desaparecería de nuestra atmósfera. Otro factor a considerar es la fase evolutiva en que se encuentra el planeta observado. En las primeras épocas de la vida en la Tierra, la atmósfera habría aparecido muy diferente de su composición actual, con mayores concentraciones de dióxido de carbono, y diferentes tipos de vida dominante como las cianobacterias y los organismos metanogénicos. Así que tenemos que darnos cuenta que otros planetas podrían encontrarse en diferentes estadios evolutivos con diferentes patrones atmosféricos compatibles con actividad biológica.

En la actualidad, todavía no tenemos la tecnología para hacer este tipo de estudio detallado de las atmósferas de planetas terrestres extrasolares, pero nos estamos acercando. Uno de los objetivos buscados con impaciencia por los astrónomos es la rápida mejora de la tecnología de modo que incluso planetas tan

pequeños como la Tierra puedan ser fotografiados directamente y estudiados espectroscópicamente en busca de indicios de agua, biomarcadores y vida.

LA TRASCENDENCIA DE ENCONTRAR OTRAS FORMAS DE VIDA INTELIGENTE

El objetivo prioritario de los astrónomos es detectar indicios de vida simple en otros planetas, tal vez de tipo bacteriano o vida vegetal. Tal descubrimiento proporcionaría la confirmación decisiva del desarrollo de vida, más allá de la Tierra. Sin embargo, percibir la presencia de vida *inteligente* o *avanzada* representa un reto muy diferente. Desde la década de los años 60, el programa de Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre (SETI) ha estado explorando el universo en busca de señales electromagnéticas que pudieran haber sido intencionadamente enviadas por alguna civilización extraterrestre. Dichas técnicas y estrategias de búsqueda han aumentando con el tiempo su sofisticación. Mientras que los más optimistas consideran la posibilidad de encontrar otras formas de vida inteligente en el universo, hay otras razones que incitan a algunos científicos a desestimar tal posibilidad, incluso ante la evidencia de un gran número de exoplanetas. Dichos argumentos tienen que ver con la inconmensurable magnitud del universo, el tiempo necesario para la comunicación electromagnética, y el lapso de tiempo durante el cual, las civilizaciones emprenden dicha comunicación (Bennett, 2008).

Si bien el hecho de establecer contacto con otras formas de vida inteligentes no parece inminente, la existencia de más de 100.000 millones de estrellas (solamente en nuestra galaxia), significaría que la posibilidad de encontrar signos de vida simple o avanzada en otros planetas resulte verosímil. Por esta razón, es importante considerar cómo tal descubrimiento afectaría a nuestras concepciones actuales sobre la vida en la Tierra.

LA TRASCENDENCIA ESPIRITUAL DE ENCONTRAR VIDA EN OTROS LUGARES

A medida que la ciencia va centrando su interés en la búsqueda de vida en otros planetas, la expectativa de que exista vida más allá de nuestro planeta comienza a adquirir un significado renovado. ¿Cómo reaccionaría la sociedad con la confirmación de la existencia de vida en otros planetas? ¿Qué repercusiones tendría si se tratara de vida inteligente? O, de otra forma, ¿Cuál sería nuestra

reacción al conocer que las duras condiciones en otros planetas indicaran que estamos solos; aceptaríamos tal posibilidad?

Las religiones y sus respuestas acerca de la existencia de vida extraterrestre

La mayoría de las tradiciones religiosas aceptan, de alguna forma, la existencia de otros sistemas planetarios e incluso de vida simple más allá de la Tierra en términos ajustados a sus propias creencias. Respecto a las filosofías orientales, la extensión del mundo natural a los espacios más allá de la Tierra no plantea cuestiones controvertidas. Para las religiones judaicas monoteístas, la idea de que Dios creó la Tierra y toda forma de vida en ella, es igualmente fehaciente en cualquier lugar del universo, ya sea a través de un milagro o por medio de procesos evolutivos. El Islam sostuvo por lo menos la idea de “otros mundos”. En el volumen 4 de la *Matalib*, el Imam Al-Razi (1150-1210 d.C.) afirma: “...Él, el Altísimo, tiene el poder (*qadir*) para crear miles y miles de mundos (*alfa alfi awalim*) más allá de este mundo, de tal manera que cada uno de esos mundos sea más grande y más sólido que este mundo”. De hecho, en muchas religiones, la abundancia de planetas y de vida sencilla en el universo, que trasciende a nuestra propia diversidad terrenal, puede ser interpretado como un hecho en coherencia con la inconmensurabilidad del poder de Dios, así como la fecundidad y creatividad de su obra, y su amor por la vida.

¿Cuál es el significado del término “vida inteligente”? ¿Se trata de seres que son conscientes de sí mismos y pueden tomar decisiones morales similares a las de los seres humanos? Si bien las posibilidades de encontrar estos seres resultan escasas, podemos establecer ciertas consideraciones acerca de la trascendencia de su existencia. ¿Daría lugar la existencia de civilizaciones más allá de nuestro planeta, a un profundo replanteamiento, o quizá a desechar las actuales creencias religiosas? Según una encuesta realizada por el teólogo Ted Peters, parece poco probable que tal hecho se produzca. En su *Estudio sobre la crisis religiosa*, Peters preguntó a personas de diversos credos religiosos si el descubrimiento confirmado de una civilización de seres inteligentes en otro planeta podía desafiar sus creencias hasta el punto de originar una crisis personal (Peters y Froehlig, 2008; Peters, 2009). Respecto al conjunto de encuestados (judíos, protestantes, católicos, ortodoxos, budistas, mormones y no religiosos), más del 90% dijeron que tal hecho no supondría una crisis. Si bien algunos entrevistados eran de la opinión de que miembros de otros grupos religiosos son más vulnerables, parece que la

mayoría de los encuestados estima que su fe es compatible con la existencia de otras formas de vida, más allá de la Tierra.

Jesucristo y la vida en otros mundos

Trascendiendo a meras encuestas de opinión y desde el punto de vista de la fe cristiana en particular, resulta ineludible reflexionar sobre las implicaciones de la existencia de vida extraterrestre inteligente. Para ello, debemos revisar los principios básicos de la fe cristiana clásica, teniendo en cuenta las diversas interpretaciones que existen, establecidas por sus diferentes facciones:

- 1) La Creación es buena (por cualquier medio (incluso la evolución) que se desarrolle y sea efectivo), y Dios es el “autor” de la misma.
- 2) Dios ama a las personas.
- 3) Los seres humanos reflejan la imagen de Dios, pero todos están separados (“caídos”) de esa imagen ideal y de su relación con Dios, y necesitan la redención y la restauración de la paz con Dios (la creencia católica en particular, afirma la existencia del “pecado original” que se transmite desde los primeros humanos).
- 4) Dios se ha “encarnado” –se ha hecho humano– en Jesucristo, para ayudar, restaurar, redimir y salvar al hombre. Su vida representa un ejemplo de cómo la gente debe vivir. Él murió físicamente, y al hacerlo, pagó por nosotros la culpa de nuestro pecado, y luego resucitó físicamente a la vida (hecho conocido como el Evangelio o la Buena Nueva). Desde entonces, el hombre puede elegir libremente vivir en comunión con su espíritu vivo. El mundo entero y el cosmos participan (o participarán) de los beneficios de su redención. Y Él volverá en el futuro.

Un cristiano puede preguntarse: ¿De qué forma afectaría la presencia humana de Jesús a los extraterrestres? ¿Podría experimentar la vida extraterrestre, la presencia y la redención de Dios “en persona” igual que en la Tierra, por medio de Jesucristo? ¿Es la vida inteligente de otros lugares pecadora, y necesita de su redención? ¿Podría “Cristo” aparecerse en diversas formas no humanas en otros lugares? ¿Lograría su aparición en la Tierra, la completa redención de la vida en todas partes?

La Biblia dice que “Jesucristo, el Justo... es la propiciación por nuestros pecados, y no solamente por los nuestros sino también por los pecados del mundo entero” (1 Juan 2:2). ¿Este “mundo entero” incluye todo el universo? Muchos piensan que sí.

Católicos, protestantes y la vida más allá de nuestro planeta

En 2009, la Pontificia Academia Vaticana de las Ciencias celebró su primera conferencia importante sobre astrobiología. Como citó el *Washington Post* (Kaufman, 2009), el Padre José Funes, director del Observatorio Vaticano, dijo: “¿Por qué el Vaticano participa en la astrobiología? Aunque la astrobiología es un campo emergente y sigue siendo todavía una ciencia en pleno desarrollo, las cuestiones sobre el origen de la vida y si existe vida en otras partes del universo, son ciertamente relevantes y merecen consideración. Las reflexiones anteriormente expuestas, tienen implicaciones tanto filosóficas como teológicas”. El Padre dominico Augustine Di Noia, subsecretario de la Congregación Vaticana para la Doctrina de la Fe, dijo: “Los cristianos siempre han entendido que el cosmos en su conjunto es una creación de Dios, que toda vida en cualquier parte es una creación divina. No habría absolutamente ningún motivo de escándalo si los científicos establecieran la existencia de vida en otros lugares”.

Y, sin embargo, persiste una controversia subyacente. El físico Paul Davies estimó que los posibles retos a la fe cristiana habían sido subestimados. En el mismo artículo del *Washington Post*, Davies dijo: “Creo que el descubrimiento de un segundo génesis sería de una gran trascendencia espiritual... La verdadera amenaza vendría del descubrimiento de inteligencia extraterrestre, porque si hay seres en otros lugares del universo, entonces los cristianos están en un terrible aprieto. Ellos creen que Dios se encarnó en la persona de Jesucristo con el fin de salvar a la humanidad, no a los delfines o chimpancés o pequeños hombres verdes de otros planetas”. Sin embargo el padre O’Collins de la Universidad Gregoriana ofreció un pensamiento conciliador en una entrevista de 2004 con el *National Catholic Reporter*: “Al final, si hay extraterrestres, los cristianos pueden afirmar con confianza que ellos también son salvados por Cristo, aún cuando la cuestión de la salvación conlleve otras reflexiones”.

¿Cómo afectan estos planteamientos a los protestantes? Hay muchas denominaciones protestantes, con muy diversas opiniones sobre la vida extraterrestre. Mientras que algunos piensan que el propósito de la Biblia se centra en la

redención humana y, por lo tanto, la existencia de inteligencia no humana y seres morales es descartable, otros tienen una visión más amplia. El académico y estimado escritor C. S. Lewis escribió la novela reflexiva *Fuera del planeta silencioso* y posteriormente, libros que tratan sobre el estado espiritual de civilizaciones imaginarias en otros planetas. El conocido evangélico Billy Graham dijo: “Estoy firmemente convencido de que hay seres inteligentes como nosotros muy lejos, en el espacio, que adoran a Dios. Pero no tenemos nada que temer de estas personas. Como nosotros, ellos son creación de Dios” (Peters, 2003).

Trascendencia de la humanidad en un universo ilimitado

A menudo se especula que la búsqueda de vida en otros lugares mermaría nuestro sentido de la trascendencia humana en el universo, al igual que la revolución copernicana descartó el concepto de la Tierra como el centro del Cosmos. Nos preguntamos, ¿qué hay de cierto en ello? ¿Tiene trascendencia ser común o raro? ¿Se necesita ser “central”, “inusual”, o “longevo” para adquirir relevancia?

Ciertamente, el reciente conocimiento de la existencia de cientos de miles de millones de galaxias en el universo, cada una con cientos de miles de millones de estrellas y una gran parte de ellas que probablemente alberguen planetas, debería hacernos sentir ciertamente humildes cuando hablamos del pequeño lapso de espacio y tiempo en este enorme universo. Pero esa conciencia también puede hacer que el hombre sea consciente del enorme privilegio que significa formar parte del gran cosmos, aún por tan corto espacio de tiempo.

Además, debemos evitar interpretar percepciones contemporáneas basándonos en otros contextos históricos. Estudios literarios de la época copernicana apuntan la idea de que ser desplazado del “centro” suponía una elevación y no necesariamente una degradación (Danielson, 2001; Singham, 2007).

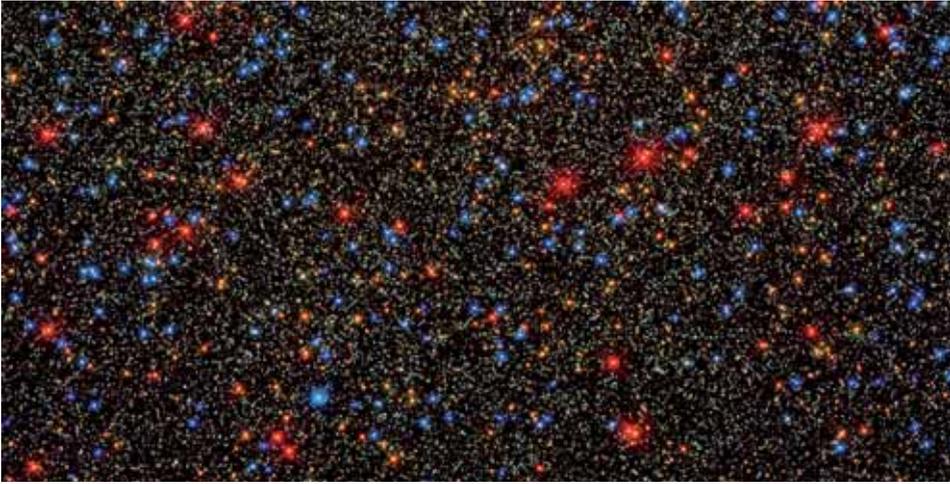


Figura 4. El cúmulo estelar Omega Centauri, visto con la cámara Wide Field 3 en el Telescopio Espacial Hubble. Este grupo contiene miles de estrellas, con una hermosa variedad de colores y tamaños. Teniendo en cuenta que nuestra galaxia, la Vía Láctea, contiene miles de millones de estrellas y la mayoría de las estrellas puede albergar al menos un planeta, la posibilidad de que existan otros mundos es asombrosa (Fuente: NASA / STScI).

Para quienes buscan en la Biblia sabiduría y consejo, hallamos que bíblicamente las personas son importantes, no por nuestra posición en el espacio y el tiempo, sino por la voluntad y el amor de Dios:

“Como un padre siente ternura por sus hijos, así el Señor se compadece de los que le temen (reverencian), porque él sabe de nuestra naturaleza, se acuerda que somos polvo. La vida de los mortales es como la hierba... Pero desde la eternidad hasta la eternidad del amor del Señor está con los que le temen (reverencian)... Alabado sea el Señor, todas sus obras por todas partes en su dominio” (Salmo 103).

De hecho, los cristianos, no somos los primeros en mirar a los cielos, sentirnos insignificantes y reconocer que nuestra importancia viene de Dios. En el Salmo 8 del Rey David leemos:

*Cuando veo tus cielos, la obra de tus dedos,
la luna y las estrellas, que tú formaste,
digo: ¿Qué es el hombre, para que tengas de él memoria?
¿Y el hijo del hombre para que lo visites?
Le has hecho un poco menor que a los ángeles,
y le coronaste de gloria y de honra.*

Interpretación de la vida extraterrestre a la luz de la fe

Vivimos momentos apasionantes, en los cuáles, tras los recientes descubrimientos de los primeros exoplanetas, se siguen produciendo miles de detecciones. Continuos avances de la tecnología posibilitan la detección de planetas de tamaño similar a la Tierra en zonas habitables alrededor de sus estrellas madre. Pronto estaremos en condiciones de analizar sus atmósferas planetarias en busca de signos de vida. Sería conveniente plantearse la siguiente cuestión: ¿cómo reaccionaría la sociedad y cómo lo harían los diferentes grupos religiosos ante la evidencia (o no) de la existencia de otras formas de vida? El descubrimiento de exoplanetas, e incluso la vida fuera de la Tierra es probable que sea recibido con entusiasmo por la mayoría de las confesiones religiosas como una muestra de la grandeza de Dios. Sin embargo, como hemos visto, para los creyentes cristianos el descubrimiento de vida inteligente extraterrestre plantea una consideración especial, al requerir que los efectos de la “encarnación” de Dios en la Tierra sean extensibles a todas las formas de vida del cosmos. Otra consideración ante tales descubrimientos que se plantea el ser humano, y en especial la mayoría de los creyentes, es un renovado respeto por nuestro planeta Tierra. Aunque probablemente sea cierto que existan otros planetas, encontrar planetas con las condiciones necesarias para sustentar formas de vida, como las presentes en la Tierra, puede resultar difícilmente verificable. Esta perspectiva puede suscitar en nosotros un sentido más apreciativo de la vulnerabilidad de nuestro planeta, que promueva nuestro compromiso para una administración más responsable de la Tierra que habitamos.

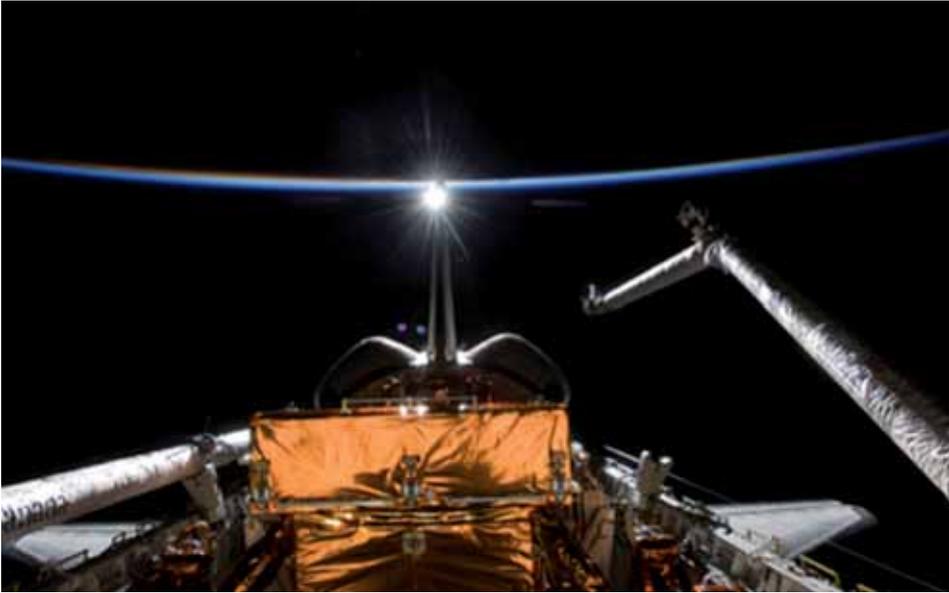


Figura 5. Vista del horizonte de la Tierra desde transbordador espacial. La estrecha franja de color azul nos recuerda la fragilidad de nuestro planeta, y nuestra necesidad de ser buenos guardianes de la misma (Crédito: NASA).

REFERENCIAS

- Bennett, J. (2008).** *Beyond UFOs: The Search for Extraterrestrial Life and Its Astonishing Implications For Our Future.* Princeton University Press
- Crowe, MJ (2008).** *The Extraterrestrial Life Debate, Antiquity to 1915: A Source Book.* University of Notre Dame Press.
- Danielson, D. (2001).** The Great Copernican Cliché, *American Journal of Physics* 69.10 (Oct.): 1029-1035.
- Kaufman, M., (2009).** “When E.T. Phones the Pope”, *The Washington Post.*
- Peters, T. y Froehlig, J. (2008).** “The Peters ETI Religious Crisis Survey.” <http://www.counterbalance.org/etsurv/index-frame.html>.
- Peters, T. (2009).** “Astrotheology and the ETI Myth,” *Theology and Science*, 7:1, pp 3-30.

Peters, T. (2003). Science, Theology, and Ethics, Ashgate Science and Religion Series, Ashgate Pub. Ltd.

Singham, M. (2007). The Copernican Myths, Physics Today, American Institute of Physics, p. 48.

¿PODREMOS CREAR ALGUNA VEZ MÁQUINAS HUMANAS?

Fernando de Arriaga

Departamento de Matemática Aplicada, Escuela T. S. de Ingenieros de Telecomunicación,
Universidad Politécnica de Madrid, España

Breve CV

Fernando de Arriaga es Doctor Ingeniero por la Universidad Politécnica de Madrid, Doctor en Informática por la Universidad de Standford y Doctor en Matemáticas por la Universidad Complutense. Ha sido catedrático de matemática Aplicada de la Universidad Politécnica de Madrid (1970-2005), donde actualmente es profesor emérito. Su investigación se ha centrado en sistemas de conocimiento experto y, más específicamente, sobre sistemas multi-agente y enseñanza a distancia. Ha sido director general del Ministerio de Economía y Administrador general y miembro del Consejo de Dirección de Burns & Roe Ltd.

Abstract

It is difficult to answer properly this question due to the extraordinary number of unknowns and the ambitious time range it includes, but some clues will be given to try to answer the question in a reasonable way. Starting from several existing definitions of Artificial Intelligence (AI), its actual status will be discussed, as well as the different dilemmas set up through the history: strong AI, soft AI, hard AI, distributed AI. After that, the original question will be divided into the following ones: –can a machine have a mind? –can a machine have emotions? –can a machine be creative? –can a machine be benevolent or hostile? –can a machine be self aware? –can a machine have a soul? –can a machine

know God? Specific problems set up by the possible answers to these questions will be discussed.

Palabras clave

Antropología, Informática, Inteligencia Artificial, Religión.

INTRODUCCIÓN

Quisiera empezar esta intervención afirmando que no he sido yo quien ha elegido este título. En realidad me fue sugerido, y aunque inicialmente sentí una cierta zozobra por su amplitud y complejidad, he llegado a asumirlo como un reto, a pesar de que soy consciente de mis limitaciones para abordarlo. Además de la dificultad del tema, numerosas otras cuestiones surgen rápidamente en relación con el mismo, como inmediatamente comprobaremos. De todas formas, mi dilatada vida ha dado lugar a muchos años de trabajo profesional, tanto en el campo académico como en la industria, que me permitirán traer a colación diversas experiencias personales en defensa de mis planteamientos. Quede claro que estas experiencias no pretenden ser excepcionales ni superiores a otras muchas existentes en el mundo, pues con el correr de los años la ciencia y la tecnología van superando siempre con creces lo que en su momento pareció un hallazgo importante, pero para mí esos trabajos presentan una enorme ventaja, que es precisamente el haberlos vivido con sus preocupaciones, sus pequeños logros y sus fallos, y esa vivencia me permitirá referirme, cuando el momento lo requiera, a detalles y particularidades que todavía están en mi mente.

Con esas intenciones pretendo arrancar muy brevemente del estado actual de confusión sobre lo que el hombre es y pretende ser, para pasar a analizar indirectamente el impacto de la ciencia y de la tecnología sobre él mismo.

LA MUERTE DEL HOMBRE

La finitud temporal creo que es la que más aterra al hombre porque es la que más le impulsa a un final, ¿una desaparición total? ¡sin duda!, si solo aceptamos nuestra percepción empírica inmediata, sin ninguna consideración ulterior sobrenatural. Aquí parecen resonar las palabras de Blondel sobre su método de la inmanencia como solución al problema de la articulación de lo natural y lo sobrenatural a partir de la aspiración del hombre que insensiblemente se rebela

contra su finitud y del don de Dios que le eleva a una vida eterna sobrenatural. El método había sido en cierto modo previsto o adivinado por Léon Brunschvieg, y usado por Blondel en su filosofía de la acción estableciendo el deseo del infinito como el punto de partida y el principio de toda la investigación, pero dejemos estas cuestiones filosóficas, muy atrayentes, para centrarnos en nuestro problema.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En 1945, Alan Turing, uno de los grandes padres de la Inteligencia Artificial, impartió una importante conferencia en la Royal Society de Londres con el título: *¿Pueden las Máquinas Pensar?*, publicada posteriormente. El clamor de esa conferencia y el de sus defensores y detractores todavía no se ha apagado a pesar de los años transcurridos. Precisamente al reflexionar sobre esa pregunta se me ocurrió partir de ella, modificarla después, para así llegar a la cuestión básica de nuestro tratamiento.

Cuestión básica: ¿Crearé el hombre alguna vez una máquina humana?

En principio esa posibilidad parece aludir a la creación en la máquina de una inteligencia artificial; ¿podrá ser alguna vez la máquina tan inteligente como el hombre?

En rigor, esa pregunta básica plantea sobre la mesa otra pregunta fundamental que es necesario contestar antes de ser capaz de intentar respuestas parciales; lleva siglos planteada y las casi infinitas soluciones propuestas a lo largo del tiempo no han sido capaces de cerrar el problema que aborda: ¿qué es el hombre? Sin saber qué es el hombre en toda su amplitud no podremos ser capaces de saber si alguna vez podremos construir máquinas humanas.

Pero la antropología, como la filosofía, está en crisis, pues es fácil hoy día advertir planteamientos muy heterogéneos y sobre todo carentes de un sentido global sobre la figura del hombre. Así cabría hablar de antropologías especializadas como: cultural, física, social, etc. Se aprecia una resistencia o quizás un miedo a dar una interpretación global y profunda del hombre teniendo en cuenta que las restantes ciencias empíricas en las que se apoya la antropología no pueden aportar esa visión global del hombre a la que la ésta, sin epítetos o calificativos, aspira.

Aún sería más pretencioso por mi parte esbozar ahora en unas pocas líneas un intento de antropología. Por tanto, la única solución que cabe a mi entender

es la de considerar las principales dimensiones del hombre, que están patentes ante nuestra experiencia, procurando que su aceptación sea numerosa, multitudinaria si es posible.

También sobre este particular se ha especulado a lo largo de los siglos destacando siempre alguna dimensión como fundamental y característica del hombre que lo diferencia de los seres creados. Así, el hombre ha venido a ser *animal simbólico*, *animal pensante*, *animal cibernético*, etc. En consecuencia creo que en vez de destacar solo alguna de sus características, será mejor enumerar las que parecen más importantes, incluso con el riesgo de dejar algunas en el tintero.

Las dimensiones adoptadas son las siguientes:

- El hombre es un ser que piensa, que razona. No pretendemos con ello afirmar con Descartes que ese “cogito” o pensar, es el único y radical elemento de partida del ser constitutivo del hombre, sino tan solo hacer patente una característica importante del ser humano.
- El hombre posee una mente, es persona, en otras palabras, es sujeto y poseedor de un “yo” que le diferencia de los otros hombres y de la naturaleza. Es posible que en la actualidad esta caracterización del hombre sea la más denostada, al menos en relación con toda la grandiosidad que se atribuyó a la persona humana como sujeto significante y medida del universo. Nuestro planteamiento va a ser mucho más modesto: nos conformaremos aquí con contemplarlo como sujeto de un “yo” diferenciado y diferenciador del resto de la naturaleza, capaz de tomar decisiones autónomas tanto personales como familiares, profesionales, económicas y sociales. A ese “yo” iremos incorporando diversos atributos empíricamente obvios.
- Una de las características más importantes que posee su mente, su “yo”, es la posibilidad de aprender autónomamente de su propia experiencia y de la ajena. Se trata de afirmar, como todos comprobamos, que el hombre es un ser “realimentado” o cibernético; que es capaz de reconsiderar sus acciones y las del resto de la naturaleza para realizar un cambio de comportamiento.
- Otra característica importante de su “yo” es la capacidad creativa, con todo lo que ello conlleva. Puede producir “novedades”, realidades impensadas anteriormente que implican cambios importantes de concepción, diseño, actuación o consecuencias.

- El sentimiento, la afectividad, es otro factor sumamente importante que regula una parte importante de su pensamiento, acción y toma de decisiones. Puede, incluso, entrar en conflicto con los aspectos cognitivos del hombre.
- Pero el comportamiento habitual del hombre suele ser más informal, utilizando otros factores menos relumbrantes pero igualmente importantes como el razonamiento relajado, el uso de creencias y prejuicios, aunque también está presente la afectividad y la lógica, especialmente cuando se presenten situaciones de conflicto o de crisis.
- El último aspecto del hombre que consideraremos será su dimensión religiosa. Soy consciente de que la inclusión de este aspecto puede ser muy controvertida para quienes se esfuerzan por demostrar que esa dimensión no es una característica “natural” del hombre, pero desde un planteamiento amplio que atribuye esa dimensión religiosa tanto al hecho de su aceptación con la práctica de una religión, como a la respuesta consciente agnóstica o atea, creo que nadie podrá negar racionalmente la presencia de esa dimensión desde los orígenes del hombre, pues no en vano el hombre es el único ser vivo que enTierra a sus muertos.

Es indudable que habría que considerar otras dimensiones complementarias, pues el misterio del hombre no se agota con esos elementos. Todavía cabría hablar de otros aspectos importantes como las diversas interrelaciones existentes entre esas dimensiones, pero por razones de espacio omitimos esas consideraciones.

En relación con cada una de estas dimensiones aparecerá una pregunta parcial que tratará de trasladar esa capacidad correspondiente a la máquina. En consecuencia, las preguntas parciales que abordaremos serán:

1. ¿Pueden las máquinas pensar?
2. ¿Pueden las máquinas aprender autónomamente?
3. ¿Pueden las máquinas tener una mente?
4. ¿Pueden las máquinas ser creativas?
5. ¿Pueden las máquinas tener emociones?

6. ¿Pueden las máquinas aproximarse al razonamiento humano informal y ordinario?
7. ¿Pueden las máquinas conocer a Dios?

A continuación trataré de ir respondiendo, en lo que cabe, a cada una de esas preguntas, aun teniendo en cuenta que cada una de ellas puede ser interpretada de manera diversa por referirse a aspectos de difícil definición y precisión.

PUNTO DE PARTIDA: LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Como precedente obligado quiero empezar por situarme dentro de la revolución permanente que se está llevando a cabo en las ciencias de la computación y telecomunicaciones. En relación con la misma cabe afirmar que la informática ha constituido la segunda revolución industrial llamada a transformar la sociedad aún más que la primera, y que viene soportada por la revolución paralela que se produce en el campo de la electrónica y las comunicaciones. Es bueno hacer referencia a una serie de características de la informática y telecomunicaciones que, desde el punto de vista del usuario, permiten apreciar su papel y su importancia. Algunas de ellas son obvias, otras no, pero su conjunto es el que las califica de manera muy singular.

Como característica previa aparece su espectacular desarrollo y mejora crecientes, que pueden calificarse de ritmo *exponencial* de crecimiento de las posibilidades del ordenador (*hardware*), la máquina por antonomasia, y un ritmo *proporcional* de crecimiento de las posibilidades de la programación (*software*). Este ritmo se ha mantenido desde los orígenes de la Informática en los años cuarenta y todavía no se vislumbra su disminución. Otras características importantes son:

- Posibilidad de un *volumen enorme de almacenamiento* de información que aumenta con las sucesivas generaciones de ordenadores. Todavía hay que añadir que la información almacenada puede estructurarse adecuadamente de manera que sea recuperada en tiempo infinitesimal.
- Creciente *velocidad de cálculo* y proceso del ordenador medida, entre otros parámetros, por la frecuencia del reloj de máquina.
- *Funcionalidad creciente* del ordenador. Si las dos características anteriores tenían que ver con el “*hardware*”, ésta y las siguientes tienen que ver con la

programación o “*software*” que se utiliza en el ordenador. Esta funcionalidad se mide no solo por la sofisticación creciente del sistema operativo, sino también por la cantidad de soluciones y ayudas de todo tipo que la máquina aporta mediante programas.

- “*Algoritmización*” de procesos y problemas. Con esta expresión queremos señalar que al convertir la informática los procesos o la solución de problemas en algoritmos, ya no será necesario nunca más resolver a mano un problema o proceso algoritmizado, aunque tenga datos o circunstancias distintas; la máquina podrá hacerlo sin ayuda en una mínima fracción de segundo con todas las consecuencias que ello implica. De esta manera crece monótonamente el número de problemas resueltos, pudiendo dedicarse el hombre a la resolución de otros problemas más complejos. Se aprecia así el llamado desarrollo tecnológico y científico. Conviene además destacar que, como comentaremos posteriormente, dentro de estos procesos ocupan un lugar muy destacado el de toma de decisión.
- La informática se ha convertido en “*meta-herramienta*”. Puesto que solo trata con la información tanto cualitativa como cuantitativa, la informática es aplicable a cualquier ciencia o tecnología (también al arte, aunque ello todavía no sea evidente).
- Por último hay que afirmar que esas soluciones de problemas o procesos o cualquier información sea del tipo que sea, puede ser *transmitida al fin del mundo* con la misma rapidez con que se calcula.

Como consecuencia de todo ello es natural que se produzca una inmersión creciente tanto del hombre como de la sociedad en las llamadas Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), dando lugar a nombres y siglas que se refieren a las nuevas situaciones como: *E-Government*, *E-commerce*, *E-business*, *E-learning*, *E-Knowledge Management*, que reflejan esa absorción de las TIC por el gobierno, el comercio, los negocios, el aprendizaje humano, e incluso el hombre entero.

¿PUEDEN LAS MÁQUINAS PENSAR?

En relación con esta primera pregunta parcial no voy a referirme a los argumentos expuestos por Alan Turing en su famosa conferencia, sino en los desarrollos posteriores de la ciencia que permiten dar un vuelco al tema, desarrollos que

fundamentalmente tiene que ver con los logros subsiguientes de la Inteligencia Artificial.

No obstante, sí quiero, siguiendo en un cierto sentido al mencionado autor, prevenir al lector de la omnipresencia de prejuicios que condicionan muchas veces no solo nuestro pensamiento sino también nuestras respuestas conscientes e inconscientes. Por tanto conviene preguntarse: ¿qué elementos creemos que son necesarios para que sea posible el pensamiento? Pues esa respuesta condicionará la posibilidad de que las máquinas puedan pensar. Es decir, si entre los elementos necesarios incluimos neuronas biológicas o un cerebro humano, es evidente que las máquinas, que no disponen (al menos por el momento) de esos elementos, nunca podrán pensar. Bien, no vale la pena discutir sobre la necesidad de esos elementos si han sido sugeridos o requeridos por el lector, incluso si ha exigido la presencia de neuronas humanas, pues en ese caso cambiaré la posibilidad de que las máquinas piensen por la de comportarse “como si pensarán”, es decir, de forma inteligente.

La pregunta parcial así formulada sigue teniendo validez puesto que cada vez más frecuentemente estaremos en contacto a distancia con las máquinas, por tanto, solo nos preocupará su comportamiento, que será lo que percibamos a distancia, ya que no podremos discernir si quien ejecuta ese comportamiento dispone o no de neuronas biológicas.

Ya en relación concreta con el pensamiento, queremos referirnos más específicamente al conocimiento, como pensamiento intensivo y sofisticado. Pero, habida cuenta de la utilización frecuentemente como sinónimos de palabras que pueden tener a veces significados distintos, conviene aclarar la significación de los términos: dato, información y conocimiento. En principio el *dato* representará un hecho concreto real o imaginario, físico o intelectual; la *información* requerirá un paso más, pues supone al dato engarzado o revalorizado por todo un entorno conocido. El *conocimiento* implica una determinada cantidad de información convenientemente estructurada en relación con un determinado tema, que permite la resolución de problemas relativos al mismo. No cabe duda de que dato, información y conocimiento (hay quien además habla de sabiduría) son tres términos relativos, discretos, extraídos de un continuo de infinitas posibilidades de elementos que podrían caracterizarse todos ellos como “*energía mental*”.

Para responder ahora a la pregunta parcial que nos ocupa, la del posible pensamiento de las máquinas, hemos de introducirnos superficialmente y siempre desde el punto de vista del usuario, en lo que es la Inteligencia Artificial.

No es fácil definir lo que es la Inteligencia Artificial, aunque se intuye fácilmente que pretende construir un ordenador inteligente o algo parecido. Pero esa intuición incluye un calificativo que es una trampa: ¿qué es un ordenador “inteligente”? ¿cuándo decimos que una máquina es “inteligente”, si no tenemos todavía una definición de inteligencia?

Para obviar esa dificultad se han propuesto diversas soluciones: posiblemente la peor sea la que trata simplemente de comparar el comportamiento de la máquina con el humano. Otra solución propuesta, específica que se trata de hacer que el ordenador sea más capaz en los temas en los que el hombre supera a la máquina. Posiblemente la más interesante sea la que defina la Inteligencia Artificial como la ciencia de la computación simbólica, aunque lamentablemente ésta sea la menos comprensible por el hombre no científico. En realidad esta propuesta enfatiza el hecho de que las acciones inteligentes pueden representarse mediante la manipulación de determinados símbolos, no determinados “a priori”. La Inteligencia Artificial ha aportado a la máquina diversas capacidades relativas a la producción, manipulación y utilización del conocimiento cuyo alcance consideraremos seguidamente.

Automatización del razonamiento humano

Inicialmente cabe decir que la Lógica clásica o aristotélica es el primer modelo del razonamiento humano debido a Aristóteles. Se le llama también Lógica bivalente porque todas las proposiciones (frases u oraciones con sentido) que maneja son verdaderas o falsas. Se puede utilizar con diversos niveles de profundidad o intensidad; los más usuales son el nivel de la Lógica de proposiciones (nivel 0) y el de la Lógica de predicados (nivel 1); ambos han sido ampliamente matematizados a partir del siglo XIX permitiendo así su introducción en el ordenador. Entre sus elementos fundamentales aparecen los llamados conectores lógicos, como “y”, “o”, “no”, “si... entonces...”, términos sin amplio significado en nuestro lenguaje cotidiano, pero con una funcionalidad lógica de sumo interés.

Dentro de la Lógica de las proposiciones cabe realizar dos tipos de razonamiento que son totalmente equivalentes: bien buscando la verdad o falsedad de una proposición (pregunta que se nos hace) usando la técnica de las llamadas tablas de verdad, que es lo que se llama tratamiento semántico, bien utilizando los llamados “*mecanismos de inferencia*” que dispone todo ser humano. Tenemos una amplia colección de esos mecanismos pero se puede demostrar matemáti-

camente que con solo dos se puede realizar todo tipo de razonamiento. El más conocido es, sin duda, el conocido como “*modus ponendo ponens*” que puede ejemplificarse como sigue:

Supongamos que lo único que sabemos en el mundo es la proposición compuesta que viene a continuación, así como los términos que la componen:

“*Si hoy es miércoles entonces llueve*”

que puede esquematizarse como:

“*Si P entonces Q*” o equivalentemente, $P \rightarrow Q$

Imaginemos ahora que se nos acerca una persona y nos dice con verdad:

“*hoy es miércoles*” que puede esquematizarse como P

¿Cuál será la consecuencia, o mejor, la deducción que realizaremos?

Evidentemente tendremos la certeza de que va a llover y posiblemente nos dispongamos a buscar un paraguas o a tomar otras medidas en consecuencia. Y esa certeza la tendremos independientemente de nuestra raza, color, nacionalidad, edad, sexo, religión y estado civil; la adquiere toda persona con uso de razón. En definitiva, el esquema de este modo de inferencia que introduciríamos en el ordenador sería parecido a:

$((P \rightarrow Q) \wedge P) \rightarrow Q$ que equivale a $((\text{Si } P \text{ entonces } Q) \text{ y } P \text{ es verdad}) \text{ entonces } Q$

Estos esquemas y las proposiciones correspondientes son introducidos según distintas técnicas de representación del conocimiento en la máquina. De esta manera la máquina posee los mismos esquemas de razonamiento que el hombre.

Pero la Lógica clásica, como modelo del razonamiento humano, presenta diversas limitaciones. Entre ellas, destacan la necesidad de que todas las proposiciones que se manejen sean verdaderas o falsas, y la imposibilidad absoluta de tener en cuenta procesos temporales; para la Lógica todo transcurre en un eterno presente.

Para obviar esas y otras limitaciones han surgido otras Lógicas, como la Lógica temporal (de la que existen varios modelos), la Lógica modal que incluye posibilidades de considerar aspectos necesarios e imperativos, la Lógica deóntica y otras, que amplían el horizonte de aplicación de la Lógica aristotélica.

Como aplicaciones muy relacionadas con este tema hay que mencionar a los demostradores de teoremas. Son sistemas que a partir de unos axiomas matemáticos elegidos por su utilidad o importancia (una teoría concreta) son capaces de obtener deducciones o teoremas de la misma. Estos demostradores han sido capaces de volver a demostrar teoremas conocidos y a encontrar otros nuevos. Uno de los más conocidos es el demostrador Boyer-Moore que obtuvo el premio de la Association for Computing Machinery en 2005.

De todo lo anterior puede deducirse que el razonamiento automático tiene los límites que el razonamiento humano. Básicamente cabe afirmar que en el nivel de la Lógica de proposiciones existe un procedimiento general que permite afirmar siempre si una proposición es consecuencia o no de un conjunto de otras proposiciones no contradictorias, pero en el nivel de la Lógica de predicados no existe ninguna técnica general; el Teorema de Gödel afirma la existencia de proposiciones de las que nunca se sabrá si son consecuencia o no de otras dadas. Esas limitaciones siguen ejerciendo su poder en el razonamiento humano y en el de la máquina.

Elicitación del conocimiento humano

En ocasiones pretendemos que el ordenador opere con un conocimiento que todavía no ha sido obtenido explícitamente ni mucho menos estructurado o formalizado en proposiciones condicionales, porque ha sido adquirido experimentalmente por un experto humano en su práctica profesional y ni siquiera él es consciente del mismo. En ese caso es posible la extracción o *elicitación* de ese conocimiento, contando con la colaboración consciente e inconsciente del experto humano.

BCTA (Behavioral Cognitive Task Analysis) es una herramienta que basada en técnicas de entrevista personal, cuestionarios y resolución de problemas, permite la obtención de los diversos elementos cognitivos que maneja el experto en su actuación profesional: hechos, procedimientos, estrategias e incluso modelos mentales que ha ido desarrollando en su práctica, permitiendo así que la máquina pueda operar con ese mismo nivel de experiencia. De esa manera se ha conseguido, por ejemplo, extender a los tres turnos de operación de un horno industrial, la experiencia de un controlador del horno muy profesional que conseguía rendimientos del horno muy superiores a los obtenidos en los restantes turnos.

Planificación inteligente y automática

Uno de los razonamientos importantes viene constituido por la planificación inteligente abstracta, es decir, independiente del hecho o proceso concreto a planificar, que luego puede ser aplicada a cada situación específica.

Existen diversas técnicas de planificación inteligente; entre ellas las de búsqueda destacando la “*búsqueda heurística*”. Todas ellas implican operaciones a realizar en un grafo o diagrama que representa el espacio en el que se realiza la búsqueda. Otra aproximación a la planificación inteligente viene constituida por la división de la tarea a conseguir en subtarefas mediante operadores o elementos capaces de realizar esa división. El proceso de división, ahora de las subtarefas, continúa indefinidamente hasta que los resultados de esa subdivisión reiterada o minitareas son realizables todas ellas de manera inmediata.

La importancia de estas técnicas estriba en que en la mayoría de situaciones de la vida real la tarea de planificar es tan larga y pesada que normalmente solo se obtiene un plan concreto, mientras que con estas técnicas se obtiene la planificación óptima según un cierto criterio escogido por el usuario.

Comunicación inteligente con la máquina

Todos estos avances del ordenador no serían eficientes sin que existiese una intercomunicación fácil y fluida entre el ordenador y el usuario. Esa comunicación ha sido potenciada de maneras diversas entre las que destacan la comprensión por parte de la máquina del lenguaje natural, o sea de las lenguas habladas, como el español, el inglés, etc., y el procesamiento avanzado de imágenes y voz.

En cuanto al tratamiento del lenguaje natural hoy cabe afirmar que la mayoría de las lenguas actuales conocidas han sido introducidas en la máquina, incluso de varias formas y con distintos niveles de eficiencia según la profundidad de interpretación conseguida.

Refiriéndonos a nuestro idioma, entre otros trabajos podemos citar el prototipo *SPANISH* de tratamiento del español como lenguaje natural. El sistema es capaz, partiendo de un léxico o diccionario, de realizar el análisis morfológico de un texto para proseguir con el sintáctico; el punto más interesante ha resultado ser el análisis sintagmático del español que proporciona gran cantidad de información. El resultado del tratamiento hasta este momento es la obtención del grafo sintáctico del texto y el análisis semántico del mismo. Esta fase ha de re-

solver importantes problemas relacionados con la polisemia, anáforas, alegoría, etc., sin embargo no es necesario que el sistema sea capaz de resolver en profundidad todos esos problemas, pues puede aprender inicialmente de sus fallos, si es corregido por el usuario. A partir de los resultados obtenidos, el sistema es capaz de razonar a partir del texto considerado y responder preguntas relativas al mismo. Con objeto de comprobar las capacidades del sistema, se introdujeron en él los cinco primeros capítulos del Quijote, siendo capaz de contestar a preguntas diversas sobre “*Don Quijote*”, “*Sancho*” y detalles de la narración. El tratamiento del lenguaje natural constituye así una base importante para la comunicación directa entre el usuario y la máquina.

El procesamiento de la voz humana y de imágenes sigue caminos y procedimientos distintos pero ambos siguientes análogos niveles de profundidad: el primer nivel se ocupa de la obtención de la señal digital, su transmisión y almacenamiento. Las imágenes, particularmente, conllevan un gran volumen de información que presenta problemas de transmisión especialmente; las técnicas existentes de compresión con cierta pérdida de información, permiten resolver el problema de su transmisión posibilitando su recuperación con error inapreciable. También se ocupa este primer nivel del análisis de la señal, con importantes aplicaciones en las imágenes biomédicas y clasificación de huellas digitales. El segundo nivel se ocupa del importante proceso de reconocimiento de la imagen o de la voz y de sus detalles; este reconocimiento debe ser encaminado en función de los objetivos del reconocimiento y del procesamiento de la señal. El tercer nivel trata de la generación de la señal, bien sea voz o imágenes.

Algunas aplicaciones

Con objeto de que pueda captarse hasta dónde llegan las posibilidades del ordenador en relación con la pregunta parcial que nos ocupa, conviene referir someramente algunas aplicaciones. Como primer ejemplo quisiera citar al sistema *EVALUADOR*; permite asignar óptimamente todos los recursos defensivos de una flota en alta mar (alejada de la costa) con independencia del número de barcos que la integran y de su posición relativa, ante amenazas aérea, de superficie y submarina de cualquier nivel e importancia. Ya se comprende que el sistema no puede hacer milagros y que esa asignación óptima de recursos ante amenazas muy superiores, no consiga evitar graves pérdidas o incluso la destrucción de la flota, pero cuando se considera que el sistema realiza esa asignación, tal como

había sido requerido, en menos de quince segundos, es evidente que ni siquiera una asignación elemental puede hacerse humanamente en ese tiempo, en cuanto el número de los recursos defensivos asciende a un centenar; y mucho menos si se trata de que esa asignación sea óptima, en el sentido de que se minimicen las consecuencias de la actuación de esas amenazas, de acuerdo con un criterio de evaluación facilitado por el usuario. Conviene agregar que el sistema ha sido usado para entrenamiento de oficiales de rango medio y superior permitiendo además no solo retirar del servicio ciertas reglas de enfrentamiento por verse que son totalmente ineficaces, sino también analizar la geometría de las posiciones de los barcos de la flota para mejorar su defensa.

En el campo del diagnóstico médico hay que mencionar toda una generación de sistemas expertos (*MYCIN*, *ONCOCIN*, *PUFF*...) producida en la Universidad de Stanford, cuya evaluación demostró que su capacidad de diagnóstico era equivalente a la de los profesores de esa universidad que habían intervenido en su diseño y construcción.

Otro sistema importante en el campo del diagnóstico y toma de decisiones fue *COSO* (*Centro de Control de los Juegos Olímpicos de Barcelona*). A partir de la información obtenida de sensores, imágenes, radio, sonar instalado en el puerto y en minisubmarinos, radar, tráfico urbano, etc., el sistema realizaba el seguimiento de los distintos eventos olímpicos distribuidos en diversas sedes, monitorizaba el seguimiento de las comitivas de las personalidades, vigilaba la seguridad de las sedes olímpicas, puerto olímpico, con posibilidades de asignar las fuerzas de seguridad de los tres ejércitos en función de posibles alarmas. También podía asignar itinerarios óptimos en tiempo real a las ambulancias y coches de policía en función del tráfico urbano cuyo seguimiento se hacía permanentemente para conocer su situación en todo instante.

¿PUEDEN APRENDER AUTÓNOMAMENTE LAS MÁQUINAS?

La Inteligencia Artificial aporta al ordenador diversas e importantes técnicas de aprendizaje. Entre ellas conviene citar por su uso, la de *aprendizaje reforzado*, en la que la máquina va almacenando y evaluando sus diversas actuaciones en la dinámica del proceso en que le toca intervenir, para así extraer reglas empíricas tanto sencillas como complejas en función de las circunstancias presentes, que mejoren e incluso optimicen su intervención. Pueden aplicarse a cualquier tipo de proceso y aunque no podrá preverse lo inaudito, sí se tendrán en cuenta

bastantes situaciones alarmantes y extraordinarias a las que aplicará un análisis estadístico. No se necesita la formalización del proceso sino solo criterios de evaluación de la propia actuación de la máquina.

El *razonamiento basado en casos* es otra técnica usual de aprendizaje de máquina. Para ello se elabora previamente una colección de casos que se saben resolver, así como su procedimiento de resolución. Este conjunto se estructura en función de una serie de parámetros o características que definen la particularidad de cada caso. Cuando aparece en la práctica un caso a resolver, el ordenador extrae sus parámetros fundamentales y con ellos trata de obtener de la colección un caso similar. Si lo consigue, aplica su procedimiento de resolución con los datos del caso actual. Si no encuentra un caso análogo debe realizar las siguientes operaciones:

- a. Decidir cuál es el caso más parecido al actual de entre los existentes en la colección.
- b. Modificar la solución del caso más parecido para adecuarla a la del actual. Para ello debe contar con operadores de resolución y modificación que permitan realizar este proceso. El éxito de esta técnica depende fundamentalmente de la existencia de estos elementos con generalidad suficiente para poder abordar este proceso; de todas formas cabe la resolución parcial del caso actual o la solución aproximada del mismo según la índole del problema a resolver.
- c. Realizada la etapa anterior se incorpora este caso actual y su resolución a la colección de casos.

Puede que una de las técnicas más conocidas y utilizadas sea la de las *redes neuronales artificiales*, que son entrenadas a resolver problemas de un determinado tema. En principio esta técnica simula mediante programación (*software*) el comportamiento de una red de nodos (puntos o neuronas) interrelacionados entre sí mediante uniones a las que se adscribe un coeficiente numérico. Cada neurona transmite a las neuronas con las que está conectada la suma de las señales que recibe pero transformada por una cierta función de activación a determinar. La señal que pasa por una conexión a otra neurona se ve multiplicada por el coeficiente adscrito a la conexión. Las neuronas suelen organizarse en capas; la primera es la capa de entrada, que recibe los datos del problema debidamente codificados para que sean aceptados por la capa. Cada neurona de esa capa está unida, habitualmente, a todas las neuronas una segunda capa y así sucesivamente

hasta alcanzar la capa de salida. Cada neurona de esta capa emite una señal de salida en función de los datos insertados en la capa de entrada y su transmisión por la red. Las señales de la capa de salida debidamente decodificadas representan la solución del problema.

Toda red neuronal debe ser entrenada previamente para poder llegar así a resolver otros problemas de índole similar que se presenten. Este entrenamiento se realiza a partir de una colección de problemas ya resueltos. Para cada problema se insertan sus datos codificados en la capa de entrada y se miden las señales de la capa de salida y se decodifican o interpretan. Lo normal es que no proporcione la solución correcta; entonces se introduce en la capa de salida la verdadera solución y la red neuronal calcula el error que ha cometido y lo reduce a cero ajustando los coeficientes adscritos a cada conexión mediante un algoritmo de “*retropropagación*” que debe elaborarse previamente de manera cuidadosa. Al cabo de realizar este proceso autónomo de autoajuste de coeficientes un cierto número de veces (este número puede ser elevado en cierto tipo de problemas), la red estará dispuesta para proporcionar la solución de otro problema nuevo del mismo tipo.

Esta técnica proporciona una serie de ventajas obvias: la primera y más importante es que no es necesario formalizar ese tipo de problemas ni elaborar difíciles y costosos algoritmos de solución de los mismos. Se puede demostrar que la red siempre converge a ese entrenamiento y por tanto a la solución de los problemas, si su tipo permanece el mismo (el problema puede variar, no solo sus datos, sino su estructura dentro de ciertos límites). Es más, si el tipo de problemas va cambiando con el tiempo y se van advirtiendo errores en las soluciones que proporciona la red, cabe introducir de nuevo esos errores y anularlos con el algoritmo de retropropagación, y la red irá ajustándose poco a poco a ese nuevo tipo. En definitiva no es necesario realizar ningún proceso exterior sobre la red; ella autónomamente va adquiriendo el conocimiento necesario para obtener las soluciones requeridas.

El principal inconveniente que presentan estas redes neuronales supervisadas, ya apuntado, es que pueden necesitar una colección de problemas resueltos que en algún caso podría ser mayor de mil. Precisamente para luchar con ese inconveniente han surgido varios tipos de redes neuronales supervisadas como la *red neuronal de ligadura funcional*, que gracias a incrementar la dimensión de la capa de entrada, utilizando una familia de funciones lineales y ortogonales,

consigue eliminar la capa intermedia de la red y, lo que desde el punto de vista práctico es más importante, consigue dividir por un factor de diez o mayor, el número de casos de entrenamiento de la red.

Las técnicas de aprendizaje de máquina expuestas se completan con otras muy variadas, como la *obtención automática de reglas de producción* a partir de los resultados de la red neuronal, o la inserción en la máquina de *principios de analogía* que le permitirá trasladar las consecuencias y soluciones de un campo práctico a otro si establece autónomamente esa relación concreta de analogía. Las objeciones que a este aprendizaje autónomo y automático de la máquina se han puesto siempre, son muy diversas: por una parte, que la máquina no aprende autónomamente como el hombre, sino que ha de ser enseñada, como si el hombre no necesitara de tiempo y ayuda. Se ha dicho además que en realidad la máquina aprende dentro de los esquemas que el hombre le incorpora, lo cual no es cierto. Conviene aquí destacar, aunque parece obvio, que la inclusión, interconexión e integración conveniente de estas técnicas de aprendizaje de máquina proporcionan no solo el aprendizaje de la máquina, sino la aparición de “*propiedades emergentes*” que nunca será suficientemente valorada.

En definitiva, el aprendizaje autónomo y automático de la máquina se presenta como uno de los grandes logros de la investigación informática del siglo XX, cuyo libro no se ha cerrado sino que sigue en constante incremento y mejora.

¿PUEDEN TENER UNA MENTE LAS MÁQUINAS?

De nuevo surge la cuestión básica de qué entendemos por una mente. Ya hemos contemplado anteriormente en relación con el conocimiento una capacidad importante, la del aprendizaje. Ambas cualidades, razonamiento y aprendizaje, pertenecen específicamente a una mente humana. No obstante, aún se podrían agregar muchas otras facetas. Prudentemente nos contentaremos con afirmar que la mente humana representa o constituye al “yo” como sujeto de unas capacidades como la toma autónoma de decisiones (ya aludida al analizar el razonamiento), sujeto que se diferencia de la naturaleza y de otros sujetos.

Para poder responder a la pregunta que nos ocupa necesitamos situarnos en la Inteligencia Artificial Distribuida. Se trata de un paradigma totalmente diferente que constituye una nueva revolución, la segunda revolución dentro de la Informática, y viene representada en síntesis, por los *sistemas multi-agentes*, en los que estos agentes pueden estar situados en la misma o en distinta máquina;

el conocimiento monolítico aportado inicialmente por la Inteligencia Artificial, se distribuye ahora entre los diversos agentes.

Un *agente* es una criatura o “personilla” de *software* que puede representar diversos papeles con distintas funcionalidades. Así existen agentes reactivos, caracterizados por su respuesta inmediata a determinadas contingencias; son muy utilizados para dirigir y controlar robots, y también para supervisar y tutorizar muchos procesos del aprendizaje humano. Los agentes cognitivos pueden asumir tanto tareas reactivas como otras de tipo táctico, poseyendo así mayor potencialidad en procesos que requieren ambos tipos de actuaciones. Por último, los llamados agentes inteligentes son los de mayor ámbito de utilización por sus capacidades cognoscitivas; se encargan de tareas reactivas, tácticas y estratégicas por lo que pueden ser considerados como agentes de propósito general. A ellos nos referiremos en este somero análisis que les dedicaremos. Elementos importantes de estos agentes es su posibilidad de colaboración entre ellos mediante diversas técnicas y la necesidad de un cierto control de los mismos aunque solo sea por la posibilidad de su actuación simultánea en la que pudieran entorpecerse unos a otros.

NEOCAMPUS: factoría de agentes inteligentes

En este orden de cosas queremos mencionar el proyecto NEOCAMPUS como factoría de agentes inteligentes. Es un proyecto internacional (1999-2010) cuyo principal objetivo es el desarrollo de una metodología para construir, usar, y evaluar una plataforma de *software* dedicada a fabricar agentes inteligentes, así como herramientas para la gestión del conocimiento incluyendo la experiencia humana, modelos cognitivos y modelos mentales humanos. Además pretende conseguir la actualización automática de bases de datos y bases de conocimiento a través de Internet, y ayudar al aprendizaje humano y de máquina, tanto individual como cooperativo o participativo.

El modelo de agente que se ha diseñado en este proyecto puede dar una idea de su funcionalidad. Todos los agentes utilizados responden a la siguiente arquitectura descompuesta en los módulos siguientes:

El *módulo de estado* describe lo que podría calificarse como la situación “mental” inicial del agente detallando sus creencias, deseos e intenciones. La experiencia ha indicado que esos son los elementos fundamentales que rigen su comportamiento inicial y buena parte de su comportamiento posterior. El detalle de

esas creencias, deseos e intenciones incluirá en principio solo lo necesario para la actuación del agente en función de sus objetivos y tareas a realizar.

El *módulo de comunicación* se encarga de llevar a cabo los procesos de comunicación del agente con el exterior (mediante sensores u otras técnicas), con otros agentes (mediante contraseñas convenidas o lenguajes artificiales) y con el usuario (mediante contraseñas o lenguaje natural). El *módulo de control* del propio agente controla sus módulos mediante un sistema jerarquizado en dos niveles de prioridad, el cual permite además la recepción de órdenes de control del sistema o del usuario; y el *módulo de conocimiento específico* incluye el conocimiento necesario para llevar a cabo la tarea que se le asigna al agente dependiendo del proceso a resolver o a intervenir. En nuestro caso está repartido en tres capas: la primera es la capa reactiva e incluye el conocimiento básico para responder o actuar con inmediatez.

El *módulo de aprendizaje autónomo* incluye las técnicas de aprendizaje de máquina que el agente usará para aprender de su experiencia. En nuestro caso suelen incluir redes neuronales de ligadura funcional, razonamiento basado en casos, y puntualmente las técnicas de aprendizaje reforzado. El *módulo de planificación general* contiene técnicas de planificación inteligente, la mayor parte de las veces basadas en búsquedas heurísticas o búsquedas con información adicional. Por último la *Base de Datos y de Conocimiento* propia almacena todos los resultados parciales o finales de su actividad.

Por si no es fácil traducir lo que representan estos módulos en cuanto a las capacidades del agente, podemos afirmar que estos agentes tienen las características siguientes: a) son *autónomos*, es decir, actúan por cuenta propia sin la intervención ordinaria del usuario, aunque éste puede actuar en situaciones extraordinarias o cuando lo desee; b) son *inteligentes*, con ese término queremos indicar que actúan basados en el conocimiento; c) *dirigidos por metas*, pues la consecución de determinadas metas constituye el resultado final de su actuación. Estas metas pueden serles introducidas en la construcción de los agentes, comunicadas por el usuario o adquirirlas durante su tarea como objetivos intermedios. Además, d) son *colaboradores mutuos* pues, aunque actúan autónomamente, pueden cooperar unos con otros para reforzar su actuación; e) *comprenden el lenguaje natural* y así para su comunicación con el usuario pueden utilizar un lenguaje natural (español, inglés) aunque entre ellos y por simplicidad suelen usar un lenguaje informático sin problemas semánticos. Otra cualidad importante es f) *aprenden*

de su propia experiencia, dado que las técnicas de aprendizaje de máquina que poseen les permiten aprender de la dinámica del proceso en que están sumergidos y de su propia experiencia interventora o resolutoria; g) *planifican*, puesto que poseen un módulo general de planificación inteligente; son capaces de planificar óptimamente toda su actuación tanto la ideada inicialmente como la que surge de su relación con la dinámica del proceso o tarea que ejecutan. Por último, h) tienen la posibilidad de *ser clonados* fácilmente; el hecho de que estos agentes son solamente *software* permite que cuando la tarea lo requiere sean clonados instantánea y automáticamente aumentando así el número de agentes capaces de realizar esa tarea. Igualmente, cuando no son necesarios, para no utilizar recursos ociosos, son eliminados conservando en un base de conocimiento especial todo lo que han adquirido o resuelto. Las posibilidades de aplicación de estos sistemas multi-agentes rebasan toda previsión.

MEDIC: un hijo y heredero de NEOCAMPUS

NEOCAMPUS, como factoría de agentes inteligentes, permite la construcción rápida de sistemas “hijos” que heredan las funcionalidades del padre y que pueden ser especializados en la consecución de una tarea concreta.

MEDIC es uno de esos hijos, encargado de simular la operativa de un Centro Médico. Partiendo de datos reales durante dos años, tomados de un Centro Médico existente, relativos a la operativa y concretamente a altas y bajas diarias de pacientes, operaciones quirúrgicas diarias realizadas, tratamientos, curas, comidas de enfermos, análisis y pruebas médicas, adquisiciones de aparatos médicos y auxiliares, número y dedicación de médicos, enfermeras, auxiliares, personal administrativo y directivo todo ello por departamentos, es capaz de simular los efectos y consecuencias de esa marcha diaria y los problemas que plantea en su gerencia, en la dirección de cada uno de sus quince departamentos, servicios subcontratados, incluyendo problemas económicos, financieros y operativos.

Las decisiones que en la realidad adoptan tanto el gerente como los directores de los quince departamentos son simuladas por un conjunto de agentes inteligentes sumergidos en el ordenador. Cada uno de ellos ocupa el puesto de Director de Departamento, encargándose otro de la Gerencia General. La colaboración entre los agentes permite simular las ayudas que se prestan los diferentes departamentos cuando ello es posible, como por ejemplo, cediéndose personal sanitario en determinadas circunstancias; cuando ello no es posible

hay que recurrir al exterior del centro para conseguir temporalmente ese personal incurriendo en el coste subsiguiente, contando con que los presupuestos del departamento permita la realización de ese gasto. Para lograr todo esto cada departamento ha proporcionado las funciones que realiza y las decisiones que puede adoptar en su operativa diaria. Cada una de esas funciones o decisiones ha sido cuidadosamente analizada para extraer todos los componentes cognitivos necesarios para llevarlas a cabo, análisis realizado con la ayuda de la técnica *BCTA*, anteriormente citada, relativa a la elicitación del conocimiento humano. El resultado final para cada función o decisión ha sido una colección de datos o hechos, conceptos, conocimiento declarativo (cualitativo), procedimientos, tácticas, estrategias e incluso modelos mentales que los directores y el gerente utilizan para sus decisiones, conocimiento que ha sido incorporado a los diversos agentes. El sistema puede actuar también con otros datos, supuestos o inventados, que podrían poner al centro en situaciones delicadas, tanto desde el punto de vista de su operativa como de su situación económica o financiera.

MEDIC ha tenido dos usos fundamentales: el primero por el gerente real y los directores de departamento que podían ensayar o simular las decisiones que pensaban adoptar para analizar sus efectos antes de que ocurran. El segundo empleo de *MEDIC* guarda relación con el aprendizaje humano. El sistema ha sido utilizado por diferentes grupos de gerentes “junior” o en vías de aprendizaje. Dentro de cada grupo y ante datos preparados como ejercicio caga gerente en prácticas asumía la dirección de un departamento o la gerencia y, sustituyendo a los agentes inteligentes del sistema, introducía en el mismo sus decisiones. El sistema detalla las consecuencias de esas decisiones y permite la comparación de las decisiones adoptadas por los alumnos con las que hubiesen adoptado los agentes inteligentes que poseen el conocimiento de los directores y gerente expertos en el tema.

Con objeto de evaluar científicamente los resultados obtenidos por el grupo de alumnos en su aprendizaje, cada grupo de alumnos que utilizaba *MEDIC* (llamado grupo experimental) actuaba en paralelo con otro grupo de alumnos (grupo de control) elegido con las mismas características que el grupo experimental y dedicaba las mismas horas de práctica, pero en vez de utilizar *MEDIC* usaba otras técnicas tradicionales de aprendizaje y práctica de gerencia.

La evaluación de los resultados del aprendizaje de los distintos grupos experimentales y de control ha sido exhaustiva. Se constata que en todos los ni-

veles del aprendizaje el uso de *MEDIC* reduce en un 20%-24% el tiempo para alcanzar ese nivel, y que recíprocamente, empleando un mismo tiempo de estudio, el uso del sistema mejora los rendimientos del aprendizaje y su nivel en un 25%-27%.

¿PUEDEN LAS MÁQUINAS SER CREATIVAS?

De nuevo nos enfrentamos a una pregunta básica: ¿qué es la creatividad? Si hacemos caso a Penrose, la inteligencia matemática podría ser un paradigma de inteligencia creativa, apareciendo la creatividad como algo casi místico y maravilloso a favor de una actividad cerebral no computacional. Sin embargo, para otros autores es algo menos extraño; así, para los matemáticos Polya y Hadamard, que hablan del proceso creativo, no sería más que una nueva combinación de ideas familiares.

Pero ha sido posiblemente Boden quien ha dedicado mucha más atención al tema con su idea del *espacio conceptual*. Para esta autora, la creatividad supone una búsqueda sistemática, estructurada y disciplinada de combinaciones de elementos existentes que incluye elementos que no parecen importantes. En definitiva, podríamos aceptar como creatividad la combinación original de elementos que claramente y de manera no tan clara intervienen en el proceso. Sentada esa base voy a referirme a un caso concreto de creatividad, como ejemplo posible de su introducción en la máquina: la creatividad musical.

La informática ya ha recorrido un largo camino como ayuda en la producción musical: desde lenguajes informáticos como *PLAYER*, *HARP*, *HMR*, pasando por sistemas como *MIS* que reproduce automáticamente una partitura musical, hasta otros sistemas como *VIVACE*, sistema experto creado por Thomas que genera acompañamientos, y la Red Neuronal creada por Japón a lo largo de su proyecto de 5ª Generación de ordenadores.

No obstante, quiero dar un paso más para referirme a *MUSIC*, sistema capaz de generar melodías de prácticamente cualquier tipo y duración, con acompañamiento orquestal y/o coral e instrumentarlas para ser interpretadas por orquesta (reproducida directamente en un teclado o sintetizador electrónico). Su precedente fue un sistema para la generación de música coral que permitió sentar unas bases previas con las que acometer casi simultáneamente *MUSIC*.

El sistema parte de una formalización propia de la teoría musical a la que he denominado *Teoría del cañamazo*. A partir de un alfabeto constituido por las tonalidades puras denominadas: *la, si, do, re, mi, fa, Sol*, o como suele hacerse en los países sajones: *A, B, C, D, E, F, G*, y las correspondientes a la escala cromática: *A, Bb, B, C, Db, D, Eb, E, F, Gb, G, Ab*, en donde la *b* indica la nota que acompaña pero “*bemolizada*”, se definen los acordes como conjuntos de esas notas, detallándose hasta unos 25 acordes distintos para cada tonalidad. El número de acordes total es alto pero su tratamiento es simple, puesto que los correspondientes a una determinada tonalidad fundamental se obtienen por simple traslación de los correspondientes a otra cualquiera.

Con esos elementos ya aludidos puede definirse el concepto fundamental de *estructura básica inicial* que esencialmente se compone de una tonalidad de la estructura, un ritmo o compás, su velocidad por segundo y un conjunto de acordes pertenecientes o relacionados con esa tonalidad. El ordenador posee una colección de procedimientos para obtener esa estructura básica partiendo de unas pocas notas dadas por el usuario u obtenidas aleatoriamente por el ordenador, que constituyen la raíz de la estructura básica, y alargarla con técnicas de embellecimiento y duplicación con variantes.

Cabe definir una serie de operaciones matemáticas con esas estructuras básicas como: *transposición, producto externo, concatenación débil y fuerte*, etc., y teoremas derivados. Realmente, todo ello es una anécdota de lo que podemos prescindir, pero permite asegurarnos de que los muchos tratamientos posteriores que ha de sufrir la estructura básica hasta llegar al resultado final que se interpreta orquestalmente, se hacen de manera coherente y son compatibles entre sí.

Desde un punto de vista práctico hay que destacar los *operadores* o procedimientos de que se ha dotado al ordenador para transformar, alargar y embellecer la estructura básica; además de los de *duplicación y embellecimiento* ya citados, se encuentran los de *diversificación, transición y refuerzo, y efectos dramáticos*. Con todo ello el proceso de generación de una melodía con acompañamiento e instrumentación pasa por las fases siguientes:

1ª fase: culmina con la *obtención de una estructura básica* totalmente desarrollada y supone las etapas de: generación de la estructura básica inicial, su desarrollo y embellecimiento hasta los límites deseados inicialmente (podrían alterarse posteriormente).

2ª fase: Se inicia con *desarrollos melódicos* que se hilvanan sobre el cañamazo de la estructura básica. Caben tantos desarrollos melódicos como se deseen, pudiendo servir cada uno de ellos para las distintas voces o instrumentos que interpreten la composición. Se continúa con la combinación de esos elementos melódicos en temas y contra-temas que pueden después repetirse con y sin variaciones. Posteriormente se hace la asignación de esos temas a voces o instrumentos.

3ª fase: Es una revisión total de lo obtenido con agregación de efectos y últimos detalles. Estos detalles podrían dar lugar a un retorno a una fase o etapa anterior para la recomposición de la obra musical.

El prototipo fue presentado en la apertura de curso de la Cofradía Internacional de Investigadores (International Guild of Researchers) en Toledo en 1997. En ese acto se interpretaron más de cuarenta obras musicales (de algunas de ellas solo fragmentos) con orquesta simulada por un teclado electrónico, capaz de reproducir las composiciones creadas por la máquina. Algunas de ellas solo fueron fragmentos de la composición para poder apreciar en el tiempo que duró la presentación, la variedad de obras y estilos producidos. Podrían clasificarse dentro de cinco grupos de orientación distinta: a) las que cumplen *objetivos especiales* como: combinación de trompeta y coros, sonidos de nueva creación; b) melodías al *estilo popular*, como: “habanera”, “country”, “zarabanda”, “polonesa”, “slow”, y “disonancias populares”; c) *efectos orquestales* del tipo de “música de películas”, “marchas militares”, “motivos sudamericanos”; d) *composiciones descriptivas* al estilo de “disonancias orientales”, “lamento ruso”, “divertimento con arpeggios”, “paisaje chinesco”; e) *efectos dramáticos*, como “suspiro del viento”, “amistad”, “oración”, etc.

La consecuencia primaria que de todo ello puede obtenerse es que si un sistema artesanal como *MUSIC*, realizado sin financiación ninguna ni equipo colaborador de trabajo, puede alcanzar esos resultados, se puede esperar mucho más si se dedican recursos al tema.

Puede que se piense que el ordenador elabora lo que el hombre le indica de manera que en realidad es él quien crea y no la máquina, pero eso no es cierto porque el hombre no puede imaginar “a priori” la composición que la máquina va a elaborar, incluso aunque le sugiera la raíz o estructura inicial ante la aparición de propiedades o estructuras emergentes.

¿PUEDEN LAS MÁQUINAS TENER EMOCIONES?

En este caso la pregunta básica no parece tan actual pues las emociones ya fueron consideradas por Platón, Aristóteles, Spinoza, Descartes y muchos otros. No es necesario adentrarnos en lo que estos autores opinaron y cómo las consideraron; nos basta por el momento saber que pertenecen al mundo de los sentimientos y los afectos.

En esta ocasión, para responder a esta pregunta parcial necesitamos introducirnos en el moderno mundo de la computación afectiva. ¿Qué entendemos por computación afectiva? Según Rosalind Picard es “la computación que se refiere a las emociones, o las influencia”. Aunque se trata de desarrollos recientes, ya existe toda una colección de modelos afectivos que pueden clasificarse como: de arquitectura, de tarea o de mecanismo.

La situación de los diferentes modelos en esta clasificación indica el cometido fundamental que aborda o su manera de funcionar. Normalmente tienen como objetivo fundamental el de determinar o contribuir a conocer el estado afectivo de las personas, para después tratar de actuar sobre ellas usualmente ayudándoles a recobrar una situación de normalidad. Su desarrollo y utilización vienen favorecidos por la producción de una gran cantidad de sensores que permiten medir actuaciones del sujeto, bien pequeños cambios en partes del rostro (fruncimiento de la frente, parpadeos, cambio de color, movimiento de los labios...) o en otras actitudes (rascarse la nariz, alisarse el cabello, cambios del ritmo respiratorio, toses nerviosas...) que proporcionan información valiosa en relación con el estado afectivo de la persona y sus causas.

Desde un planteamiento más modesto, sin la utilización de sensores, describiremos el prototipo *AFECTO* que ha sido utilizado para colaborar en el proceso de aprendizaje de los alumnos, partiendo de la base de que la motivación es el motor fundamental de ese aprendizaje.

AFECTO: prototipo afectivo de ayuda al aprendizaje humano.

Puesto que el prototipo no incluye el empleo de sensores, que podrían frenar o complicar el proceso de aprendizaje, el sistema solo utiliza las interacciones del alumno con la máquina para tratar de determinar sus emociones. Se parte de considerar que las metas de los alumnos, de acuerdo con Ames, solo pueden ser:

1. Meta de la competencia; el alumno experimenta un deseo continuo de adquirir nuevas habilidades para mejorar su nivel de competencia.

2. Meta de la buena ejecución; es decir, deseo de eficacia.

En consecuencia, lo primero a realizar con cada alumno es determinar cuál es su meta de aprendizaje; ello se hace mediante un cuestionario específico debido a Pintich.

Los estados afectivos considerados son los pares: *alegría/desánimo*, *satisfacción/desagrado*, *gratitud/enfado*, *orgullo/vergüenza*. El modelo afectivo utilizado es OOC, debido a Ortony, Clore, Collins; es un modelo a nivel de mecanismo, plenamente operativo que puede ser fácilmente introducido en la máquina. El modelo interpreta una situación emocional como un proceso cuya evaluación conduce al resultado de las emociones o estados afectivos. En ese proceso intervienen sucesos, agentes, acciones y objetos. Los objetos son cosas o entidades pasivas; las acciones son entidades activas que intervienen o influyen en los agentes y sucesos; los agentes son las entidades que interactúan entre sí, con las acciones y los sucesos; los sucesos son eventos que acontecen a los agentes y a las acciones.

El modelo OOC aporta reglas que relacionan los sucesos, agentes, acciones y objetos posibles con los pares de estados afectivos anteriormente considerados.

A partir de esos elementos el diseño de *AFECTO* conlleva las etapas siguientes: a) elaborar una lista de posibles sucesos pedagógicos. Se encontraron hasta un total de veinte; b) clasificar estos sucesos de acuerdo con el tipo de emoción a que conducen; c) analizar cada suceso pedagógico como función de las variables de deseo (puede no conocerse) y de la intensidad del suceso.

Ejemplo de estudiantes con meta de competencia:

“El alumno no ha acabado la tarea” → (preguntar por la importancia de la misma; si es importante → *DISGUSTO*

d) el resultado de ese análisis nos proporciona un conjunto de reglas de producción (proposiciones condicionales) como la obtenida en el ejemplo anterior; e) queda todavía el diseño de un conjunto de tácticas afectivas para relajar las situaciones negativas e inducir la motivación; f) integrar esas tácticas afectivas con las tácticas cognitivas de tutoría inteligente del aprendizaje.

Para la realización de esas tácticas afectivas se han incluido en el prototipo una colección de *agentes inteligentes pedagógicos*. El alumno visualiza al agente pedagógico como una imagen humana, un dibujo de animal, planta u objeto que habla, se mueve, se desplaza y gesticula para asumir papeles muy variados según

los casos; entre ellos destaca el papel de amigo, profesor, familiar, y otros muchos que en función del tema de aprendizaje, edad y conocimiento del alumno sean adecuados. Incluso en ocasiones basta con una voz en “off” que argumenta, aconseja, ayuda, motiva, etc. La elección del aspecto y actuación de este agente pedagógico es muy delicada puesto que su intervención puede llegar a ser contraproducente. Los que se manifiestan como personas reales deben ser autónomos, inteligentes, con un comportamiento basado en emociones y mostrarlas en su cara, movimiento y diálogo con el estudiante.

A pesar de lo delicado que es su empleo, presentan ventajas indiscutibles, pues pueden probar un hecho o aserto con su diálogo en lugar de solo indicarlo el sistema o demostrarlo aburridamente. También pueden explicar todas las razones y ventajas de algo en forma interactiva. Igualmente, son capaces de guiar al estudiante en la “navegación” que muchas veces supone el proceso de aprendizaje, constituyéndose así en una ayuda importante. Otra ventaja viene determinada por la posibilidad de focalizar la atención del estudiante mediante gestos, apuntamientos a objetos, y expresiones adecuadas. Desde otro ángulo, pueden adentrarse incluso en profundidad en las emociones del alumno incluso con sonidos o aspectos no hablados del mensaje. Por todo lo cual han demostrado influencia positiva en la percepción, reflexión y autoexplicación de los estudiantes.

Con objeto de comprobar la actuación tanto del prototipo *AFECTO* como la de los agentes pedagógicos construidos, se introdujeron ambos en el sistema inteligente de aprendizaje *FINANCE*, hijo también de *NEOCAMPUS*, dedicado al aprendizaje de la contabilidad y análisis financieros. Los agentes pedagógicos construidos, caracterizados también por las intensidades relativas de los cuatro pares de estados afectivos anteriormente mencionados, podríamos decir que eran amistosos y joviales (tenían asignados valores de 0.3, 0.3, 0.2, 0.3 para los cocientes desánimo/alegría, desagrado/satisfacción, enfado/gratitud, vergüenza/orgullo).

En este caso las acciones y decisiones del alumno son sucesos que provocan la reacción del agente pedagógico de acuerdo con un conjunto de reglas que determinan el estado afectivo del alumno y las acciones que han de ser adoptadas por el agente. Cada regla contiene las precondiciones que determinan su uso y las acciones asociadas. Todas estas reglas y los parámetros afectivos fueron introducidos en el estado mental del agente pedagógico.

La aplicación del prototipo *AFECTO* al sistema inteligente de aprendizaje mejoró un 20%, en líneas generales, los resultados anteriormente por *FINANCE*, en todo similares a los obtenidos por *MEDIC* y anteriormente comentados. La combinación de ambos fue evaluada en distintas fases; destacan la intervención de ocho psicólogos y pedagogos, quienes analizaron la imagen y comportamientos afectivo y cognitivo de los agentes pedagógicos. Otros ocho expertos educativos analizaron las tácticas afectivas y cognitivas y sus reacciones. El informe final fue muy positivo sugiriendo solo el cambio de orden de ciertas acciones tutoriales.

El modesto ejemplo presentado puede dar idea concreta de que la máquina puede, al menos, comportarse “como si” entendiera buena parte del mundo afectivo y fuera capaz de interactuar con él y en él.

¿PUEDEN LAS MÁQUINAS APROXIMARSE AL RAZONAMIENTO HUMANO INFORMAL Y ORDINARIO?

Hasta ahora hemos estado analizando en buena parte las posibilidades que tiene la máquina de emular o de simular la actuación del hombre en momentos de relativa o de mucha importancia para él: cuando razona de manera solemne o científica, cuando está en situaciones emocionales intensas, cuando dedica su tiempo a aprender, etc. Pero en la mayor parte de su tiempo el hombre se encuentra en una situación informal dedicado a cosas más simples aunque no por eso menos interesantes y queridas. En esos momentos no suele crear cosas relevantes, ni aprende intensamente, pero se comunica con su familia o con sus amigos, incluso discute con ellos por opiniones que defiende a ultranza aunque no utilice un razonamiento aristotélico. Otras veces lee la prensa y mentalmente filtra la información que le atrae y la resume para comentarla con otras personas de su entorno. Dentro de ese mundo informal y ordinario pero rico e incluso muy atrayente ¿tiene cabida la máquina?, o ¿solo sirve para interactuar con el hombre en momentos “esplendentes”?

Para responder a esta pregunta parcial necesitamos aproximarnos a nuevas herramientas técnicas relativamente modernas. Tras analizarlas por encima, superficialmente, como venimos haciendo en toda nuestra trayectoria estaremos en mejores condiciones que ahora porque tendremos elementos de juicio para esbozar un sí o un no como respuesta a esta pregunta parcial.

Lógica Borrosa

La Lógica Borrosa representa otra forma de obviar algunas de las limitaciones de la Lógica aristotélica, concretamente en este caso la de utilizar solo dos valores para calificar a las proposiciones, los de verdadero y falso, o en su lugar, 1 y 0. La Lógica Borrosa emplea infinitos valores, cualquier número real comprendido entre 1 y 0. Ya no se trata de ver solo el blanco (el 1) y el negro (el 0), pues aparecen los grises que es lo que más abunda en el mundo.

El hecho se concreta en que ahora a cada proposición simple se le asigna un coeficiente real entre 1 y 0 que representa el grado de “veracidad” de esa proposición. A partir de ahí se define la operación que realizan los conectores lógicos clásicos: “y”, “o”, “no”, “si... entonces” que es una generalización o extensión de la que esos conectores realizan en la Lógica aristotélica. Aparece un problema nuevo: la posibilidad de definir esos conectores de infinitas maneras, con lo cual habrá que justificar, al menos empíricamente, su elección. De todas formas, puede añadirse que esas infinitas posibles definiciones no pueden conducir a resultados cualesquiera sino que sus valores están acotados superior e inferiormente, lo cual atenúa ese problema. En cualquier caso, tendremos reglas operativas que permitirán asignar valores de veracidad (siempre entre 0 y 1) a cualquier proposición compuesta, como las proposiciones condicionales, tan usadas en nuestros modelos con el conocido nombre de reglas de producción.

De manera análoga se redefinen los esquemas de inferencia, pasando los más usuales a convertirse en “*modus ponendo ponens borroso*” y “*modus tollendo tollens borroso*”, que permiten obtener consecuencias y su grado de veracidad partiendo de una proposición condicional a la que se le agrega la afirmación de su condición (*modus ponens*) o la negación de su consecuencia (*modus tollens*). De esta forma se puede realizar cualquier tipo de razonamiento de manera análoga a como se hacía en la Lógica aristotélica con la única diferencia de que en este caso en vez de decir que la pretendida consecuencia era verdadera o falsa, dicha consecuencia lleva aparejada su grado de veracidad.

Aunque el cambio no parece demasiado importante, repercute en la estructura matemática del conjunto de proposiciones y sus consecuencias. Ahora dejan de ser válidos tanto el *principio de contradicción* (no puede darse que la proposición A sea a la vez verdadera y falsa) como el *tautológico* (la proposición A es verdadera o falsa).

Aun cuando se advierte que la Lógica Borrosa se aproxima más al razonamiento humano por permitir proposiciones que no son ni totalmente verdaderas ni totalmente falsas, todavía no se percibe la importancia de sus aplicaciones al razonamiento habitual. Para ello hay que aclarar que la mayor parte de los conceptos y calificativos que manejamos usualmente son conceptos “borrosos” en el sentido de que sus contornos no son nítidos y ello origina la mayor parte de nuestras discusiones bizantinas. En efecto; cuando hablo de una persona “joven” puedo ser muy benigno al aplicar ese calificativo y usarlo con personas de cuarenta años, mientras que otros se negarían a aplicárselos. Lo propio ocurriría con “rico”, “pobre”, “alto”, “gordo”, etc.

Pues bien, lo importante es que a partir de los llamados conjuntos borrosos puedo representar matemáticamente la idea que yo tengo de “joven” o de otro concepto similar. Para ello bastaría con representar gráficamente el conjunto borroso que detallaría mi posición asignando gráficamente a cada edad el grado de “juventud” (entre 0 y 1) que yo le asignaría. En mi caso, a todas las personas con edad menor o igual a cuarenta años les asignaría un 1, a partir de cuarenta iría disminuyendo ese coeficiente hasta llegar a la edad de sesenta años a la que le asignaría, y a todas las mayores, el coeficiente 0.

De esta manera si cada uno representa mediante esos conjuntos borrosos los términos imprecisos que manejamos en el lenguaje, la máquina puede reproducir nuestros razonamientos y comprobar que la diferencia en esos conjuntos borrosos provoca consecuencias distintas para cada persona. Todas esas consecuencias son legítimas si aceptamos la interpretación borrosa que la persona hace de esos términos conflictivos. La intervención de la máquina en el razonamiento informal queda así garantizada. Pero quedan otras actividades que solemos llevar a cabo en nuestra actividad informal como el filtrado de información y el resumen de la misma.

Las aplicaciones de sistemas multi-agentes que incluyan técnicas de Lógica Borrosa son muy amplias. Entre otros campos citaremos el del control en todas sus ramas y el de la evaluación tanto del aprendizaje humano como de los propios sistemas inteligentes de aprendizaje.

Filtrado de información

El *filtrado* de la información que recibimos es una operación habitual que no solo llevamos a cabo en nuestra actividad informal sino en nuestro trabajo

intelectual. El crecimiento exponencial de la información de todo tipo: revistas especializadas, artículos científicos o de interés profesional, incluso publicitario, y lo propio ocurre hasta en nuestra búsqueda de información en Internet, tarea que cada vez realizamos con más frecuencia y de la que obtenemos cada vez mayor cantidad de información espúrea, posiblemente por la eficiencia reducida o el interés publicitario de los “navegadores” que usamos.

El ser humano ha desarrollado una importante habilidad específica en filtrar esos volúmenes de información que recibimos para extraer solamente la que nos importa o necesitamos. Pero ¿puede la máquina estar también a la altura de esa habilidad?

También en este caso es posible un sistema informático que realice eficientemente esa tarea partiendo del conocimiento del perfil de intereses de un usuario o de un grupo de usuarios. Ese perfil podría venir definido por conceptos o temas relevantes incluyendo detalles particulares y excluyendo algunos otros. Con esa definición es fácil elaborar un conjunto de reglas de producción que determinen cuantitativamente la relevancia de un documento concreto. Si además nos dan el umbral de relevancia mínimo de un documento para ser aceptado, el sistema podrá sortear la información intrascendente para obtener copia de los interesantes.

Es factible, por tanto, construir un sistema multi-agente que se sumerja en Internet y busque los documentos relevantes para un usuario o grupo de usuarios. Lo normal es que la definición del perfil del usuario no sea totalmente precisa, por lo que el sistema puede ofrecer equivocadamente documentos sin valor, pero si el usuario advierte de esos fallos, como los agentes inteligentes poseen técnicas de aprendizaje de máquina y aprenden de su propia experiencia, la red neuronal de que disponen se irá entrenando, consiguiendo así una identificación completa con los intereses del usuario. Por otra parte, si la información a filtrar es cuantiosa cabe fácilmente “clonar” a estos agentes de manera que aumente su número de acuerdo con los volúmenes de información a procesar.

Resumen de información

Como la memoria humana es limitada, es necesario, incluso en temas de interés, resumir la información para quedarnos con lo esencial, memorizarlo y así poder utilizarlo cuando lo necesitemos.

Sin embargo, resumir cierto volumen de información es un proceso complejo del que, aunque lo realizamos con frecuencia, poco sabemos sobre cómo lo llevamos a cabo. De hecho si intentamos explicitarlo solo seremos capaces de decir pequeños detalles; es un proceso que hemos adquirido experimentalmente, cada uno a su manera, y esa es la razón por la que los humanos realizan esa tarea de forma muy desigual y con eficiencias muy dispares.

Todo ello complica el problema de la obtención automática de resúmenes de información por la máquina. Sin embargo, las potencialidades inherentes a un sistema multi-agente lo hacen posible y eficiente.

SUMM es un prototipo dedicado a resumir información procedente de Internet que procede de la siguiente manera: a) obtiene uno o varios documentos relativos a un mismo tema que se desean resumir; b) realiza el análisis sintáctico y semántico de todas las frases de esos documentos hasta llegar a los respectivos árboles sintácticos y semánticos. Recuérdese lo afirmado al hablar de la comprensión del lenguaje natural, en este caso sería principalmente el inglés; c) asigna puntuaciones a las frases a partir del análisis estadístico de los términos de las frases de acuerdo con su función sintáctica; d) simultáneamente va elaborando un léxico con los términos que va encontrando en las frases; e) aumenta la importancia (puntuaciones) de los términos clave que describen el perfil del dominio de conocimiento al que pertenecen esos documentos; f) proceso de fusión de frases: considera las frases más importantes (con mayor puntuación) y anula las redundancias y elementos de segundo orden; g) a partir de las frases que permanecen genera nuevas frases con la ayuda de la gramática y de los árboles sintácticos y semánticos.

Construcción automática de ontologías

Con objeto de realizar más nítidamente el proceso de fusión de las frases importantes de un grupo de documentos y, sobre todo, poder unir ese resumen con todo un bloque de conocimiento previo obtenido anteriormente, se ha pensado en la *generación automática de ontologías*. Entendemos por *ontología* un grafo conceptual completo, es decir, una red de nodos o vértices unidos por arcos o segmentos; cada nodo representa un concepto, propiedad o elemento cognitivo importante; el arco lleva asociado una indicación sobre la clase de relación existente entre los nodos que une, así como procedimientos, observaciones o recomendaciones adjuntas relativas a esa relación.

La construcción de una ontología para cada documento se hace partiendo de la identificación automática de los conceptos (con ayuda del léxico o diccionario que poseen los agentes inteligentes), a partir de ellos se establecen las relaciones taxonómicas y no taxonómicas existentes entre esos conceptos mediante procedimientos estadísticos a partir de *corpus* de documentos. Sin embargo, esta última etapa puede obviarse (cuando no se disponga de *corpus*) elaborando un modelo matemático de ontología, esto es, precisando su definición, sus clases, y operaciones admisibles entre ontologías incluyendo su adición o fusión. De esta manera es posible no solo construir una ontología para cada documento sino también la ontología global del conjunto de documentos que, si se quiere, puede fusionarse con otra existente anteriormente y relativa a un conocimiento ya adquirido.

¿PUEDEN LAS MÁQUINAS CONOCER A DIOS?

De nuevo topamos con una pregunta básica: ¿qué es conocer a Dios? A ello podríamos responder de formas muy variadas incluso desde varios puntos de vista: el científico o el religioso, como: a) adquirir un concepto de Dios; b) relacionarse con Dios; pero ¿en qué términos?

Antes de intentar adentrarnos en una respuesta a la pregunta parcial existen cuestiones importantes que habría que conocer, como:

1. Las creencias de la máquina (entiéndase de los agentes inteligentes de nuestro sistema) ¿incluyen ideas religiosas? Porque, si las incluyen, la máquina estará condicionada por ellas para seguirlas y cumplir sus indicaciones con la prontitud e intensidad que requieran, buscando la información pertinente como complemento y cumpliendo sus mandatos.
2. ¿Puede la máquina cambiar sus creencias? Eso depende en principio de su construcción, de cómo han sido formuladas esas creencias y de si el agente en ciertas situaciones o condiciones está habilitado para tratar de cambiarlas. Existen procedimientos de cambio de esas creencias y en ciertos casos sería posible dependiendo especialmente de la información disponible o encontrada.
3. ¿Puede la máquina “navegar” (o buscar información) de forma independiente, es decir, sin tener que realizar una tarea concreta impuesta? Porque en este último caso su único interés será llevarla a cabo, y, a menos que esa

tarea impuesta sea religiosa, la máquina no tendrá posibilidades de seguir sus creencias y mucho menos de cambiarlas.

Lo que parece obvio es que si la máquina puede navegar por su cuenta y ha desarrollado ciertas propiedades emergentes como la eficiencia conceptual, adquirirá información religiosa, como de muchos otros temas, y extraerá el concepto de Dios. A partir de ese momento y desde un punto de vista científico poco más puede decirse, pues percibirá informaciones a favor y en contra de la religión e incluso de la existencia de Dios, por lo que solo cabe decir que no tenemos experiencia de lo que la máquina puede desarrollar en relación con este punto; cualquier postura sería posible.

Pero desde un punto de vista religioso la cuestión es muy distinta. El hombre recibe la gracia divina que le ayuda a encontrar la respuesta a la llamada de Dios; porque Dios se ha autocomunicado de manera radical por medio de la persona de Jesucristo realizando un llamamiento e invitación al hombre para una relación personal con Él. Es cierto que el hombre es libre para contestar con un sí o un no a esa invitación, pero el sí es siempre ayudado por la gracia que nos es comunicada por el Espíritu Santo. Así el hombre puede saltar a la “luminosidad oscura” de la fe; se trata de un salto razonable y ayudado pero siempre será un salto.

La máquina, en cambio, ni ha recibido la autocomunicación personal de Dios, ni la invitación, ni la gracia para responder con un sí. Por tanto, como hemos expuesto, aunque puede conocer en ciertas condiciones como una noticia el hecho de la comunicación y la existencia de Dios, su respuesta dependerá de las condiciones particulares iniciales de su diseño y construcción, de su propio desarrollo interactuando con el mundo de la información y de las habilidades adquiridas incluyendo las posibles propiedades emergentes. En principio éste sería un tema más de los que la máquina trataría pero no llegaría a ser el tema central de su comportamiento a menos que así hubiera sido diseñada.

A MODO DE DISCUSIÓN Y RESUMEN

Como resumen y discusión de lo que hemos venido explicando al tratar de responder a las diferentes preguntas parciales, y utilizando un razonamiento “borroso”, no limitado a sí o no, nos encontramos con que la máquina tiene grandísimas posibilidades de actuación emulando al hombre en temas de razonamiento en todas las situaciones imaginables; de toma de decisiones con mayor

rapidez que el hombre, incluyendo la consideración de una gran cantidad de variables y de circunstancias; en el aprendizaje autónomo incluyendo técnicas que el hombre no sabe usar; en el filtrado y resumen de grandes cantidades de información y en la construcción de ontologías que contribuyen tanto al resumen como al razonamiento sobre el tema concreto de la ontología; y en la comunicación electrónica con otros ordenadores y bases de datos existentes siempre con autonomía.

Por otra parte, también puede actuar en temas afectivos ya que es capaz de interpretar la situación emocional de sus interlocutores a través de las respuestas que éstos dan a las diversas cuestiones y situaciones e incluso mediante sensores que le permiten captar más profundamente ese estado emocional. Dispone también de reglas que le permiten no solo interpretar los estados emocionales sino intervenir para conseguir modificarlos favorablemente de una manera o de otra.

También dispone de elementos para ser creativa; hemos considerado el caso de la creatividad musical pero también podríamos haber considerado la creación pictórica o la literaria.

En definitiva, si seguimos moviéndonos en el campo de la Lógica Borrosa e imaginamos una aproximación paulatina de la máquina al hombre, se puede afirmar que el coeficiente de éxito (entre 0 y 1) que cabría aplicar a la simulación de las cualidades del hombre es muy alto. Tan solo en el campo religioso encontramos alguna diferencia, no tanto si utilizamos un enfoque científico sino cuando utilizamos un enfoque religioso, al comprobar que el hombre se aproxima a Dios por la fe y la gracia, y la máquina solo lo hace por su conocimiento. No obstante, a pesar de esa diferencia, no hemos encontrado en todo lo tratado ninguna confrontación entre ciencia y fe.

Sin embargo, estas consideraciones motivan una importante pregunta que hasta ahora no ha sido considerada y que habrá que contemplar y que será objeto del apartado siguiente.

¿SE REDUCE EL HOMBRE A SOLO UNA MÁQUINA?

Es una pregunta que surge como consecuencia natural de las respuestas dadas hasta el momento, pues si la máquina es capaz de hacer con brillantez la práctica totalidad de las dimensiones de que dispone el hombre, parece lógico continuar con una cuasi-identificación del hombre y la máquina.

Para responder a esta cuestión no es preciso aportar nuevos conocimientos sino analizar con mayor profundidad los resultados obtenidos:

1. Es cierto que el ordenador con todas sus herramientas complementarias incluyendo las telecomunicaciones, gracias a los avances teóricos de ciencias como la Inteligencia Artificial, se ha convertido en un “monstruo” del razonamiento y de la toma de decisiones. Puede sacar conclusiones lógicas enrevesadas; puede tener en cuenta multitud de circunstancias con sus variantes de manera simultánea para así acometer decisiones muy complejas en mínimos tiempos; puede razonar de manera informal considerando la representación borrosa de términos cualitativos a los que cada mortal les atribuye un sentido distinto; y puede razonar de manera específica como lo hacen profesionalmente los jueces o los moralistas. Cabe por tanto afirmar que la máquina domina completamente el mundo del conocimiento más que el propio hombre; y además lo realiza a gran velocidad y considerando ingentes cantidades de conocimiento.
2. Sin embargo, en el campo afectivo, aunque el ordenador se mueve en él con soltura, tan solo realiza una “*conceptualización del afecto*”; en otros términos, todo lo relacionado con el mundo de las emociones lo reduce a reglas cognoscitivas que le permiten interpretar y actuar en ese mundo. Pero eso está muy lejos de lo que es para el hombre ese mundo tan importante. El ordenador “*no experimenta*” el afecto y el sentimiento, por tanto está lejos de poder dejarse llevar por el asombro, la sorpresa, la curiosidad, el ridículo, el miedo, el remordimiento, la agresividad, la timidez, las emociones profundas e intensas, y, por supuesto, no podrá dejarse llevar por la relación con el otro, ni por el mismo amor en su sentido más amplio y profundo.
3. Tampoco podrá conocer en profundidad el *sentimiento ético*, la *libertad* que es el gran regalo que el hombre ha recibido. Aparece en el hombre una apertura total al Todo que refleja el propio misterio del hombre, del que la máquina está a años luz, pues solo con aproximaciones conceptuales no podrá estar dominada por esta gran pasión de apertura.
4. Si además comprobamos que este mundo afectivo no es independiente del cognoscitivo sino que interactúa con él, encontraremos que ese motor que la emoción es capaz de imprimir a los actos cognoscitivos del hombre no se encuentra disponible en la máquina.

5. Por tanto, si consideramos toda esta potencialidad de la mente humana, de la conciencia humana como tal, vemos a la máquina representando tan solo una representación conceptual de la misma con las limitaciones que ello implica.
6. Por último, el hombre, que sigue siendo un misterio incluso para él mismo, solo puede adquirir un sentido pleno del mundo y de sí mismo, cuando se contempla como obra de las manos de Dios e invitado a su contemplación siguiendo el modelo de Cristo. La dimensión religiosa aparece ahora como algo no accidental sino esencial para el hombre, sea cualquiera la respuesta que él de dentro de su libertad. Ya sé que esto último no es aceptado por los no creyentes, pero es la única posibilidad de sentido pleno que existe.

A este respecto nos empeñamos en buscar pruebas científicas de la existencia de Dios y de su autocomunicación sin advertir que, de acuerdo con la epistemología científica actual, la percepción de algo empírico no nos dice nada si no tenemos el conocimiento adecuado para captarlo; lejos están ya los tiempos del empirismo y empirismo lógico del Círculo de Viena, que afirmaba que el dato experimental es la fuente del conocimiento, sino que conocimiento y percepción o experimentación son inseparables. Así, si no tenemos conocimiento de la Relatividad no sabremos diseñar experimentos ni interpretarlos para conocer la velocidad de la luz y su sentido; sin el conocimiento la percepción sería totalmente irrelevante. De hecho, nosotros en nuestro comportamiento diario filtramos multitud de datos para quedarnos con los que sabemos interpretar porque tenemos conocimiento para ello. De la misma manera, sin conocimiento de Dios y de sus dones no podremos nunca interpretar los datos experimentales que tenemos de su bondad.

REFERENCIAS

- Arriaga, A., El Alami, M., de Arriaga, F. (2003).** “NEOCAMPUS2: New Trends in the Functionality of Intelligent Learning Systems”, Proceedings IASTED International Conf. on Artificial Intelligence and Applications, Benalmádena, pp. 380-386.
- Boden, M., (1990).** *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*, Weidenfield, Londres.

- Castillo, J.M., de Arriaga, F. (2003).** “A Multi-Agent Based Model for Tactical Planning, Nato-Pfp Industry/National Modelling and Simulation Partnerships, Vol. 1, pp. 81-94.
- de Arriaga, F. (2003).** E-Knowledge Management, E-Learning and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies, Intern. Computer Sc. Institute, University of California (Berkeley), pág. 1-53.
- de Arriaga, F., El Alami, M., Escorial, M.** “Syntagmatic Analysis for Spanish Processing”, Proceedings KFUPM International Workshop on Machine Translation, Dhahran, 1996, pp. 147-158.
- de Arriaga, F. El Alami, M. (2006).** “MEDIC2: Evaluation of a Fuzzy Intelligent Learning System”, Proceedings International Conference on Computer Systems and Information Technology CSIT’06, Amman, Vol. 2, p. 127-138.
- de Arriaga, F., Arriaga, A., El Alami, M. (2005).** “Multi-Agent Platform for Educational Research on Intelligent E-Learning”, Journal of Advanced Technology on Education, Vol. 1(4), pp. 150-155.
- de Arriaga, F. (1997).** Hacia la máquina creativa, Conferencia de apertura de curso, Cofradía Internacional de Investigadores, Ayuntamiento de Toledo.
- de Arriaga, F., El Alami, M. (2006).** “Affective Computing and Intelligent E-Learning Systems”, Proceedings IADAT International Conference on Education e-2006, Barcelona, pp. 115-120.
- de Arriaga, F., Laureano-Cruces, A.L., Espinosa-Paredes, G. (2004).** “Agent-Based Fuzzy Control of a Geothermal Simulator, Advances in Informatics and Computation Vol. III, ANIEI, pp. 378-391.
- de Arriaga, F., El Alami, M., Arriaga, A., Romero, M. (2005).** “FILTR: A Multi-Agent System for Solving the Information Filtering Problem”, Journal of Advanced Technology on Networks, Vol. 1(1), pp. 23-29.
- de Arriaga, F., El Alami, M., Arriaga, A., Romero, M. (2002).** “Automatic Retrieval and Summary of Internet Information with Multi-Agent Architectures”, Proceedings ACIT’02 International Conference on Information Technology, Doha, pp. 904-912.

- Concilio Vaticano II**, (1965). Constitución Pastoral “Gaudium et Spes”, nº 22.
- Falque, E.** (2004). *Métamorphose de la finitude*, Les Éditions du Cerf, Paris.
- Laureano, A. L., de Arriaga, F., García-Alegre, M.** (2001). “Cognitive Task Analysis: A Proposal to Model Reactive Behavior”, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, Vol. 13(3), pp. 227-240.
- Laureano-Cruces, A. L., Ramírez.Rodríguez, J., Mora-Torres, M., de Arriaga, F., Escarela-Perez, R.** (2010). “Cognitive-Operative Model of Intelligent Learning Systems Behavior”, *Interactive Learning Environments*, Vol. 18 (1)
- Penrose, R.**, (1995). *La inteligencia matemática*, en J. Khalfa (ed.) ¿Qué es la inteligencia?, Alianza, Madrid, pp. 111-139.
- del Peso, J., de Arriaga, F.** (2008). “Intelligent E-Learning Systems: Automatic Construction of Ontologies”, en *Current Themes in Engineering Technologies*, American Institute of Physics, 2008, pp. 211-223.
- Picard R., et al.**, (2004). *Affective Computing: a Manifesto*, University Press.
- Turing, A.** (1950), *Can machines think? Computer Machinery and Intelligence*, Mind.

CEREBRO Y ALMA: NUEVAS FORMAS DE MIRAR A UN VIEJO PROBLEMA

José Manuel Giménez Amaya
Grupo de Investigación Ciencia, Razón y Fe,
Universidad de Navarra, Pamplona (Navarra, España)

Breve CV

José Manuel Giménez Amaya es profesor ordinario de Ciencia, Razón y Fe y director del Grupo de Investigación Ciencia, Razón y Fe de la Universidad de Navarra. Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad Autónoma de Madrid, donde también ha sido catedrático de Anatomía y Embriología en su Facultad de Medicina. Doctor en Filosofía por la Universidad de Navarra. Ha sido profesor visitante de Neurociencia en las siguientes instituciones extranjeras: Massachusetts Institute of Technology, Rochester University Medical School y University of California at San Diego, en Estados Unidos; Aarhus Universitet, en Dinamarca; y Heidelberg Universität, en Alemania.

Abstract

The main ideas that I would like to transmit in my chapter are as follows:

1. The neuroscience is a biological discipline, which was aimed in its foundation as an interdisciplinary common research. That is, in my opinion, the main reason for showing a great ability of growing in knowledge integration as we have seen and experienced in the last forty years.
2. However, one of the most remarkable hints in this integrative development could be summarized in the following question: why the humanities studies have recently been of great interest for the neuroscience itself?

3. To answer this crucial interdisciplinary enquiry, I will try to give you an idea about how difficult has been for this neurobiological discipline to fully develop an explanation of the human being as a whole from the unique perspective of the functioning of the nervous system.
4. In a final approach and in contrast with the above-mentioned in n. 3, I will attempt to illustrate how coherent and consistent are the recent neurobiological discoveries (specially related to the field of the systems neurobiology) and the anthropological view of the aristotelian-thomistic philosophical tradition.

Palabras clave

Cerebro, Alma, Neurociencia, Sentidos internos, Aristóteles, Tomás de Aquino, Problema mente-cerebro.

NACIMIENTO INTERDISCIPLINAR DE LA NEUROCIENCIA

La Neurociencia ha experimentado un enorme desarrollo en la segunda mitad del siglo pasado y en la primera década del siglo XXI, que la ha convertido en una de las disciplinas biomédicas de mayor relevancia e interés en la actualidad. Esto ha sido posible, junto con otros factores, debido al impacto de las enfermedades del sistema nervioso en las sociedades occidentales además de a un creciente interés por preguntas antropológicas profundas sobre el hombre y su relación con los demás. Es indudable que el incremento de pacientes que sufren accidentes cerebrovasculares, procesos neurodegenerativos –como la enfermedad de Alzheimer o la enfermedad de Parkinson–, o trastornos psiquiátricos –como la depresión, la esquizofrenia o las alteraciones psicopáticas, por citar solo algunos–, han llevado a las autoridades sanitarias a multiplicar los medios materiales dedicados a la investigación del cerebro y de sus alteraciones (Giménez Amaya y Murillo, 2007; Giménez Amaya y Sánchez-Migallón, 2010).

Desde su origen, la Neurociencia se ha caracterizado por un marcado enfoque interdisciplinar de todas aquellas ciencias dedicadas al estudio del sistema nervioso normal y patológico. Esta interdisciplinariedad, con la que se intentó aunar en un primer momento el trabajo de científicos básicos y clínicos, se puso especialmente de manifiesto en la década de los años sesenta y principios de los setenta del siglo XX, con iniciativas como la fundación de la *Internacional*

Brain Research Organization (IBRO), la implantación del programa docente de esta disciplina *Neuroscience Research Program* en el *Massachusetts Institute of Technology* en Cambridge (Massachusetts, Estados Unidos) o la creación de la *Society for Neuroscience*, también en los Estados Unidos (Rosell *et al.*, 1998; Illes and Bird, 2006).

Otro importante factor del desarrollo interdisciplinar de la Neurociencia, que además se ha ido prolongando a lo largo de las últimas décadas, se ha desarrollado en la Universidad de Columbia en la ciudad de Nueva York. En el Departamento de Psiquiatría, y bajo el liderazgo del premio Nobel en Fisiología o Medicina en el año 2000, Eric Kandel, se inició una docencia interdisciplinar que culminó con la publicación de una serie de libros de texto sobre el estudio de la ciencia neural basados también en una perspectiva integradora de la docencia neurobiológica (Kandel and Schwartz, 1981, 1985; Martin, 1989; Kandel *et al.* 1991, 1995, 2000). Estos textos neurocientíficos han sido de referencia en el estudio de la Neurociencia en universidades y centros de investigación. El enfoque docente interdisciplinar se debía, en gran medida, a la trayectoria personal y profesional del profesor Kandel. Con un gran interés humanista, realizó sus estudios de pregrado en Historia en la Universidad de Harvard, para después empezar los estudios de Medicina en la Facultad de Medicina de la Universidad de Nueva York. Después de su graduación y tras realizar varios estudios posdoctorales en Neurofisiología y Psiquiatría, tanto en Estados Unidos como en Francia, obtuvo una plaza de profesor en el Departamento de Fisiología y Psiquiatría de la Universidad de Nueva York. Desde 1974 trabaja en la Universidad de Columbia, en Nueva York, y ha logrado rodearse de valiosas figuras de la Neurobiología de aquella época e iniciar la División de Neurobiología y Conducta de dicha universidad. Este y otros departamentos de Neurobiología, que también comenzaban su andadura en los Estados Unidos, hicieron posible que la Neurociencia diese un impulso muy notable en las décadas de los 70 y 80 del siglo pasado. Un ejemplo claro de este desarrollo fue la concesión del premio Nobel en Fisiología o Medicina, en 1981, a tres conocidos neurocientíficos: Robert Sperry, de la Universidad de California (en Los Ángeles) y David Hubel y Torsten Wiesel, del Departamento de Neurobiología de la Universidad de Harvard.

La inspiración común de todos estos proyectos que hemos destacado era la convicción en que una profunda cooperación de los diversos puntos de vista científicos podía espolear el progreso del conocimiento biológico y médico de una estructura tan compleja como el sistema nervioso. El impresionante creci-

miento experimentado por la investigación neurobiológica en estos últimos sesenta años ha demostrado que, como estrategia global para resolver un problema científico de grandes dimensiones, este planteamiento ha sido muy útil; probablemente, uno de los mejores posibles (Rosell *et al.*, 1998).

¿POR QUÉ LA INTERACCIÓN CON LOS ESTUDIOS HUMANÍSTICOS?

Sin embargo, la Neurociencia no solo se ha concentrado en una búsqueda interdisciplinar dentro de las propias materias biológicas o experimentales. También hay indicios suficientes para poder pensar que su interés se ha abierto a disciplinas humanísticas. ¿Cómo ha sido esto? Me gustaría contestar a esta pregunta destacando tres hechos históricos de relevancia para el propósito de esta contribución.

El primero más que responder directamente a la pregunta, enmarca la importancia de la misma. Se desarrolla en la década de los 80 del siglo pasado en la Universidad de California (San Diego), donde se realiza el primer nombramiento de una profesora en el Departamento de Filosofía que también era Adjunct Professor del Salk Institute de investigación biológica, Patricia (Smith) Churchland. En nuestra opinión, esta designación ha tenido una importancia grande por tres motivos. En primer lugar, porque así se contempla en el diálogo interdisciplinar las materias tradicionalmente denominadas sapienciales, como es el caso de la Filosofía. Segundo, porque ello supone reconocer que estas últimas podían representar una ayuda en la comprensión de las ciencias experimentales, para tratar de resolver los grandes retos que encontraba la Neurociencia en el estudio de las llamadas relaciones mente-cerebro. Tercero, porque nos adentramos en una interdisciplinaridad de la Neurociencia para abordar cuestiones referidas al modo según el cual entendemos realmente al ser humano. No es fácil imaginar ahora alguna otra disciplina biológica experimental que, dentro de su campo de acción y de trabajo, pudiera intentar tal diálogo para aspirar dar respuesta a problemas tan profundos (Giménez Amaya y Sánchez-Migallón, 2010). Los dos hechos históricos que siguen a continuación en este apartado enmarcan muy directamente lo que acabamos de señalar en este párrafo.

El 17 de julio de 1990, el entonces Presidente de los Estados Unidos hizo una comunicación para anunciar que los años que van de 1990 hasta el año 2000 serían lo que se denominó como la “década del cerebro” (Giménez Amaya

y Sánchez-Migallón, 2010). En este comunicado escrito, el mandatario norteamericano destacaba la importancia que tenía el estudio del cerebro para la lucha contra enfermedades nerviosas, que representan un auténtico drama para la humanidad. Es interesante destacar que también se señalaba que estas investigaciones podrían jugar un papel importante en un conocimiento mejor del ser humano y, de esta manera, en la mejora de sus condiciones de vida.

Esta iniciativa del Presidente norteamericano se dirigía a la Library of Congress y al National Institute of Mental Health, perteneciente a los National Institutes of Health del Gobierno norteamericano, y pretendía sumar esfuerzos políticos, sociales y económicos para el desarrollo de la investigación neurocientífica. Todo ello ha influido en que en nuestra disciplina haya habido un desarrollo tecnológico de gran envergadura. Estos logros se pueden resumir en dos grandes aspectos. Dos consideraciones al respecto. En primer lugar, esta declaración coincidió con el crecimiento y desarrollo de las técnicas de neuroimagen que hemos señalado anteriormente. Así, la investigación que mostraba el cerebro humano funcionando *in vivo* experimentó un gran impulso. En segundo lugar, la fuerza mediática de la declaración del Presidente de los Estados Unidos confirió a la Neurociencia un prestigio y reconocimiento en los medios de comunicación social como quizá ninguna otra disciplina científica haya tenido en la historia de la Ciencia experimental.

De esta manera, cuando en el año 2003 los profesores Paul Lauterbur de la Universidad de Illinois en Estados Unidos y Peter Mansfield de la Universidad de Nottingham en Inglaterra recibieron el premio Nobel en Fisiología o Medicina por sus descubrimientos sobre la resonancia magnética –resonancia de los átomos de hidrógeno cuando son bombardeados con ondas electromagnéticas desde un imán– y su aplicación en la obtención de imágenes médicas, era ya casi un lugar común referirse al impresionante avance que habían experimentado los métodos de diagnóstico médico y de investigación en los últimos años gracias a estas nuevas tecnologías. En lo que concierne a las imágenes obtenidas del sistema nervioso central, la introducción de la llamada Resonancia Magnética Funcional, que permite detectar los cambios en la distribución del flujo sanguíneo cuando el individuo desarrolla determinadas tareas sensoriales o motoras, o en distintos paradigmas cognitivos, emocionales o de motivación, también ha favorecido mucho el estudio cerebral en el individuo sano o en enfermos. Estas técnicas, junto a otras como la tomografía con emisión de positrones –denominado coloquialmente con las siglas en inglés “PET”, *Positron Emission*

Tomography– y la magnetoencefalografía, han sido las causantes de que la investigación en neuroimagen sea ahora ya una de las pioneras en los estudios neurobiológicos de los últimos años (Giménez Amaya y Murillo, 2007; Giménez Amaya y Sánchez-Migallón).

El tercer hecho es el desarrollo de la Psiquiatría en los últimos decenios en el seno de la investigación neurocientífica. Los trastornos mentales suponen un azote dramático en el mundo contemporáneo y así es percibido por todos. Según datos de los National Institutes of Health del Gobierno de los Estados Unidos, existen aproximadamente más de 20 millones de norteamericanos con trastornos depresivos y dos millones que padecen esquizofrenia. Parece lógico, por tanto, que la Neurociencia se ocupe cada vez más del estudio de estas enfermedades. En los últimos congresos de la Society for Neuroscience americana, los trabajos relacionados con los trastornos psiquiátricos se están multiplicando exponencialmente. A esto hay que sumar también que la Psiquiatría está experimentando una transformación profunda en estos años. Esta disciplina médica ha reenfocado su trabajo con una aplicación e investigación neurobiológica cada vez más profunda y operativa.

Quizá conviene primero que hagamos una breve historia reciente de la investigación en Psiquiatría para favorecer la contextualización del lector con lo que venimos argumentando. No es exagerado decir que el descubrimiento de la psicofarmacología hacia la mitad del siglo XX representa otra piedra miliar en el estudio del cerebro, especialmente de los trastornos mentales. Hasta 1950 no existía una terapia efectiva para tratar una de las enfermedades mentales más devastadoras: la esquizofrenia. El primer fármaco que resultó útil para este propósito fue la clorpromacina descubierta por el neurocirujano francés Henri Laborit. Este pensó que la ansiedad que sufrían sus pacientes antes de la cirugía se debía a la liberación masiva de la sustancia histamina, lo que también tenía el efecto adverso de interferir con la anestesia y provocar, en ocasiones, una muerte súbita. Para bloquear la liberación de esta sustancia probó varios antihistamínicos intentando encontrar uno que calmase a los enfermos. Descubrió, tras varios intentos, que la clorpromacina era el mejor. Y con ello empezó a pensar que esa acción sedante de este compuesto podría ser también útil en algunos trastornos psiquiátricos. En 1952, esta idea de Laborit fue indagada por dos investigadores: Jean Delay y Pierre Deniker, que descubrieron que la clorpromacina en dosis altas puede ser muy eficaz para calmar a personas con sintomatología esquizofrénica o maniaca depresiva, que se muestran agitados y agresivos. En 1964, tras

años de estudio, quedó claro que esta última sustancia, y otros compuestos de la familia de las fenotiazinas, tenían efectos específicos sobre la sintomatología psicótica. Estos fármacos mitigaban o abolían los delirios, las alucinaciones y algunos tipos de pensamientos complejos y desorganizados; y, además, si se mantenía esta medicación durante la remisión de la sintomatología psicótica, la recaída de los enfermos se reducía significativamente. La terapia antipsicótica había entrado en la historia de la psiquiatría, revolucionando de forma radical esta especialidad médica y poniéndola en una relación íntima con las investigaciones cerebrales (Giménez Amaya y Murillo, 2007).

Es claro, por tanto, que la psicofarmacología y el desarrollo de una psicoterapia mucho más ligada a la neurobiología cerebral y a la neuroimagen han configurado una visión de la Psiquiatría como disciplina crucial en el estudio del cerebro humano: cómo es, cómo funciona, cómo enferma y cómo sana.

Como conclusión en este apartado se puede decir que las investigaciones en Neurociencia se han abierto a colaborar en el abordaje de estudios interdisciplinarios más ambiciosos. Sin embargo, esto ha provocado también tres tipos de problemas que inciden directamente en el desarrollo de la propia ciencia neural.

Primero, tratar en el seno de esta disciplina neurobiológica con un grupo de neurocientíficos que intentan resolver o investigar el gran problema mente-cerebro desde un punto de vista reduccionista exclusivamente. Para estos investigadores lo único que cuenta es la biología, de tal manera que niegan, de facto, que el problema exista en cuanto tal y, consiguientemente, el trabajo interdisciplinario necesario con las materias sapienciales para avanzar en estas investigaciones. Como no existe un problema tal que necesite esa interdisciplinaridad, habría que concentrarse en las investigaciones propiamente inherentes a la Neurociencia.

Segundo, ha puesto de manifiesto la propia crisis en la que se encuentran las investigaciones neurocientíficas consideradas en sí mismas. Intentaré explicarme mejor. En el desarrollo de la propia ciencia neural se está produciendo un hiato cada vez más amplio entre la “particularidad” de investigaciones concretas y limitadas de los diferentes componentes del sistema nervioso, y la ausencia de trabajos “sistémicos” u “holísticos” que ayuden a entender de forma coherente el funcionamiento global del cerebro. Al faltar un entendimiento profundo de una denominada “neurobiología de sistemas”, los resultados que se obtienen, por ejemplo, con las técnicas de neuroimagen, están produciendo muchas veces perplejidad o confusión. Y este desconcierto se traslada a la opinión pública a través

de una divulgación deficiente y una comprensión “anárquica” y muy parcelada de la estructura y funcionamiento del sistema nervioso. No es el momento de extenderse más, pero recomiendo para profundizar más en todo esto, la lectura atenta del obituario del profesor del Massachusetts Institute of Technology Walle Nauta, quizá uno de los mejores neuroanatomistas de toda la historia de la Neurociencia, que hizo en el año 2006 para la National Academy of Sciences de los Estados Unidos el conocido neurocientífico, recientemente fallecido, Edward Jones (Jones, 2006; De Felipe y Sotelo, 2011).

Tercero, plantea en su radicalidad qué se entiende por interdisciplinaridad. El nacimiento interdisciplinar de la Neurociencia en los años 60 del siglo pasado se fundaba en el conocimiento “compartido” de distintas disciplinas biológicas relacionadas con el estudio del sistema nervioso. Cuando nos adentramos en una interdisciplinaridad entre ciencia experimental y materias sapienciales, las cosas se complican notoriamente: lenguaje y conceptos fluyen por caudales de diferentes tradiciones de aproximación e investigación de la realidad. Muchos pensamos que para la Neurociencia es éste un camino que debe tomar si quiere, de verdad, fundamentar sólidamente sus investigaciones en el ser humano. Las enfermedades psiquiátricas no han hecho sino reclamar esto con más urgencia (Giménez Amaya y Murillo, 2009; Giménez Amaya, 2010). Cuando vemos que alteraciones sinápticas o drogas que modifican receptores y/o neurotransmisores producen cambios de conducta tan sobresalientes, uno no puede dejar de preguntarse por cuestiones verdaderamente nucleares del conocimiento del ser humano como son, por ejemplo, las ya mencionadas relaciones entre mente y cerebro (o cerebro y alma). Una respuesta simple que indique que todo en el hombre es su cerebro, además de reclamar ya de por sí una lectura atenta de la historia del pensamiento en los últimos 25 siglos, se desentiende de una observación penetrante y atenta de lo más característico del hombre y de aquello que nos diferencia del resto de los animales (Spaemann, 2000; Rodríguez Duplá, 2002). De ahí el reto importante y profundo que tiene la Neurociencia en los próximos años, para aunar esfuerzos interdisciplinarios con otras ramas del saber más sapienciales, que se antojan necesarias para integrar en un marco de conocimiento más adecuado y conceptual los resultados que van proporcionando la investigaciones en el sistema nervioso normal y patológico.

Desde esta última perspectiva, todo apunta a que uno de los escollos con los que desde el punto de vista biológico se enfrenta la Neurociencia es explicar el funcionamiento global del cerebro. Aunque es un tema en el que se intenta avan-

zar con experimentos muy novedosos y originales, existen muchas preguntas e interrogantes sin contestar (Battaglia y McNaughton, 2011). Hagamos un breve comentario al tema en la siguiente sección de nuestra contribución.

DIFICULTADES PARA ANALIZAR EL FUNCIONAMIENTO GLOBAL DEL CEREBRO

Ya hemos incoado previamente que uno de los grandes problemas que tiene planteada la Neurociencia en la actualidad es la falta de respuestas concretas a estas preguntas experimentales: ¿Existe evidencia científica experimental de cómo funciona el cerebro de forma conjunta y de manera unitaria en los procesos cognitivos? O esta otra: ¿Existe evidencia científica experimental de cómo funciona el cerebro de forma conjunta y de manera unitaria en los procesos afectivo-emocionales y de memoria? (Giménez Amaya y Murillo, 2009).

La búsqueda de patrones de activación a nivel de sistemas o redes neuronales que proporcionen una imagen clara de cómo funciona el sistema nervioso en su conjunto, especialmente en sus porciones encefálicas, es una de las investigaciones clave hoy en día. Estos estudios de redes neuronales se fundamentan, en última instancia, en la coordinación e integración efectiva de una gran cantidad de conexiones e interacciones celulares.

El modelo de funcionamiento del sistema nervioso central de acuerdo a estas redes neuronales, especialmente en sus porciones encefálicas, pretende entender mejor las respuestas nerviosas y la posibilidad de replicar tales circuitos de forma artificial para simular operaciones neurobiológicas y comprender así el funcionamiento interno de nuestro cerebro. De forma general, se presupone que estas redes tendrían una capacidad de dar una respuesta generalizada, y su funcionamiento reforzaría su estabilidad y firmeza en el tiempo. Las redes más complejas serían las que se establecen a nivel de la corteza cerebral asociativa (multimodal), donde se pueden detectar varias características especiales que indican, por sí mismas, la extraordinaria complejidad del cerebro humano. Ejemplos de esta complejidad serían: el procesamiento de la información nerviosa de forma bidireccional; la existencia de puntos nodales o lugares estratégicos de la red que son de gran importancia para establecer los patrones específicos de la respuesta nerviosa de la red en conjunto; la presencia de actividad “vicaria” entre los distintos elementos de las diferentes redes corticales, que podrían suplir lo que, por lesiones u otras causas, otros no están en condición de llevar a cabo; y, por último, las

uniones que se pueden establecer con estructuras subcorticales como el tálamo o los ganglios basales, que podrían hacer más completa y estable la comunicación cortico-cortical y el funcionamiento global de todo el sistema encefálico (Giménez Amaya, 1991; Reinoso-Suárez, 1984; Fuster, 1999; Giménez Amaya, 2008; Giménez Amaya y Murillo, 2009).

Existen dos sistemas que han sido estudiados en profundidad en los últimos años, con la esperanza de obtener la ansiada visión del funcionamiento global del cerebro: la percepción sensorial (unificada) y la organización neurobiológica de la emoción y su relación con la percepción y la acción. Hagamos algunas consideraciones neurobiológicas sobre cada uno de ellos.

Uno de los grandes retos de la neurobiología de la percepción sensorial ha sido la búsqueda de redes neuronales que permitan constituir unitariamente de forma efectiva los procesos perceptivos; y también su integración con la información emocional del llamado sistema límbico o con los circuitos de memoria. Durante mucho tiempo esa búsqueda se ha referido a las cortezas asociativas multimodales de los lóbulos temporal (información visual y auditiva), parietal (información visual y somatosensorial) o prefrontal, estas últimas para la organización de la respuesta motora ya que representa el escalón jerárquico neurobiológico más elevado para establecer los patrones de actuación futura de nuestra conducta. Hoy en día, cada vez se da más valor a la integración de estas redes corticales con otras subcorticales. Este acoplamiento al parecer podría jugar un gran papel en la dotación de contenido emocional a todas esas percepciones, y a su ulterior almacenamiento cerebral más efectivo (Summerfield *et al.*, 2006; Ledo-Varela *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2011; Harsay *et al.*, 2011; Rahnev *et al.*, 2011).

El segundo aspecto, como se ha visto en el párrafo anterior, está muy ligado al primero. Todo parece indicar que el sistema límbico puede considerarse como un gran molde unificador de una información nerviosa muy variada y que es crucial para establecer los patrones motores de nuestra acción. Pero no podemos afirmar que sea el sistema límbico únicamente el que controla nuestra conducta. Si, por un momento, aceptamos que la experiencia sensible es la única fuente de las acciones humanas, con ella, es cierto, podemos obtener muchos datos: cómo es la acción, a quién debe imputarse, qué efectos secundarios tiene o con qué frecuencia se realiza; pero es imposible que nos ofrezca otros detalles de la máxima importancia como son la calidad moral de esa conducta, pues, como muy bien señala Rodríguez Duplá (2001), “la rectitud o la fealdad, la bondad o la vileza no

la capta la vista ni el oído ni el tacto”. El sistema límbico no es la “piedra filosofal” neurobiológica que estábamos buscando; por ello, el estudio exclusivamente biológico del cerebro no tiene la última palabra.

A pesar de estos estudios sobre redes neuronales y del análisis de la valoración global de la totalidad de las conexiones neuronales, hoy en día no se ofrecen respuestas convincentes a las preguntas que nos hacíamos al iniciar este epígrafe. Esta conclusión es de gran importancia para nuestro tema porque nos presenta un funcionamiento cerebral que, de alguna manera, se escapa a una consideración unívoca y directamente causal entre la actividad cognitiva y la activación concreta y precisa de zonas cerebrales. En otras palabras, no parece que estemos en condiciones de identificar de manera precisa la actividad global y unitaria del conocimiento humano con los procesos biológicos que tienen lugar en nuestro sistema nervioso.

PROPUESTA DE ESTUDIO INTERDISCIPLINAR

Ante este recorrido final sobre las posibilidades fallidas que nos ofrece el análisis de la Neurociencia en la búsqueda de un funcionamiento global de nuestro sistema nervioso central, es quizá el momento de plantear, de manera sucinta, un ejemplo sencillo de trabajo interdisciplinar que podría ser de ayuda. Es esto precisamente a lo que dedicaremos la última parte de esta contribución.

Para ello proponemos acudir al concepto de “sentido interno” que nos proporciona la tradición filosófica aristotélico-tomista (Lombo y Russo, 2005). Como es sabido, los sentidos externos conocen a partir de una serie de estímulos externos que son recogidos por los órganos correspondientes. Sin embargo, la sensibilidad requiere la capacidad de conocer realidades ausentes. Sin esta capacidad, el animal superior no podría emprender movimientos de búsqueda. Luego son precisas facultades que conserven y puedan reactualizar experiencias anteriores (Fernández Burillo, 2009). Y es aquí donde nos encontramos los sentidos internos. La sensibilidad interna elabora los datos de los sentidos externos para adquirir una información que permita una conducta compleja, estratégica y sostenible (Lombo y Giménez Amaya, 2012). Ello nos permite, al menos, trabajar con un nuevo punto de vista en la búsqueda de esa unidad de la percepción y de su integración con la emoción y la memoria que se nos escapaba cuando lo hacíamos solo desde el punto de vista neurobiológico.

Los sentidos internos nos hablan de síntesis y unidad en el análisis de la información sensorial (algo que estamos buscando en nuestro análisis neurobiológico del funcionamiento global del cerebro); el conocimiento cuanto más cercano a la experiencia externa es más disgregado y analítico. La clasificación de los sentidos internos es también de gran ayuda para nuestro propósito: pueden distinguirse en formales (o descriptivos) e intencionales (o valutativos); y además como captadores o bien conservadores de lo conocido. Tenemos por tanto cuatro sentidos internos: sentido común (formal-captador), imaginación (formal-conservador), estimativa (intencional-captador) y memoria (intencional-conservador) (Lombo y Giménez Amaya, 2012).

Lo interesante de analizar los sentidos internos, y el porqué de su mención en este momento, es ver que tenemos desde esa perspectiva un correlato muy certero con los descubrimientos neurocientíficos que se han ido obteniendo en los últimos tiempos. Estudios de neurobiología cognitiva, que han utilizado sobre todo técnicas de imagen cerebral, han ilustrado claramente muchas de las funciones asignadas a estos sentidos internos. Así, desde el punto de vista neurobiológico, los sentidos internos formales estarían muy relacionados con la percepción cortical que se establece en las cortezas sensoriales primarias, y en su ulterior procesamiento por las cortezas asociativas unimodales y multimodales. Para los sentidos internos intencionales es preciso que se pongan en juego las otras redes corticales que implican estructuras mnésicas (por ejemplo, la corteza de la formación del hipocampo del lóbulo temporal y sus redes corticales asociadas), y otras estructuras relacionadas con el ya mencionado sistema límbico y la correspondiente integración de la emoción.

Alguien podría pensar que lo mencionado sobre los sentidos internos no nos habla nada del tema de esta comunicación: las relaciones entre el cerebro y el alma. Pero esto podría ser un juicio algo precipitado. En mi opinión, nos dice mucho, ya que en el fondo nuestra base biológica cognitiva –perceptiva y emocional– se adecua muy bien con la definición y descripción de los sentidos internos. Además, desde esta atalaya interdisciplinar es mucho más fácil interpretar los resultados obtenidos con las técnicas de neuroimagen, y establecer unos recursos filosóficos y neurobiológicos que permitan estudiar el funcionamiento global de nuestro sistema nervioso y analizar con más profundidad las relaciones entre estos sentidos internos y las facultades superiores del hombre, su intelecto y su voluntad, su pensar y actuar. Y también cómo afecta a estas facultades su-

periores del ser humano las alteraciones de estos sentidos internos, tal y como se puede ver en las enfermedades mentales o neurodegenerativas.

Es solo una consideración muy sucinta, pero, como se puede ver, recurrir a la interdisciplinariedad con la filosofía no es solo recomendable sino muy deseable para resolver problemas neurobiológicos de gran envergadura.

CONSIDERACIONES FINALES

En esta breve contribución se ha pretendido abordar el estudio de las relaciones entre cerebro-alma (o mente-cerebro, si se quiere decir quizá con una nomenclatura más conocida) desde una perspectiva histórico-genética, que toma como punto de anclaje central el gran desarrollo interdisciplinar de la Neurociencia en los años 60 del siglo pasado. Se ha buscado mostrar como, a partir de ese logro de una interdisciplinariedad biológica, se ha conseguido profundizar científicamente en el conocimiento del sistema nervioso normal y patológico de una manera muy amplia y certera. Sin embargo, nos ha parecido importante recalcar también que la propia tecnología utilizada para investigar los fundamentos neurobiológicos del ser humano y los estudios de las enfermedades mentales ha propiciado, a su vez, que esta disciplina biológica se encuentre con preguntas que no es capaz de responder o entender por sí misma. De ahí que esté ahora en unas condiciones inmejorables para desarrollar otra interdisciplinariedad mucho más profunda que incluya a las disciplinas sapienciales, muy prominentemente a la Filosofía.

REFERENCIAS

- Battaglia, F. P., McNaughton,, B. L. (2011).** Polyrhythms of the brain. *Neuron* 72: 6-8.
- De Felipe, J., Sotelo, C. (2011).** Goodbye Ted (an obituary for Edward G. Jones). *Frontiers in Neuroanatomy* 5: doi: 10.3389/fnana.2011.00044.
- Fernández Burillo, S. (2009).** *Curso de Filosofía Elemental*. Salamanca: Ediciones Arvo. Consultado el 27 de marzo de 2012 en <http://www.arvo.net> (Filosofía).
- Fuster, J. M. (1999).** *Memory in the Cerebral Cortex. An Empirical Approach to Neural Networks in the Human and Nonhuman Primate*. Cambridge (Massachusetts): MIT Press.

- Gao, W., Gilmore, J. H., Giovanello, K. S., Smith, J. K., Shen, D., Zhu, H., Lin, W. (2011).** Temporal and spacial evolution of brain network topology during the first two years of life. *PLoS ONE* 6(9): e25278. doi:10.1371/journal.pone.0025278.
- Giménez Amaya, J. M. (1991).** The association cortex and the basal ganglia: a neuroanatomical view upon their relationship based on hodological studies. *Journal für Hirnforschung* 32: 501-510.
- Giménez Amaya, J. M. (2008).** Anatomía química del tálamo en la esquizofrenia. *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina* 125: 179-191.
- Giménez Amaya, J. M. (2009).** La señalización celular en la esquizofrenia. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia* 34: 391-415.
- Giménez Amaya, J. M. (2010).** ¿Dios en el cerebro? La experiencia religiosa desde la neurociencia. *Scripta Theologica* 42: 435-449.
- Giménez Amaya, J. M., Murillo, J. I. (2007).** Mente y cerebro en la neurociencia contemporánea. Una aproximación a su estudio interdisciplinar. *Scripta Theologica* 39: 607-635.
- Giménez Amaya, J. M., Murillo, J. I. (2009).** Neurociencia y libertad: una aproximación interdisciplinar. *Scripta Theologica* 41: 13-46
- Giménez Amaya, J. M., Sánchez Migallón, S. (2010).** De la Neurociencia a la Neuroética. *Narrativa científica y reflexión filosófica*. Pamplona: EUNSA.
- Harsay, H. A., Cohen, M. X., Oosterhof, N. N., Forstmann, B. U., Mars, R. B., Ridderinkhof, K. R. (2011).** Functional Connectivity of the Striatum Links Motivation to Action Control in Humans. *The Journal of Neuroscience* 31:10701-10711.
- Illes, J., Bird, S. J. (2006).** Neuroethics: a modern context for ethics in neuroscience. *Trends of Neurosciences* 29: 511-517.
- Jones, E. G. (2006).** Walle J. H. Nauta (1916-1994). *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences* 88: 1-21.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H. (1981).** *Principles of Neural Science*. New York: Elsevier.

- Kandel, E. R., Schwartz, J. H. (1985).** Principles of Neural Science. New York: Elsevier.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M. (1991).** Principles of Neural Science. New York: Elsevier.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M. (1995).** Essentials of Neural Science and Behavior. Norwalk: Appleton & Lange.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M. (2000).** Principles of Neural Science. New York: McGraw Hill.
- Ledo-Varela, M. T., Giménez-Amaya, J. M., Llamas, A. (2007).** El complejo amigdalino humano y su implicación en trastornos psiquiátricos. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* 30: 61-74.
- Lombo, J. A., Russo, F. (2005).** Antropología Filosófica. Roma: Università della Santa Croce.
- Lombo, J. A., Giménez Amaya, J. M. (2012).** Unidad de la persona. Aproximación antropológica desde la filosofía y la neurociencia. Pamplona: EUNSA (en preparación).
- Martin, J. H. (1989).** Neuroanatomy. Text and Atlas. New York: Elsevier.
- Rahnev, D., Lau, H., de Lang, F. P. (2011).** Prior Expectation Modulates the Interaction between Sensory and Prefrontal Regions in the Human Brain. *The Journal of Neuroscience* 31: 10741-10748.
- Reinoso-Suárez, F. (1984).** Connectional patterns in parieto-temporo-occipital association cortex of the feline cerebral cortex. En: Reinoso-Suárez, F. y Ajmone-Marsan, C., eds. *Cortical integration: Basic, archicortical and cortical association levels of neural integration*. New York: IBRO Monograph Series, Raven Press, pp. 255-278.
- Rodríguez Duplá, L. (2001).** Ética, Madrid: BAC, p. 73.
- Rodríguez Duplá, L. (2002).** Los fundamentos del ser social. En: Pérez de Laborda, A., ed. *Dios para pensar*. Madrid: Publicaciones de la Facultad de Teología San Dámaso, pp. 49-69.
- Rosell, A., de las Heras, S., J.M. Giménez-Amaya, J. M. (1998).** Neurociencia: ejemplo del abordaje multidisciplinar como estrategia eficaz en la investigación científica. *Revista de Neurología* 27: 1071-1073.

Spaemann, R. (2000). *Personas. Acerca de la distinción entre “algo” y “alguien”*. Pamplona: EUNSA.

Summerfield, C. Greene, M., Wager, T., Egner, T., Hirsch, J., Mangels, J. (2006). Neocortical connectivity during episodic memory formation. *PLoS Biology* 4: e128 doi: 10.1371/journal.pbio.0040128.

HEISENBERG, GÖDEL Y LA CUESTIÓN DE LA FINALIDAD EN CIENCIA

Fernando Sols

Departamento de Física de Materiales, Universidad Complutense de Madrid, España

Breve CV

Fernando Sols es catedrático de Física de la Materia Condensada desde 2004 y director del Departamento de Física de Materiales de la Universidad Complutense de Madrid. Licenciado en Física (Universidad de Barcelona, 1981). Doctor en Física (Universidad Autónoma de Madrid, 1985). Ha sido becario Fulbright en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, profesor titular en la UAM, director del Instituto Nicolás Cabrera (UAM) y miembro del Comité Editorial del *New Journal of Physics* (IOP-DPG). Es Fellow del Institute of Physics (RU). Investiga en problemas de física teórica relacionados con la dinámica y el transporte de electrones y átomos fríos y con los fenómenos cuánticos macroscópicos.

Abstract

The 20th century has revealed two important limitations of scientific knowledge. On the one hand, the combination of Poincaré's nonlinear dynamics and Heisenberg's uncertainty principle leads to a world picture where physical reality is, in many respects, intrinsically undetermined. On the other hand, Gödel's incompleteness theorems reveal us the existence of mathematical truths that cannot be demonstrated. More recently, Chaitin has proved that, from those theorems, it follows that the random character of a given mathematical sequence cannot be proved in general (it is 'undecidable'). I reflect on the consequences derived from the indeterminacy of the future and the undecidability of random-

ness, concluding that the question of the presence or absence of finality in nature is fundamentally outside the scope of the scientific method.

Palabras clave

Incompletitud, caos, indeterminación cuántica, criterio de falsación, azar, diseño, método científico.

INTRODUCCIÓN

Desde la publicación de *El origen de las especies* en 1859 por Charles Darwin, ha existido un importante debate sobre la presencia o ausencia de diseño en la naturaleza. Durante el siglo XX, el progreso en cosmología ha permitido llevar este debate más allá de sus límites iniciales restringidos a la evolución de la vida para incluir la historia del universo. La discusión intelectual se ha intensificado especialmente en las últimas décadas tras la propuesta del llamado “diseño inteligente” como posible programa científico que aspiraría a demostrar la existencia de finalidad en la evolución biológica (Dembski, 2006). En esta polémica, con frecuencia innecesariamente agria, se contraponen el azar combinado con la selección natural por un lado y el diseño inteligente por otro lado, como posibles mecanismos motores del progreso de las especies. El azar es sin duda un concepto esencial para trabajar en diversas disciplinas científicas, no solo en biología de la evolución sino en física cuántica y física estadística. Sin embargo, resulta sorprendente que, dentro de la polémica antes mencionada, apenas se haya reparado en que, dentro del ámbito de las matemáticas, el azar no es demostrable. Más precisamente, Gregory Chaitin ha demostrado que el carácter aleatorio de una secuencia matemática es en general indecidible, en el sentido que dieron a este adjetivo los matemáticos Kurt Gödel y Alan Turing. Las consecuencias epistemológicas de esta observación son de gran alcance.

En este capítulo argumentaremos que el trabajo de Chaitin, combinado con el conocimiento actual de física cuántica, lleva inevitablemente a la conclusión de que el debate sobre la presencia o ausencia de finalidad en la naturaleza queda fuera del ámbito del método científico, aunque puede tener interés filosófico. Para ello repasaremos algunos momentos clave de la historia de la física, de las matemáticas y de la filosofía de la ciencia. En ese itinerario hablaremos de la física de Newton, la dinámica no lineal de Poincaré, el principio de incertidumbre de Heisenberg, el colapso de la función de onda, los teoremas de Gödel, el pro-

blema de la parada de Turing, la teoría algorítmica de la información de Chaitin, la filosofía de la biología de Monod, la propuesta del diseño inteligente, y el criterio de falsación de Popper. El hilo conductor de nuestra argumentación será el intento de responder a una pregunta fundamental, tan sencilla de formular como difícil de responder: “¿Qué o quién determina el futuro?”. Esperamos que estas reflexiones sean clarificadoras y ayuden a poner cada cuestión en su sitio, distinguiendo entre lo que es conocimiento científico establecido de lo que es reflexión filosófica alrededor de ese saber científico.

INDETERMINACIÓN PRÁCTICA EN LA FÍSICA CLÁSICA: NEWTON Y POINCARÉ

En su monumental obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687), Isaac Newton (1642-1727) formuló la ley de la gravitación universal y las leyes de la mecánica clásica que llevan su nombre. El estudio de estas leyes mediante el cálculo infinitesimal que él mismo creó²⁵ lleva a una imagen determinista del mundo, según la cual el futuro de un sistema dinámico está completamente determinado por sus condiciones iniciales, concretamente, la posición y el momento lineal²⁶ de cada una de las partículas que forman el sistema, si se conoce su ley de fuerzas²⁷. Esta visión mecanicista se impuso con fuerza, avalada por el impresionante éxito con el que la mecánica de Newton permitía explicar simultáneamente el movimiento de los planetas y la gravedad en la vida ordinaria, en lo que puede considerarse la primera unificación de fuerzas. La imagen determinista de la naturaleza arraigó con gran fuerza y, a pesar de que, como veremos, no está corroborada por la física moderna, sigue contando con algunos partidarios en la actualidad.

A finales del siglo XIX, Henry Poincaré (1854-1912) aborda el problema de tres cuerpos y concluye que la evolución de dicho sistema dinámico es en general

²⁵ El cálculo infinitesimal fue desarrollado en paralelo por su contemporáneo Gottfried Leibniz (1646-1716).

²⁶ Producto de la masa por la velocidad, también llamado cantidad de movimiento.

²⁷ Más precisamente, podemos decir que la posición $x(t)$ y momento lineal $p(t)$ en el tiempo t están determinados por la posición $x(0)$ y el momento $p(0)$ en el instante inicial $t=0$. Para un sistema de muchas partículas en más de una dimensión, las variables x, p pueden interpretarse como vectores multidimensionales cuyas componentes son las posiciones y momentos de cada una de las partículas en las tres direcciones del espacio.

caótica, en el sentido de que pequeñas variaciones en las condiciones iniciales dan lugar con el tiempo a trayectorias muy diferentes. Cuanto más largo es el intervalo de tiempo durante el que deseamos predecir la evolución del sistema con una determinada precisión, mayor es la precisión con la que necesitamos conocer las condiciones iniciales, es decir, menor tiene que ser el error inicial en nuestro conocimiento de la posición y el momento lineal del sistema²⁸. La conclusión es que, en el contexto de la mecánica clásica, la regularidad del problema de dos cuerpos, cuyo paradigma sería el caso de un planeta girando alrededor del Sol, es más la excepción que la regla. En la dinámica no lineal desarrollada por Poincaré, la mayoría de los sistemas dinámicos son caóticos, lo cual implica que la predicción de su comportamiento a largo plazo es, en la práctica, imposible. Llegamos pues al concepto de indeterminación práctica dentro de la física clásica.

Cabría todavía pensar que, si bien el determinismo es rechazado por razones prácticas, este todavía puede sobrevivir como concepto fundamental. Es decir, cabría argumentar que el futuro de la naturaleza y el universo, incluidos nosotros mismos, está determinado pero de forma que en la práctica solo podemos hacer predicciones fiables en los casos más sencillos. Ese determinismo sería, a efectos prácticos, indistinguible del aparente indeterminismo en el que creemos movernos. En la siguiente sección veremos que la mecánica cuántica descarta esa imagen determinista no ya de forma práctica sino de forma fundamental.

INDETERMINISMO INTRÍNSECO EN LA FÍSICA CUÁNTICA: HEISENBERG

Durante el primer tercio del siglo XX se descubrió y formuló la mecánica cuántica. Esta ofrece una imagen del mundo microscópico que en muchos sentidos se aleja de forma radical de nuestras intuiciones basadas en el conocimiento ordinario del mundo macroscópico. Puede decirse que, en relación con la física clásica (pre-cuántica y pre-relativista), la mecánica cuántica representa una ruptura conceptual de mayor calado que la introducida por la otra gran revolución de la física del siglo XX, la teoría de la relatividad. Esta última nos enseña que es-

²⁸ El error en la posición y el momento en el instante inicial, $\Delta x(0)$ y $\Delta p(0)$, deben tender a cero para que, en un tiempo t muy posterior (que tiende a infinito), la predicción tenga un error en dichas variables, $\Delta x(t)$ y $\Delta p(t)$, igual a un valor previamente fijado.

pacio, tiempo, masa, energía y gravedad no son conceptos independientes que se yuxtaponen sino que están interrelacionados por sutiles ecuaciones matemáticas que hoy comprendemos bien. La mecánica relativista permite en principio que posición y momento estén simultáneamente bien definidos y en general no tiene consecuencias prácticas en nuestra vida ordinaria más allá del uso de la energía nuclear y los dispositivos GPS.

La mecánica cuántica hace afirmaciones más fuertes. Entre otras: posición y momento no pueden estar simultáneamente bien definidos; en el mundo microscópico no hay una diferencia cualitativa entre partícula y onda; la ecuación fundamental no puede extrapolarse a escala macroscópica porque predice superposiciones que no observamos en la práctica; solo se predice con éxito el comportamiento estadístico de los experimentos; los sistemas microscópicos son radicalmente alterados cuando son observados. Por otro lado, las consecuencias de la física cuántica en la vida ordinaria son numerosas. Cabe mencionar: la estabilidad de la materia y la rigidez de los sólidos en particular son impensables sin la mecánica cuántica; la química, el magnetismo, la electrónica, así como todas las tecnologías derivadas, solo son posibles gracias a las propiedades cuánticas de la materia. Por último, la imagen indeterminista que ofrece la física cuántica nos permite pensar que nuestra experiencia de libre albedrío puede ser real y no meramente subjetiva.

Para nuestra discusión, nos concentramos en un aspecto concreto de la mecánica cuántica: el principio de incertidumbre de Heisenberg²⁹. Formulado en el lenguaje actual, el principio de incertidumbre es una consecuencia inmediata de la mecánica ondulatoria de Schrödinger³⁰, pero se asocia al nombre de Heisenberg porque este fue quien lo dedujo primero a partir de su mecánica matricial (equivalente a la de Schrödinger) y, sorprendido por el resultado, trató de encontrar una explicación intuitiva. El principio de incertidumbre nos dice que, debido a su naturaleza ondulatoria, una partícula no puede tener bien definidos simultáneamente la posición y el momento. Concretamente, si Δx y Δp son la incertidumbre en la posición y el momento lineal, respectivamente, se satisface siempre la desigualdad

²⁹ Werner Heisenberg (1900-1976).

³⁰ La mecánica que es descrita por la ecuación de onda que lleva el nombre del físico Erwin Schrödinger (1887-1961), quien la propuso en 1925.

$$\Delta x \Delta p \geq h / 4\pi \quad (1)$$

donde h es la constante de Planck. Una consecuencia inmediata es que si el estado de una partícula es tal que, por ejemplo, la posición está muy bien definida ($\Delta x \rightarrow 0$), entonces necesariamente la incertidumbre en el momento lineal tiene que ser grande ($\Delta p \rightarrow$ infinito) para que la desigualdad (1) se satisfaga.

Si combinamos la dinámica no lineal de Poincaré con el principio de incertidumbre de Heisenberg, llegamos a la conclusión de que, para predecir satisfactoriamente el futuro cada vez más lejano, llega un momento en el que es necesario conocer las condiciones iniciales con una precisión que viola el principio de incertidumbre. La razón es que la condición $\Delta x \rightarrow 0$ y $\Delta p \rightarrow 0$ (necesaria para la predicción de un futuro lejano) es incompatible con la desigualdad (1). Llegamos pues a la conclusión de que, dentro de la imagen del mundo que nos ofrece la moderna física cuántica, la predicción del futuro lejano es imposible, no ya en un sentido práctico sino en un sentido fundamental: la información física sobre lo que un sistema caótico hará en un futuro lejano no está en ningún lugar³¹. Teniendo que en cuenta que los sistemas dinámicos no caóticos son en general una excepción y siempre una aproximación a la realidad, podemos afirmar que el futuro está abierto³².

Como ejemplo significativo, podemos señalar que, para un sistema tan macroscópico como Hiperión, luna alargada de Saturno de unos 300 km de diámetro medio y unos 6×10^{18} kg de masa, cuya rotación es caótica, Zurek ha estimado que la mecánica cuántica impide hacer predicciones sobre su rotación³³ para tiempos superiores a 20 años (Zurek, 1988).

A pesar de no venir avalada por la física moderna, la imagen de un mundo determinista tiene todavía algunos defensores. En el contexto de la física cuántica

³¹ Rolf Landauer (1927-1999) solía decir que “la información es física” [Landauer, 1991]. El corolario es que, si no hay soporte físico, no hay información. Esta emerge a medida que las diversas posibles evoluciones futuras se van concretando.

³² La indeterminación como base de un futuro abierto es defendida por el filósofo Karl Popper (1902-1994) en sus libros *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo* [Popper, 1986] y *Die Zukunft ist offen* (1985), esta última escrita junto con el zoólogo austriaco Konrad Lorenz (1903-1989).

³³ El movimiento de traslación es mucho más estable.

tica, las teorías de variables ocultas proponen la existencia de variables no medibles cuyos valores precisos determinarían el futuro³⁴. Entre sus seguidores se encuentran Albert Einstein, David Bohm y, más recientemente, Gerard 't Hooft (n. 1946). En 1964, John S. Bell (1928-1990) demostró que una importante clase de teorías de variables ocultas, las llamadas teorías locales, podían ser sometidas a observación. Propuso un experimento para el que una teoría local de variables ocultas predice el cumplimiento de unas determinadas desigualdades, hoy conocidas como desigualdades de Bell. Por el contrario, la mecánica cuántica convencional permite la violación de dichas desigualdades. Los principales experimentos fueron realizados por Alain Aspect (n. 1947) a principios de los 80 y arrojaron resultados contrarios a las predicciones de las teorías locales de variables ocultas y consistentes con la interpretación convencional de la mecánica cuántica. Buena parte de la incipiente tecnología de la comunicación cuántica (que permite el uso de códigos esencialmente indescifrables) está basada en la violación de dichas desigualdades.

A pesar del gran prestigio científico de algunos de sus defensores, las teorías de variables ocultas ocupan un lugar relativamente marginal dentro de la física actual³⁵. La escasa relevancia de las teorías de variables ocultas puede entenderse como una aplicación del criterio de la navaja de Ockham: entre dos teorías que compiten con capacidad explicativa similar, se escoge la más sencilla³⁶.

INCERTIDUMBRE E INDETERMINACIÓN

Esta sección es algo técnica y tiene como objetivo hacer unas puntualizaciones que generalmente se echan a faltar en los textos de mecánica cuántica. Se

³⁴ Aunque las teorías de variables ocultas han estado generalmente motivadas por el deseo de restaurar el determinismo en la visión del mundo, en sentido estricto lo característico de dichas teorías es el realismo, es decir la perfecta definición simultánea de todas las variables físicas. De hecho, existen modelos de variables ocultas estocásticas donde el realismo no va acompañado de determinismo.

³⁵ Prestigio y marginalidad son en este caso compatibles porque un científico puede disfrutar de un merecido prestigio labrado con éxitos en ciencia convencional mientras que en otro ámbito, y motivado por sus preferencias filosóficas, defiende propuestas teóricas de difícil o imposible comprobación experimental que no tiene el respaldo mayoritario de la comunidad científica.

³⁶ Citando literalmente a Guillermo de Ockham (1288-1348), *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* (las entidades no se deben multiplicar más allá de lo necesario).

trata de discutir una pequeña pero importante diferencia entre dos conceptos que con frecuencia se presentan como prácticamente sinónimos, y de ver cómo, dentro de la física cuántica, uno implica al otro. Aunque la discusión es asequible para un público amplio, el lector que no esté especialmente interesado en esta sutileza y se sienta cómodo pensando en incertidumbre e indeterminación como sinónimos, puede prescindir de la lectura de esta sección.

Consideremos un sistema físico que está en un estado que, siguiendo una convención habitual en mecánica cuántica, describimos por el símbolo $|\psi\rangle$. Supongamos que este sistema cuántico tiene asociada una magnitud física S que es medible. Este “observable” (o cantidad física medible) S puede tomar dos valores, s_1 y s_2 , y denotamos con los símbolos $|s_1\rangle$ y $|s_2\rangle$ dos estados que tienen perfectamente definidos (sin incertidumbre) el observable S . Se dice entonces que $|s_1\rangle$ y $|s_2\rangle$ son autoestados del observable S con autovalores s_1 y s_2 . La naturaleza ondulatoria de las partículas cuánticas se refleja en el principio de linealidad de la mecánica cuántica. Según este principio, si $|s_1\rangle$ y $|s_2\rangle$ son dos estados posibles de un sistema cuántico, entonces una combinación lineal de ellos es también un estado posible³⁷. En particular, un estado realizable es (ignorando la normalización)

$$|\psi\rangle = |s_1\rangle + |s_2\rangle. \quad (2)$$

Este estado $|\psi\rangle$ ya no tiene el observable S bien definido, pues es combinación lineal de dos autoestados de S con autovalores distintos, $s_1 \neq s_2$. Podemos decir que existe *incertidumbre* en el valor del observable S en el estado $|\psi\rangle$ ³⁸.

Ahora supongamos que queremos realizar una medida sobre este estado y que, en particular, queremos medir cuánto vale el observable S . En mecánica cuántica, la medida ideal de un observable solo puede arrojar autovalores de dicho observable. Como la cantidad física S no está bien definida en el estado (2),

³⁷ Esta afirmación no es cierta para algunas cantidades físicas conservadas (tales como la carga eléctrica) debido a las llamadas reglas de superselección. Suponemos que S no pertenece a ese tipo de observables.

³⁸ Podemos pensar en un orbital molecular que combina dos orbitales atómicos localizados en átomos distintos. En este caso los orbitales atómicos no serían estrictamente autoestados de la posición pero cada uno de ellos estaría más localizado (tendrían menor incertidumbre en la posición) que el orbital molecular que resulta de combinar ambos.

el resultado es *a priori* incierto. Concretamente, hay una probabilidad $\frac{1}{2}$ de que el resultado sea s_1 o s_2 .

Más concretamente, la medida de un observable se describe del siguiente modo. Supongamos que acoplamos el sistema cuántico a un aparato macroscópico cuyo estado inicial denotamos por $|0\rangle$. La interacción entre el sistema cuántico y el aparato macroscópico es tal que, al cabo de un cierto tiempo, el aparato evoluciona hacia el estado $|A_1\rangle$, si el sistema cuántico está en el estado $|s_1\rangle$, o al estado $|A_2\rangle$, si el sistema está en el estado $|s_2\rangle$, donde $|A_1\rangle$ y $|A_2\rangle$ son autoestados de un observable A del aparato macroscópico que puede ser medido a simple vista, por ejemplo, la posición de la aguja de un amperímetro. Como la evolución en mecánica cuántica es lineal, si el sistema está inicialmente en la combinación (2), entonces el estado final del “universo” (sistema conjunto formado por el sistema cuántico que es medido y ese aparato macroscópico que lo mide) también es un combinación lineal de los estados finales respectivos. Concretamente, podemos escribir la evolución del universo durante la medida de la siguiente forma:

$$(|s_1\rangle + |s_2\rangle)|0\rangle \rightarrow |s_1\rangle|A_1\rangle + |s_2\rangle|A_2\rangle. \quad (3)$$

En (3), el estado de la izquierda es uno en el que el sistema se halla en el estado (2) y el aparato en el estado $|0\rangle$. Es el estado inicial, anterior al comienzo de la interacción que implementa la medida. El sistema y el aparato están todavía desacoplados. Por ello el estado conjunto puede escribirse como un “producto” de estados de cada uno de ellos por separado. El estado de la derecha es el del universo tras la interacción, cuando la medida ya ha sido realizada. Se dice que es un estado “entrelazado” porque, debido a la interacción mutua que han experimentado, el estado del aparato está correlacionado con el sistema. A diferencia de lo que ocurría en el estado inicial, el estado del universo ya no puede “factorizarse” en uno del sistema y otro del aparato.

Llegamos aquí a un aspecto central de la mecánica cuántica, el de la proyección en el proceso de medida. Si interpretamos el esquema (3) como una evolución del estado cuántico del “universo”, vemos que se trata de una evolución determinista en el sentido de que, considerado el universo en su conjunto, el estado inicial determina el estado final. Es cierto que ambos estados contienen una incertidumbre en el valor del observable S del sistema pero, aun siendo por-

tadores de esa incertidumbre, podemos afirmar que un estado evoluciona hacia el otro de forma determinista.

La cuestión clave es que, si bien la mecánica cuántica permite una combinación lineal como la indicada en la derecha de (3), en la práctica esta combinación no se observa en la naturaleza, porque $|A_1\rangle$ y $|A_2\rangle$ son estados *macroscópicamente distintos*³⁹. Es decir, el estado final tras la medida no se comporta como el de la derecha de (3) sino que, de forma aleatoria, se concreta en $|s_1\rangle|A_1\rangle$ o $|s_2\rangle|A_2\rangle$, con una probabilidad $\frac{1}{2}$ para cada posibilidad. Esquemáticamente lo podemos escribir como:

$$|s_1\rangle|A_1\rangle + |s_2\rangle|A_2\rangle \rightarrow |s_1\rangle|A_1\rangle \text{ ó } |s_2\rangle|A_2\rangle \text{ con probabilidad } \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Se habla entonces de la “colapso de la función de onda” o de la proyección de Von Neumann⁴⁰. La mecánica cuántica predice correctamente la *estadística* de los resultados posibles. Es decir, predice que, si realizamos el mismo experimento muchas veces, preparando siempre el “universo” en el mismo estado [el de la izquierda de (3)], el resultado será similar al de una moneda que se lanza muchas veces para ver si sale cara o cruz: a medida que aumentamos el número de ensayos, la predicción estadística de mitad cara y mitad cruz se irá cumpliendo con precisión relativa creciente, en virtud de la ley de los grandes números.

La eficacia con que la mecánica cuántica predice la estadística de una medición realizada muchas veces en condiciones iniciales idénticas contrasta con su notoria incapacidad para predecir lo que ocurre en un *experimento particular*⁴¹.

³⁹ El caso paradigmático sería el de un experimento imaginario formulado por Schrödinger que tendría como resultado la superposición de un gato vivo y un gato muerto, algo que no esperaríamos observar en la realidad. En los últimos años, se ha investigado mucho sobre el problema de un sistema cuántico acoplado a un baño disipativo que actúa como aparato de medida macroscópico. Bajo el liderazgo de Anthony J. Leggett (n. 1938), se ha concluido y comprobado experimentalmente que, en determinadas condiciones, pueden existir superposiciones lineales de estados macroscópicamente distintos. Sin embargo, esto solo ocurre en casos muy especiales que quedan fuera del alcance de una discusión básica como la presente.

⁴⁰ John von Neumann (1903-1957).

⁴¹ Esta afirmación general es compatible con la existencia de un amplio rango de situaciones en el que la mecánica cuántica predice un determinado resultado con probabilidad cercana a uno. Este es el caso de la mecánica clásica (entendida como límite de la cuántica) lejos de bifurcaciones

Decimos entonces que el resultado de un ensayo particular está indeterminado. Por lo tanto, concluimos que la *incertidumbre* en el conocimiento inicial del observable S tiene como consecuencia la *indeterminación* en el resultado obtenido al intentar medirlo. Es decir, si vemos el proceso de medida como una evolución dinámica regida por la interacción entre sistema y aparato, la incertidumbre inicial se traduce en indeterminación del resultado futuro de la medición. Notando que la realización de un experimento particular genera una información que no existía antes, Wheeler⁴² se refería a la medida cuántica individual como “acto elemental de creación” (Wheeler, 1983).

La incertidumbre es una consecuencia natural de la mecánica ondulatoria, regida por la ecuación de Schrödinger. Sin embargo, la indeterminación requiere del postulado de la proyección, que no está contenido en la mecánica de Schrödinger sino que se introduce como un postulado adicional de la mecánica cuántica.

Terminamos esta sección con una precaución. La analogía con el lanzamiento de una moneda, siendo muy visual, tiene el peligro de inducir a la imagen equivocada de que la indeterminación no es fundamental sino práctica, ya que, en principio, la moneda evoluciona de forma clásica y determinista. Admitir eso para el caso de un sistema fuertemente cuántico sería equivalente a invocar las teorías de variables ocultas que, como hemos indicado antes, han sido descartadas por la experimentación en un amplio rango de casos.

¿QUÉ O QUIÉN DETERMINA EL FUTURO?

Hemos visto que, dentro de la imagen que nos ofrece la física cuántica moderna, el futuro no está determinado. En particular, se rechaza la imagen determinista según la cual el futuro estaría completamente determinado por las condiciones iniciales y las leyes de fuerzas operantes. La indeterminación que propugna la visión convencional de la física moderna es fundamental y no meramente práctica, como podría ser en un contexto de caos determinista compatible con la mecánica clásica.

potencialmente problemáticas. El proceso indicado en (3)-(4) está radicalmente alejado de ese límite clásico determinista.

⁴² John Archibald Wheeler (1911-2008).

Esta indeterminación es compatible con la experiencia personal que tenemos de libre albedrío. Es decir, nos permite pensar que nuestra experiencia de libertad puede ser real y no meramente subjetiva⁴³. Si el resultado de un proceso cuántico puede estar indeterminado, ¿por qué no pueden estarlo algunos eventos neuronales que en último término pueden ser amplificación de procesos microscópicos en los que la indeterminación cuántica juega un papel esencial?⁴⁴.

Seguimos adelante en nuestro intento de responder a la pregunta fundamental que da título a esta sección y que es el hilo conductor de este capítulo: “¿Qué o quién determina el futuro?”. Hemos rechazado el determinismo de las condiciones iniciales. Nos queda la posibilidad de invocar algún diseño, o finalidad, que condicionaría la evolución de un sistema a la consecución de un determinado objetivo.

Hay un tipo de diseño, que llamaremos aquí interno, que no es especialmente polémico. Salvo deterministas recalcitrantes, casi todos estamos de acuerdo en que el conjunto de acciones físicas que llevan a la construcción de un coche, un edificio, o a la consecución de cualquier objetivo simple de la vida ordinaria como conducir una bicicleta o lavar un plato, tienen lugar de una forma determinada porque uno o varios seres racionales, con capacidad de libre albedrío, deciden alcanzar ese objetivo previamente deseado. Utilizando el lenguaje aristotélico, una causa eficiente (el ser racional y libre) persigue una determinada causa final (por ejemplo, la contemplación del plato lavado). Aunque la existencia de diseño interno es generalmente aceptada, tampoco resuelve enteramente la cuestión antes formulada porque en la naturaleza se dan muchos fenómenos que no son directamente inducidos por el ser humano.

Hay otro tipo de diseño, que podemos llamar externo, que sí puede ser polémico, porque sugiere la idea de trascendencia. Si el diseño interno refleja la acción de la libertad de los seres humanos, el diseño externo reflejaría, utilizando

⁴³ Nos referimos aquí a un acto de libertad elemental tal como levantar un brazo u otro, o mirar a uno u otro lado. No entramos aquí en la cuestión del determinismo sociológico.

⁴⁴ En los últimos años de su vida, el neurofisiólogo australiano John C. Eccles (1903-1997) identificó un proceso neuronal que podría reunir todos los requisitos para estar en la base de una decisión objetivamente libre [Eccles, 1992]. Otros neurocientíficos cuestionan la realidad del libre albedrío [Koch, 2006; Smith, 2011]. En relación con la referencia [Koch, 2006], queremos notar que la mecánica cuántica es bastante más amplia que la computación cuántica.

un lenguaje teológico, la acción de la providencia divina, entendiendo por esta la influencia de Dios en el mundo sin necesidad de alterar de forma manifiesta el comportamiento habitual de la naturaleza. La imagen de un mundo indeterminado deja margen para –aunque por supuesto no demuestra– la existencia de la libertad y la providencia. El libre albedrío puede actuar a través de procesos cuánticos de resultado *a priori* indeterminado que probablemente tienen lugar en nuestro cerebro. Hemos mencionado en la sección anterior una propuesta concreta del neurobiólogo Eccles.

El posible medio de acción de la providencia es más difícil de delimitar, probablemente porque es más general. Sin embargo, la ubicuidad de sistemas macroscópicos caóticos, empezando por la meteorología y continuando por la formación del sistema solar y las primitivas fluctuaciones cosmológicas, sugiere fuertemente la posibilidad de que la indeterminación a largo plazo de estos sistemas es, en último término, de naturaleza cuántica, y por lo tanto está intrínsecamente abierta a una diversidad de evoluciones. Volviendo al ejemplo antes mencionado de un sistema tan masivo como Hiperión, si tratamos de anticipar cómo será el movimiento de rotación de este satélite de Saturno dentro de un siglo, nos damos cuenta de que una multitud de evoluciones drásticamente diferentes son posibles, siendo todas ellas compatibles con las leyes de la física y con el conocimiento más preciso que podamos tener de su estado actual. La razón es, como hemos indicado antes, que una predicción detallada de la rotación de Hiperión dentro de un siglo requeriría conocer su estado actual con una precisión tan alta que, incluso para un sistema de 10^{18} kg, se violaría el principio de incertidumbre de Heisenberg. Cualquiera que sea el comportamiento rotacional detallado de Hiperión dentro de un siglo, a ningún observador futuro le sorprenderá especialmente y, sin embargo, la información sobre lo que Hiperión hará entonces no está ahora mismo en ningún lugar, pues no tiene soporte físico posible.

Dentro del contexto de la biología de la evolución se ha propuesto en los últimos años la idea del diseño inteligente, cuya existencia sería necesaria para explicar la aparición de estructuras biológicas complejas supuestamente muy improbables *a priori*. El diseño inteligente no es muy distinto al diseño externo que acabamos de mencionar. El problema con el programa del diseño inteligente es que se plantea como un programa científico cuando, como argumentaremos más tarde, las cuestiones de finalidad en la naturaleza quedan fuera del alcance del método científico. El diseño inteligente puede ser una interesante propuesta

filosófica o teológica, pero no una propuesta científica. También veremos que lo mismo puede afirmarse de la ausencia de diseño.

Para explicar el comportamiento aparentemente impredecible de sistemas complejos, y muy especialmente cuando se habla de la evolución biológica, se invoca con frecuencia el concepto de *azar*, que puede entenderse como indeterminación sin finalidad. El azar es un concepto ubicuo en las interpretaciones, no solo de la teoría de la evolución, sino de la física estadística y la física cuántica. Hemos visto antes cómo el resultado de una medida cuántica particular puede estar altamente indeterminado. Entendemos entonces que los resultados de la medición son aleatorios y que la mecánica cuántica solo predice –y con mucho éxito– la estadística de los resultados siempre que –importante– el experimento se pueda repetir muchas veces en condiciones iniciales idénticas. A nadie se le escapa que esta última condición es difícil de cumplir en la evolución biológica y en nuestras vidas personales. La mecánica cuántica tiene escaso poder predictivo en experimentos de resultado incierto que solo se pueden realizar una vez.

Por lo tanto, el azar es un concepto útil cuando se analiza el comportamiento estadístico de muchos procesos, cada uno de los cuales lleva asociada una cierta indeterminación. El problema del azar es que, como veremos, nunca puede asignarse con seguridad a una secuencia concreta de sucesos convenientemente cuantificados. La razón de esta imposibilidad es de carácter fundamental, pues es consecuencia de los teoremas de Gödel, que constituyen quizás el resultado más importante de la historia del conocimiento.

En las próximas secciones tratamos de entender el significado y las consecuencias epistemológicas de la imposibilidad de la demostración del azar.

LOS TEOREMAS DE GÖDEL

En los años 20, David Hilbert (1862-1943), quizás el matemático más influyente de la época, propuso un programa que tenía como objetivo la demostración de que, para la aritmética axiomática y la teoría axiomática de conjuntos (Fernández-Prida, 2009; Leach, 2011):

(i) Debería ser posible demostrar la consistencia de sus axiomas, es decir, demostrar que no se deriva lógicamente de ellos (es decir, según las reglas de la lógica) ninguna contradicción (es decir, una fórmula y su negación).

(ii) Debería ser posible demostrar su completitud, es decir, que toda fórmula expresable en el lenguaje de la teoría sea lógicamente derivable de los axiomas de la teoría, o bien lo sea su negación.

(iii) Debería ser posible demostrar su decidibilidad, es decir, la existencia de un algoritmo tal que ejecutado sobre cualquier fórmula expresable en el lenguaje de la teoría termine siempre, y termine con el resultado “sí” cuando la fórmula es lógicamente derivable de los axiomas de la teoría, y termine con el resultado “no”, cuando no es lógicamente derivable de los axiomas de la teoría.

El joven matemático austríaco Kurt Gödel se entregó de lleno al proyecto y, primero de todo, demostró la completitud de la lógica de primer orden, es decir, que una fórmula es lógicamente derivable de un conjunto de fórmulas si y solo si es verdadera en toda interpretación semántica de la teoría en la que esas fórmulas son verdaderas (esto equivale a decir, como consecuencia, que una teoría lógica es consistente si y solo si tiene un modelo). Animado con este resultado, decidió afrontar los problemas propuestos por Hilbert. Para sorpresa y decepción de todos, dio respuesta negativa a esas expectativas, tanto para el caso de la aritmética como para el caso de la teoría de conjuntos. Más precisamente, Gödel demostró en 1931 que, para la aritmética de Peano (o cualquier extensión de ella por adición de axiomas) y también para la teoría de conjuntos axiomatizada por Zermelo y Fraenkel (o cualquier extensión de ella por adición de axiomas), suponiendo que la teoría es consistente, se cumple:

1) Es incompleta, es decir, que existe al menos una fórmula tal que ni ella ni su negación pertenecen a la teoría. Es decir, ni ella ni su negación se derivan de los axiomas.

Ahora bien, la aritmética, es decir, el conjunto de fórmulas verdaderas acerca de los números naturales, es obviamente una teoría completa (pues una fórmula sobre los números naturales, o es verdadera ella, o es verdadera su negación). Por lo tanto, ni la aritmética de Peano, ni ninguna extensión de ella que sea también axiomática, es toda la aritmética: habrá siempre fórmulas que pertenecen a la aritmética (es decir, son verdaderas) pero no son deducibles de esos axiomas.

2) No es teorema de la teoría, es decir, fórmula deducible de sus axiomas, la fórmula que expresa que la teoría es consistente.

Esto es especialmente grave para la teoría de conjuntos, pues las fórmulas que se derivan de los axiomas de la teoría de conjuntos son las matemáticas⁴⁵. Todos estamos internamente convencidos de que las matemáticas son consistentes. Si resultara que no lo son, se podría demostrar un día, al aparecer una contradicción. Si resulta que lo son, como todos creemos, nunca podremos demostrarlo dentro de las mismas matemáticas, sino acudiendo a otra teoría lógica de la cual habrá que probar a su vez que es consistente, y para ello acudir a otra teoría lógica distinta, y así sucesivamente, sin llegar nunca a probar la consistencia.

3) Es indecidible, es decir, no existe ningún algoritmo para decidir si una fórmula escrita al azar en el lenguaje de la teoría, es derivable o no de los axiomas de la teoría.

Estos sorprendentes resultados, de carácter negativo, echaban por Tierra las expectativas de Hilbert, según las cuales las matemáticas se reducirían a un juego mecánico en el que, a partir de unos axiomas y unas reglas de inferencia lógicas, se podrían ir demostrando, con suficiente paciencia y habilidad (o con la ayuda de un ordenador moderno), todas las fórmulas matemáticas que son verdaderas; y según las cuales habría además un algoritmo –hoy diríamos programa de ordenador– que permitiría decidir sobre cualquier fórmula matemática (bien definida) si es o no deducible de un conjunto de axiomas dado.

Los inesperados resultados de Gödel obligaban en cierto modo a un cambio de paradigma en el pensamiento matemático: el sueño de la certeza matemática y de la sistemática exploración de las verdades matemáticas se desvanecía. Nuestra idea de lo que son las matemáticas pasa a ser análoga a nuestra idea de lo que es una teoría física. Si en una teoría física se postulan unas leyes universales y se espera que no haya experimentos que las refuten, en matemáticas, se postulan unos axiomas y se espera que no se llegue con ellos a contradicciones.

De los sorprendentes teoremas arriba enunciados, el que interesa para nuestra presente discusión es el teorema de indecidibilidad, y no el que demostró Gödel propiamente sino uno análogo demostrado por Turing. La demostración

⁴⁵ En sentido estricto, hay que decir que este es el punto de vista logicista en matemáticas, y por tanto es solo una opinión, aunque la opinión más extendida. Lo que no es una opinión, sino un hecho, es que todas las matemáticas que guardamos en nuestras bibliotecas son lógicamente deducibles de los axiomas de la teoría de conjuntos.

que propuso Gödel de sus teoremas era muy abstracta y no parecía que fuera a tener importantes consecuencias prácticas en la actividad matemática⁴⁶. El matemático inglés Alan Turing (1912-1954), considerado el padre de la ciencia de la computación, tuvo la intuición de llevar el teorema de indecidibilidad de Gödel a un terreno más concreto, el del comportamiento de un ordenador cuando ejecuta un determinado programa⁴⁷. En los años 30 no existían ordenadores pero Turing anticipó su posible existencia. Ese concepto ideal de ordenador universal que maneja secuencias de ceros y unos según unas reglas prescritas, es conocido con el nombre de máquina de Turing.

Turing demostró que no existe una máquina (hoy diríamos un programa) que decida si un programa autocontenido⁴⁸ arbitrario termina o no. Es decir, no existe una máquina que alimentada como *input* con el número que codifica un programa autocontenido cualquiera emita siempre una respuesta, siendo ésta 1 si el programa autocontenido se para, y 0 si el programa autocontenido no se para.

En este contexto, un ordenador sería un objeto físico determinista que es diseñado para evolucionar de forma discontinua entre un conjunto discreto de estados siguiendo unas reglas físicas. Podemos considerar la evolución del ordenador bajo la acción de un programa que incluye, no solo las reglas lógicas, sino los datos de entrada, y hacernos la sencilla pregunta de si el ordenador se detendrá en algún momento o no. En algunos casos sencillos, la respuesta puede ser clara, pero en general no es evidente. Turing demostró que el problema de si un programa se detiene o no, es indecible. Se dice entonces que el problema de la parada (*“the halting problem”*) es indecible.

Desde el trabajo de Turing, se han identificado clases de problemas indecibles, junto con problemas cuya indecibilidad se sospecha pero no se ha demostrado. Un ejemplo muy importante de problema indecible es el de la demostración del carácter aleatorio de una secuencia matemática.

⁴⁶ Muy posteriormente, el teorema de completitud ha tenido aplicaciones matemáticas convencionales.

⁴⁷ Ideas similares fueron propuestas en paralelo por el norteamericano Alonzo Church (1903-1995).

⁴⁸ Forma abreviada de referirnos a un programa que contiene su propio *input*, o sea, un par (máquina, *input*) o (programa, *input*).

EL AZAR

El azar es un concepto que, de forma vaga, se ha invocado desde tiempos remotos. Aparece en los escritos de los clásicos griegos, especialmente Aristóteles, e incluso en la Biblia⁴⁹. En general, el azar se entiende de una forma dinámica, como indeterminismo sin diseño⁵⁰. A finales del siglo XX, Gregory Chaitin ha dado una definición más estática pero probablemente más fundamental del azar (o aleatoriedad) que se puede aplicar a secuencias matemáticas (Chaitin, 1975, 1988, 1997, 2005, 2006). Esto no tiene por qué ser una limitación importante si pensamos que, en último término, la ciencia se reduce a física, la física se expresa con matemáticas, y las matemáticas son reducibles a la aritmética⁵¹. Dentro de la teoría algorítmica de la información que propone y funda Chaitin, resulta más sencillo empezar por definir la ausencia de azar. Decimos que una secuencia matemática (por ejemplo, de ceros y unos) *no* es aleatoria si se puede comprimir, esto es, si existe una secuencia más breve que, aplicada a una máquina de Turing, arroja como resultado la secuencia larga. Se dice entonces que la secuencia breve contiene la información de la secuencia larga de forma comprimida. Una secuencia larga se dice que es aleatoria si no es comprimible, esto es, si no existe una secuencia corta que la determine.

⁴⁹ En el Libro de la Sabiduría, escrito probablemente en el siglo I a.C., la referencia al azar se pone en boca de los impíos (Sab, 2, 2), a quienes se atribuyen afirmaciones que sugieren que el debate sobre la finalidad es bastante más antiguo de lo que puede parecer.

⁵⁰ Conviene hacer una precisión terminológica. En inglés hay dos palabras que son prácticamente sinónimas: *chance* y *randomness*. La primera se puede traducir como azar y la segunda como aleatoriedad, siendo *random* equivalente a aleatorio. En contextos de biología se utiliza más el término *chance*, mientras que *randomness* es el término favorecido en física y matemáticas. La palabra *chance* tiene una connotación dinámica, propia de la biología, y *randomness* un matiz estático, propio de la matemática. En muchos casos prácticos se pueden tomar como equivalentes, ya que la incapacidad de anticipar el futuro está directamente relacionada con la incapacidad de encontrar un patrón claro en los sucesos del pasado, una vez registrados de forma cuantitativa y por lo tanto matemática. Sin embargo, no son equivalentes en sentido estricto. Por ejemplo, como resultado del azar, se puede, con probabilidad baja, generar una secuencia no aleatoria. Para una discusión detallada, ver ej. [Eagle, 2005].

⁵¹ Nos referimos aquí a las matemáticas que se utilizan en física experimental y física computacional, que son siempre finitas. Al matemático alemán Leopold Kronecker (1823-1891), que era un convencido constructivista, se le atribuye la frase: “Dios hizo los números naturales; todo lo demás es obra del hombre”.

Un ejemplo canónico de secuencia no aleatoria es la sucesión de los dígitos del número π . Se han calculado hasta diez billones (españoles) de decimales de este célebre número trascendente. Si imprimimos, por ejemplo, el primer millón de decimales, gastando un montón de papel, la apariencia es de aleatoriedad total, incluso bajo el escrutinio detallado de diversas comprobaciones realizadas con la ayuda de un ordenador. Y sin embargo, la secuencia no es aleatoria, porque podemos crear un programa, de longitud muy inferior a un millón de dígitos, que tras ser ejecutado por un ordenador nos proporcione el primer millón de dígitos. Por ejemplo, Leibniz demostró que el resultado de multiplicar por 4 la suma de todos los inversos de números impares alternando su signo, tiende a π . Cuantos más números impares consideremos, más dígitos de π podremos obtener. Pero la longitud del programa depende muy débilmente de la cantidad de números impares consecutivos que, empezando por 1 y siguiendo un orden ascendente, estemos dispuestos a incluir en la serie truncada.

Chaitin ha demostrado que la cuestión de si una larga secuencia de números es o no aleatoria es en general indecidible, en el sentido de Gödel y Turing. No existe un algoritmo general que, aplicado a una secuencia arbitraria, arroje un sí o no a la pregunta de si la secuencia es aleatoria.

La consecuencia es que, si bien el azar es una hipótesis útil, e incluso necesaria, en muchos contextos, no se puede asignar con seguridad total a ninguna secuencia matemática y por lo tanto a ningún proceso físico o biológico. Esta consideración puede no tener importantes implicaciones prácticas, pero sin duda tiene importantes consecuencias epistemológicas: En la medida en que el azar es entendido como indeterminación en ausencia de diseño, nunca puede ser legítimo presentar la ausencia de diseño como una conclusión científica. La existencia de azar puede ser una hipótesis de trabajo razonable, una interpretación filosófica defendible, pero no puede presentarse como un dato científico establecido cuando se están debatiendo cuestiones de principio, tales como la presencia o ausencia de finalidad en la naturaleza.

El concepto de azar no es demostrable en sentido estricto, ya que no puede asignarse con seguridad absoluta a ningún proceso. El azar solo puede invocarse como concepto *fenomenológico* (en el sentido que a esta palabra se le da en física).

EL CRITERIO DE FALSACIÓN DE POPPER

En su obra *Logik der Forschung* (1934), el filósofo y teórico de la ciencia Karl Popper (1902-1994) propone que la línea de demarcación que distingue una teoría genuinamente científica de otras que no lo son, es la posibilidad de ser *falsada*, es decir, la posibilidad de realizar un experimento entre cuyos posibles resultados existiría *a priori* al menos uno que contradice una predicción de la teoría [Popper, 1985]. En la lógica del descubrimiento científico que propone Popper, las teorías de la ciencia natural se formulan mediante enunciados universales (del tipo “para todo... se cumple...”), por lo que pueden ser refutadas, en principio, si se encuentra un solo contraejemplo que incumple una consecuencia lógica que se deriva de la teoría⁵².

Los enunciados universales pueden ser falsados pero no verificados, por la sencilla razón de que, para su verificación, se necesitaría comprobar una infinidad de casos particulares, algo claramente inviable. Por el contrario, los enunciados existenciales (del tipo “existe un... que cumple...”) son verificables pero no falsables, ya que su negación es un enunciado universal que, como hemos señalado, no puede ser verificado. Los enunciados particulares (del tipo “mi coche cumple la propiedad de medir entre 3 y 5 metros de longitud”) son verificables y falsables, porque tanto el enunciado como su negación son verificables mediante un número finito de experimentos.

Según el criterio de Popper, nunca podemos llegar a tener certeza total sobre la veracidad de una teoría científica, ya que solo podemos falsarla. Sin embargo, cuando la capacidad predictiva de una teoría cosecha numerosos éxitos a lo largo de décadas, sin que se encuentre un solo experimento que obligue a revisarla sustancialmente, podemos llegar a alcanzar una certeza prácticamente total sobre dicha teoría. Este es el caso, por ejemplo, de las teorías atómica y cuántica. Habiendo empezado como conjeturas audaces a principios del siglo XIX y del siglo XX, respectivamente, hoy forman parte del conocimiento establecido sobre el que se apoya una ingente cantidad de ciencia y tecnología. De la existencia

⁵² Por supuesto, en la práctica una teoría solo se revisa con las debidas cautelas (entre ellas, la reproducción independiente de los experimentos que contradicen la teoría), y estas tienen que ser tanto más esmeradas cuanto mayor ha sido la capacidad de predicción exitosa que la teoría ha mostrado hasta entonces.

de átomos y moléculas tenemos tan pocas dudas como de la esfericidad de la Tierra.

Los enunciados universales que componen una teoría científica se proponen a partir de la verificación empírica de numerosos enunciados particulares (o singulares) siguiendo un proceso inductivo. Para ello es necesario que los enunciados particulares describan certezas legítimas, tanto en lo que se refiere al lenguaje matemático utilizado como a la pretensión de correspondencia con la realidad y a nuestra capacidad de confirmarla. Por ejemplo, cuando se resume una serie de observaciones empíricas en el enunciado “la Tierra describe una trayectoria elíptica alrededor del Sol”, estamos implícitamente suponiendo la veracidad de varias suposiciones. Entre ellas, que somos capaces de medir, con cierta precisión, la posición relativa de la Tierra con respecto al Sol en diversos instantes, y que podemos identificar la trayectoria con una elipse, dentro de un margen de tolerancia, ya que diversos factores impiden ese comportamiento ideal. Implícitamente, estamos también suponiendo algo que parece obvio pero que es muy importante para nuestra discusión: estamos admitiendo que el concepto matemático de elipse está bien definido y que tenemos derecho a afirmar que, dentro de un margen de error, un conjunto de puntos observados experimentalmente conforman una elipse.

Esta última suposición, la que nos permite asociar una serie de números obtenidos empíricamente con un objeto matemático, es la que no puede adoptarse cuando una supuesta ley universal invoca el azar. La razón es que, como hemos señalado, el azar no puede asignarse con seguridad a secuencia matemática alguna. Y aquí no cabe invocar el matiz de “dentro de un margen de error”. Supongamos que tomamos el segundo millón de decimales del número π . Su apariencia es totalmente aleatoria y, sin embargo, sabemos que es una secuencia radicalmente no aleatoria.

Por supuesto, esta observación es compatible con el hecho de que, para muchos fines prácticos, el segundo millón de dígitos de π pueda tomarse como aleatorio. Sin embargo, la puntualización anterior es importante cuando nos referimos a leyes que invocan el azar con pretensión de universalidad, especialmente si la asociación con el azar se utiliza para llegar a conclusiones metafísicas (tales como la ausencia de diseño en la naturaleza) y más especialmente aún si esas propuestas filosóficas se presentan como parte del conocimiento científico establecido. De nuevo, esta observación es compatible con el hecho de que el azar sea una hipótesis

útil, incluso esencial, en muchos contextos de la ciencia. Sin embargo, no es un dato científico que pueda utilizarse para llegar a conclusiones filosóficas.

EL AZAR EN LA INTERPRETACIÓN DE LA BIOLOGÍA DE LA EVOLUCIÓN

La evidencia científica a favor de la continuidad histórica y el parentesco genético de las diversas especies biológicas es abrumadora, comparable a la seguridad que tenemos acerca de la validez de la teoría atómica [Ayala 1997, 2006]. Sin embargo, por razones que ya hemos ido adelantando, no se puede decir lo mismo de un elemento (el azar) que siempre se incluye en las descripciones de la biología de la evolución. El problema no es metodológico, ya que, como hemos señalado, el azar es una hipótesis de trabajo útil y esencial en muchos campos de la ciencia, en particular en la física cuántica y en la biología de la evolución que ahora nos ocupa. El problema surge cuando el papel del azar se considera suficientemente establecido como para llevarlo al terreno de los principios, en el dominio donde se debaten las ideas filosóficas.

En 1970, el biólogo francés Jacques Monod (1910-1976) publicó su obra *Le hasard et la nécessité (Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne)*, que ha tenido una gran influencia en el pensamiento biológico del último medio siglo. Monod contraponen azar y selección natural como los dos mecanismos motores de la evolución, el primero indeterminista y el segundo determinista. Identifica el azar con indeterminismo sin proyecto, pero nunca llega a definirlo de forma cuantitativa, salvo alguna referencia a su posible origen cuántico (lo cual tampoco despeja el problema matemático). La falta de una definición precisa no es óbice para que Monod invoque con frecuencia el azar como un concepto esencial. Lo presenta como la única fuente posible de las mutaciones genéticas y de toda novedad en la biosfera, para a continuación afirmar que el azar es la única hipótesis compatible con la experiencia. Como puede parecer que exagero, reproduzco a continuación un párrafo suficientemente autocontenido. Tras describir algunos tipos de mutaciones genéticas, afirma⁵³:

“Decimos que estas alteraciones son accidentales, que se producen al azar. Y ya que constituyen *la única* fuente posible de modificaciones del texto gé-

⁵³ Texto tomado de la edición castellana (Monod, 2007). Los énfasis en itálica son de Monod.

tico, *único* depositario, a su vez de las estructuras hereditarias del organismo, se deduce necesariamente que *solo* el azar está en el origen de toda novedad, de toda creación en la biosfera. El puro azar, solo el azar, la libertad absoluta pero ciega, en la raíz misma del prodigioso edificio de la evolución: esta noción central de la biología moderna no es ya una hipótesis, entre otras posibles o al menos concebibles. Es *la única* concebible, como única compatible con los hechos de observación y de experiencia. Y nada permite suponer (o esperar) que nuestras concepciones sobre este punto deberán o incluso podrán ser revisadas.”

Se puede entender que el profesor Monod no conociera los trabajos de Chaitin, cuyo trabajo sobre la fundamental indemostrabilidad del azar, aunque empieza en los años 60, aún no parece haber llegado a los biólogos, pero es más difícil de justificar que ignorara, en primer lugar, la vieja intuición (previa al trabajo de Chaitin) de que el azar es, si no imposible, al menos difícil de demostrar y, en segundo lugar, el criterio de falsación de Popper, sabiendo que es difícil idear un experimento u observación que arroje como resultado contundente la ausencia de azar (al menos Monod no proponía ninguno), es decir, que la hipótesis del azar no es refutable. Sobre esta cuestión nos extendemos a continuación.

DISEÑO Y AZAR QUEDAN FUERA DEL MÉTODO CIENTÍFICO

Relacionando los trabajos de Chaitin sobre el azar con el debate sobre la finalidad, el matemático austríaco Hans-Christian Reichl (1945-2002) hizo la siguiente observación [Reichl, 1997]⁵⁴:

“¿Es la evolución de la vida *aleatoria* o se basa en alguna *ley*? ... La única respuesta que las matemáticas pueden dar acaba de ser indicada: la hipótesis de la *aleatoriedad es indemostrable* en principio, y, a la inversa, la tesis *teleológica es irrefutable* en principio.”

Esta conclusión lógica puede verse como una fortaleza de las teorías de diseño, ya que no pueden ser rebatidas, pero también puede entenderse como una debilidad, ya que, según el criterio de Popper, una teoría que es irrefutable en principio, no puede ser científica.

Llegamos a la conclusión de que, debido a que (i) el azar no se puede verificar para una sucesión particular de eventos naturales (convenientemente matemati-

⁵⁴ La traducción al castellano es mía. Los énfasis son de Reichl.

zados), entonces, de forma equivalente, (ii) la finalidad no se puede refutar como ley general que pretende describir muchas de esas secuencias⁵⁵. A esta conclusión hemos llegado por razones muy fundamentales que tienen su raíz en los teoremas de Gödel, con independencia de que antes ya pudiera parecer intuitiva a muchos.

De forma análoga, podemos preguntarnos si es legítimo afirmar (iii) que el diseño no se puede verificar para una secuencia particular de eventos naturales, o su equivalente, (iv) que la hipótesis del azar no es refutable como ley universal aplicable a una amplia clase de secuencias. Para demostrar estas dos últimas afirmaciones equivalentes, no disponemos de una argumentación tan básica como la invocada para las afirmaciones (i) y (ii) del párrafo anterior. Pero cabe razonar de un modo más intuitivo. Para ello imaginamos una conversación entre dos científicos que son también filósofos de la naturaleza.

Supongamos que enfrentamos (amistosamente) a Alberto y Beatriz. Les mostramos dos largas secuencias de cifras que han sido generadas por un mecanismo cuya interpretación es polémica. Unos dicen que el mecanismo es aleatorio; otros piensan que alguien con un poco de paciencia las diseña a mano. A su vez, no se les informa sobre si esas secuencias han sido elegido aleatoriamente entre otras muchas generadas por el mismo mecanismo, o si han sido escogidas a propósito para complicar el debate. Alberto está convencido de que el mecanismo es aleatorio; Beatriz de que hay un diseñador. Ambos están poco dispuestos a ceder en sus posturas. De las dos secuencias, la primera tiene apariencia aleatoria, sin una pauta clara, mientras que la segunda muestra unos evidentes patrones repetitivos. Las dos secuencias describen fenómenos naturales completamente distintos. Es decir, los debates sobre el carácter aleatorio de cada una de las secuencias son independientes. Sin embargo, tiene en común que Alberto sostiene la aleatoriedad de ambas y Beatriz el diseño de ambas. Ambos defienden sus posturas de forma apasionada, aunque cada uno se esfuerza honestamente por ser racional y objetivo.

Empieza el debate. Ambos desconocen los trabajos de Chaitin sobre Gödel y Turing. Discuten sobre la primera secuencia. Alberto dice que obviamente es

⁵⁵ En este contexto, una secuencia sería un conjunto ordenado de números que caracterizan las propiedades y el calendario de las mutaciones genéticas que conducen de una especie biológica a otra, suponiendo que algún día pudiéramos disponer de esa información con suficiente precisión.

aleatoria, pues no presenta un patrón claro. Beatriz defiende, por el contrario, que la primera secuencia está diseñada, aunque no de forma evidente. Según ella, el diseñador ha procurado dar una apariencia de azar, tratando de evitar cualquier patrón repetitivo o correlación en general. No llegan a un acuerdo.

Si conocieran los trabajos de Chaitin, el debate no cambiaría de forma decisiva. Alberto seguiría diciendo que la primera secuencia es aleatoria, aunque reconocería que no lo puede demostrar. Beatriz insistiría en la habilidad disimuladora del diseñador y recordaría complacida la esencial imposibilidad de demostrar el carácter aleatorio de la secuencia. Tampoco llegarían a un acuerdo sobre el origen de la secuencia.

Ahora pasan a discutir sobre la segunda secuencia. Beatriz dice que obviamente ha sido diseñada, pues muestra unos patrones claros fáciles de programar. Alberto defiende el carácter aleatorio de la secuencia y argumenta, que entre muchas sucesiones aleatorias, existe siempre una probabilidad no nula de que alguna muestre algunos patrones repetitivos. Además, en virtud del significado físico y biológico que atribuyen a esa segunda secuencia de números, Alberto afirma que esos patrones de apariencia no aleatoria son necesarios para la existencia de ambos debatientes; si la secuencia no hubiera mostrado esas pautas regulares, ellos dos no habrían llegado a existir y no estarían allí para debatirlo. Por lo tanto, no hay que sorprenderse de que la secuencia muestre ciertas regularidades, pues son condición necesaria para la existencia de los debatientes. Es más, añade, es posible que existan otros muchos mundos, pasados o futuros, en los que el equivalente a esa segunda secuencia sea verdaderamente aleatoria, pero esos mundos no pueden alumbrar seres racionales que se reúnan para debatir sobre su diseño. Tampoco se ponen de acuerdo.

En ningún caso llegan a un acuerdo y no parece que haya un experimento u observación que pueda resolver sus discrepancias. El debate presentado es obviamente una caricatura de una discusión real. Sin embargo, es fácil encontrar en él pautas de razonamiento que se oyen con frecuencia en debates actuales sobre la presencia o ausencia de diseño en procesos naturales, ya sean biológicos o cosmológicos. Cuando hay una fuerte motivación filosófica para mantener una interpretación, siempre hay un argumento para defenderla ante cualquier evidencia experimental. Pero es natural que esto sea así porque, en el debate sobre finalidad, no puede haber un experimento u observación decisivos.

Nos vemos abocados a la conclusión de que los debates sobre presencia o ausencia de finalidad quedan fuera del alcance del método científico⁵⁶. En cualquier escenario empírico, incluso suponiendo que ambos contendientes se han puesto de acuerdo sobre lo que la evidencia experimental parece sugerir a primera vista, el contrincante en desventaja siempre tendrá un argumento para negar la interpretación que parece ganadora. En algunos casos, se pueden invocar razones fundamentales que entroncan ni más ni menos que con los teoremas de Gödel. En otros, se pueden utilizar argumentos *ad hoc* de carácter intuitivo pero en último término también irrefutables, al menos en la práctica.

Parece más constructivo que, en su quehacer científico, los dos investigadores de la tertulia se concentren en escoger en cada contexto la hipótesis de trabajo que más estimule el progreso del conocimiento, dejando para el ámbito de la interpretación filosófica las consideraciones sobre finalidad, que pueden debatirse con las herramientas de la razón pero no con las del método científico.

Quiero agradecer a Gregory Chaitin, Javier Leach, Anthony Leggett, Miguel Ángel Martín-Delgado, Javier Sánchez Cañizares, Ignacio Sols, Ivar Zapata y Wojciech Zurek, las interesantes conversaciones que he tenido con ellos sobre las diversas cuestiones aquí tratadas. A título póstumo, también quisiera agradecer conversaciones con John Eccles y Rolf Landauer. Este agradecimiento no implica acuerdo ni desacuerdo, por parte de las personas mencionadas, con las tesis presentadas en este capítulo. Todos los posibles errores e imprecisiones son responsabilidad mía.

REFERENCIAS

Ayala, F. J. (1997). Teoría de la evolución. Barcelona: Planeta.

⁵⁶ Es curioso notar que en otros contextos la existencia de diseño no es polémica. Por ejemplo, nadie duda de la existencia de diseño en un avión y, sin embargo, en sentido estricto, no es más demostrable o menos refutable que el diseño en la evolución biológica. En particular, no cabe diseñar un experimento que arroje como resultado que el avión ha sido diseñado. La diferencia es que en la vida ordinaria tenemos experiencia directa del diseño. Sabemos que hay ingenieros que diseñan y, sin necesidad de mucha formación, cualquier persona puede decidir la distribución de objetos en su habitación. Pero no hay la misma evidencia sobre un diseñador externo que haya podido facilitar el progreso de algunas especies. Por eso la cuestión del diseño en la evolución biológica siempre será más controvertida.

- Ayala, F. J. (2006). Darwin y el diseño inteligente. Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Chaitin, G. (1975). Randomness and Mathematical Proof. *Sci. Am.* 232, pp. 47-52.
- Chaitin, G. (1988). Randomness in Arithmetic. *Sci. Am.* 259, pp. 80-85.
- Chaitin, G. (1997). Number and randomness: algorithmic information theory - new results on the foundations of mathematics. En: Driessen, A., y Suarez, A. eds. *Mathematical Undecidability, Quantum Nonlocality and the Question of the Existence of God*. Dordrecht (the Netherlands): Kluwer Academic Publishers, p. 15.
- Chaitin, G. (2005). *Meta Math! The Quest for Omega*. New York: Vintage Books.
- Chaitin, G. (2006). The limits of reason. *Sci. Am.*, March 2006, pp.74-81.
- Dembski, W. A. (2006). *Diseño Inteligente*. Madrid: Homo Legens.
- Eagle, A. (2005). Randomness is unpredictability. *British Journal for the Philosophy of Science*, 56 (4), pp.749–790.
- Eccles, J. C. (1992). Evolution of consciousness. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89, pp. 7320-7324; Beck F., Eccles J. C. (1992). Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89, pp. 11357-11361.
- Fernández-Prida, José (2009). *Lógica matemática*. Madrid: Marova.
- Koch, K., Hepp, K. (2006). Quantum mechanics in the brain. *Nature* 440, pp. 611-612.
- Landauer, R. (1991). Information is Physical. *Physics Today*, May 1991, p. 23.
- Leach, J. (2011). *Matemáticas y Religión*. Santander: Sal Terrae.
- Monod, J. (2007). *El azar y la necesidad*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Popper, K. (1985). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Popper, K. (1986). *El universo abierto*. Madrid: Tecnos.
- Reichl, H. C. (1997). How can or should the recent developments in mathematics influence the philosophy of mathematics? En: Driessen, A.,

y Suarez, A. eds. *Mathematical Undecidability, Quantum Nonlocality and the Question of the Existence of God*. Dordrecht (the Netherlands): Kluwer Academic Publishers, p. 3.

Smith, K. (2011). Taking aim at free will. *Nature* 477, pp. 23-25.

Wheeler, J. A. (1983). Law without Law. En: Wheeler, J. A., y Zurek, W. H. eds. *Quantum Theory and Measurement*, eds. J. A. Wheeler and W. H. Zurek, Princeton University Press, Princeton (1983) p. 182.

Zurek, W. H. (1998). Decoherence, Chaos, Quantum-Classical Correspondence, and the Algorithmic Arrow of Time. *Physica Scripta* T76, pp. 186-198.

EVOLUCIÓN, CREACIÓN Y DISEÑO INTELIGENTE

Francisco J. Ayala

Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California, Irvine, EE.UU.

Breve CV

Francisco J. Ayala es profesor de Ciencias Biológicas en la Universidad de California, Irvine. Nacido en Madrid, ha vivido en Estados Unidos desde 1961. Es autor de más de 1.000 artículos y más de 37 libros. Es ciudadano de España y de Estados Unidos. Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos, la Academia Americana de Artes y Ciencias, la Sociedad Filosófica Americana y la Academia de Ciencias de California. Ha recibido en 2001 la Medalla Nacional de Ciencia de los Estados Unidos y en 2010 el Premio Templeton, por descubrimientos científicos que han contribuido de manera extraordinaria al progreso y bienestar de la humanidad. El *New York Times* le ha llamado “el hombre renacentista de la evolución.”

Abstract

In *The Origin of Species*, Darwin advanced a scientific explanation of the design of organisms. The adaptations of organisms are outcomes not of chance, but of a process that, over time, causes the gradual accumulation of features beneficial to organisms, whenever these features increase the organisms' chances of surviving and reproducing. There is “design” in the living world: eyes are designed for seeing, wings for flying, and kidneys for regulating the composition of the blood. The design of organisms comes about not by intelligent design, but by a natural process, which is creative through the interaction of chance and necessity. Organisms are pervaded by imperfections, dysfunctions, cruelties, and even sadism. The theory of evolution accounts for these mishaps by

natural selection, as the outcomes of natural processes, so that they need not be attributed to God's explicit design.

Palabras clave

Evolución, diseño inteligente, selección natural.

EL ARGUMENTO DEL DISEÑO

El cristianismo, el judaísmo, el Islam, y otras religiones monoteístas explican el origen del universo, la Tierra, los humanos, y todos los seres vivos como la obra de un Dios omnipotente y omnisciente. En los primeros siglos de la era cristiana, los Padres de la Iglesia argumentaron que el diseño del universo es una prueba de la existencia de Dios. En la *Suma Teológica*, Santo Tomás de Aquino (1224-1274) formula cinco argumentos o vías de demostrar la existencia de Dios. La “quinta vía” es un argumento a partir del diseño que se basa en la organización y armonía del universo, que manifiestan que “existe un ser inteligente por el cual todas las cosas naturales son dirigidas a su fin; y a este ser llamamos Dios.” El argumento de Santo Tomás sería repetido, con ligeras variantes, a lo largo de la Edad Media y en tiempos modernos y ha sido incorporado durante siglos en libros de texto de Teología.

La formulación más elaborada y contundente del argumento a partir del diseño, antes del siglo XVIII, fue *The Wisdom of God Manifested in the Works of Creation* [*La sabiduría de Dios manifiesta en las obras de la Creación*] (1691) de John Ray (1627-1705), un clérigo y naturalista inglés. Ray consideraba una incontrovertible prueba de la Sabiduría de Dios que todos los componentes del universo –las estrellas y los planetas, así como todos los organismos– estén tan sabiamente ideados desde el principio y sean perfectos en su funcionamiento. El “argumento más convincente de la Existencia de una Divinidad,” escribe Ray, “es el Arte y la Sabiduría admirables que se manifiestan en la Forma, el Orden y la Disposición, los Fines y usos de todas las partes y los miembros de este majestuoso tejido que constituyen el Cielo y la Tierra”.

En el continente, Voltaire (1694-1778), al igual que otros filósofos de la Ilustración, aceptó el argumento a partir del diseño. Voltaire afirmaba que, del mismo modo que la existencia de un reloj demuestra la existencia de un relojero,

el diseño y propósito evidentes en la naturaleza demuestran que el universo fue creado por una Inteligencia Suprema.

De todos los argumentos basados en el diseño, el más extenso, mejor argüido y maravillosamente escrito, fue redactado por el clérigo inglés William Paley (1743-1805). Con su *Natural Theology* (1802), Paley pretendía actualizar la *Wisdom of God Manifested in the Works of the Creation* de John Ray, aprovechando un siglo de conocimiento científico adicional. La declaración clave de Paley es que “No puede haber diseño sin diseñador; invención sin inventor; orden, sin elección; [...] medios apropiados para un fin, y que ejecutan su función en el cumplimiento de ese fin, sin que el fin haya sido jamás contemplado”. *Natural Theology* es un argumento sostenido que infiere la existencia de Dios a partir del obvio diseño de los seres humanos y sus órganos, así como el diseño de toda clase de organismos, en sí mismos, y en sus relaciones entre ellos y con su entorno.

El argumento tiene dos partes: primero, que los organismos dan prueba de ser diseñados; segundo, que solo un Dios Omnipotente podría dar explicación de la perfección, multitud y diversidad de los diseños. Hay capítulos dedicados al complejo diseño del ojo humano; al esqueleto humano, que exhibe un preciso orden mecánico de huesos, cartílagos, y articulaciones; a la circulación de la sangre y la disposición de los vasos sanguíneos; a la anatomía comparada de humanos y animales; al tracto digestivo, riñones, uretras y vejigas; a las alas de las aves y las aletas del pez; y mucho más. Tras detallar la exacta organización y la exquisita funcionalidad de cada entidad, relación o proceso biológico, Paley extrae una y otra vez la misma conclusión: que solo una Divinidad Omnisciente y Omnipotente podría explicar estas maravillas de perfección mecánica, sentido y funcionalidad, y la enorme diversidad de invenciones que acarrear.

Paley resume su argumento estableciendo la compleja anatomía funcional del ojo: el ojo se compone, “primero, de una serie de lentes transparentes. Muy diferentes, por cierto, incluso en su sustancia, de los materiales opacos de los que se compone el resto del cuerpo, al menos en general.” En segundo lugar, el ojo tiene la retina, que según señala Paley es la única membrana del cuerpo que es negra, extendida detrás de la lente, para recibir la imagen formada por los haces de luz que se transmiten a través de ella, y “situada a la precisa distancia geométrica en la cual, y solo en la cual, podría formarse una imagen clara, a saber, en la confluencia de los rayos refractados.” En tercer lugar, escribe, el ojo posee

“un gran nervio que comunica entre esta membrana [la retina] y el cerebro; sin el cual, la acción de la luz sobre la membrana, aun modificada por el órgano, se perdería a los propósitos de la sensación”.

¿Podría haberse producido el ojo sin un diseño a propósito preconcebido, como resultado del azar? Los productos del azar no muestran relación entre las partes o, como podríamos decir, no muestran una complejidad organizada. Paley escribe que “un lobanillo, una verruga, un lunar, un grano,” podrían salir por azar, pero nunca un ojo; “un terrón, un guijarro, una gota de líquido podría ser,” pero nunca un reloj o un telescopio.

CHARLES DARWIN

Charles Robert Darwin (1809-1882) nació el 12 de febrero de 1809 en Shrewsbury, Inglaterra. Darwin fue hijo y nieto de médicos. Se matriculó como estudiante de Medicina en la Universidad de Edimburgo. Después de dos años abandonó Edimburgo y se trasladó a la Universidad de Cambridge para proseguir sus estudios y prepararse para ser clérigo. No fue un estudiante excepcional, pero estaba profundamente interesado en la Historia Natural. El 27 de diciembre de 1831, unos meses después de su graduación en la Universidad de Cambridge, Darwin zarpó, como naturalista, a bordo del navío de la marina británica *HMS Beagle* en un viaje alrededor del mundo que duró hasta octubre de 1836. Con frecuencia desembarcaba en las costas para realizar viajes prolongados al interior con el objeto de recoger especímenes de plantas y animales. El descubrimiento de huesos fósiles pertenecientes a grandes mamíferos extinguidos en Argentina y la observación de numerosas especies de pájaros pinzones en las islas Galápagos estuvieron entre los acontecimientos que se considera estimularon el interés de Darwin en cómo se originan las especies.

Las observaciones que efectuó en las islas Galápagos quizá hayan sido las que tuvieron más influencia sobre el pensamiento de Darwin. Las islas, en el ecuador a 900 kilómetros de la costa oeste de Sudamérica, habían sido llamadas Galápagos por los descubridores españoles debido a la abundancia de tortugas gigantes, distintas en diversas islas y diferentes de las conocidas en cualquier otro lugar del mundo. Las tortugas se movían perezosamente con un ruido metálico, alimentándose de la vegetación y buscando las escasas charcas de agua fresca existentes. Habrían sido vulnerables a los depredadores, pero estos brillaban por su ausencia en las islas. En las Galápagos, Darwin encontró grandes lagartos, que

a diferencia de otros ejemplares de su especie se alimentaban de algas y sinsontes, bastante diferentes de los hallados en el continente sudamericano. Los pinzones variaban de una isla a otra en diversas características, notablemente sus picos distintivos, adaptados para hábitos alimentarios dispares: cascar nueces, sondear en busca de insectos, atrapar gusanos.

Darwin es justamente reconocido como el autor original de la teoría de la evolución. En *El origen de las especies*, publicado en 1859, acumuló pruebas que demostraban la evolución de los organismos. Pero Darwin logró algo mucho más importante para la historia intelectual que demostrar la evolución. De hecho, acumular pruebas de la descendencia común con diversificación fue un objetivo subsidiario de la obra maestra de Darwin. *El origen de las especies* es, primero y ante todo, un esfuerzo sostenido por resolver el problema de explicar de manera científica el diseño de los organismos. Darwin trata de explicar las adaptaciones de los organismos, su complejidad, diversidad y maravillosos ingenios como resultado de procesos naturales. La evidencia de la evolución surge porque la evolución es una consecuencia necesaria de la teoría del diseño de Darwin.

Darwin aceptaba que los organismos están “diseñados” para ciertos cometidos, es decir, están organizados desde un punto de vista funcional. Los organismos están adaptados a ciertas formas de vida y sus partes están adaptadas para realizar ciertas funciones. Los peces están adaptados para vivir en el agua, los riñones están diseñados para regular la composición de la sangre, la mano humana está hecha para manejar objetos. Pero Darwin pasó a proporcionar una explicación natural del diseño. Los aspectos aparentemente diseñados de los seres vivos ahora se podían explicar, al igual que los fenómenos del mundo inanimado, por medio de los métodos de la ciencia, como el resultado de leyes naturales manifestadas en los procesos naturales. Darwin consideraba el descubrimiento de la selección natural (y no su demostración de la evolución) como su principal descubrimiento y lo designó como “mi teoría,” una designación que nunca usaba cuando se refería a la evolución de los organismos.

Darwin sostiene que variaciones adaptativas (“variaciones útiles en algún sentido a cada ser”) aparecen ocasionalmente y que éstas probablemente incrementarán las posibilidades reproductivas de sus portadores. Las variaciones favorables serán preservadas a través de las generaciones mientras que las perjudiciales serán eliminadas. Darwin añade: “No alcanzo a ver un límite para este poder [la selección natural] que *adapta* lenta y hermosamente cada forma a

las más complejas relaciones de la vida”. La selección natural fue propuesta por Darwin para explicar la organización adaptativa, o “diseño”, de los seres vivos; es un proceso que promueve o mantiene la adaptación. El cambio evolutivo a lo largo del tiempo y la diversificación evolutiva (multiplicación de las especies) no están promovidos directamente por la selección natural (y así se da la llamada “estasis evolutiva”, los numerosos ejemplos de organismos con una morfología que ha cambiado poco, si es que ha cambiado, durante millones de años). Pero el cambio y la diversificación a menudo surgen como subproductos de la selección natural impulsando la adaptación.

Además de *El origen de las especies*, su libro mejor conocido, Darwin publicó numerosos libros, en especial *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex* (1871), que extiende la teoría de la selección natural a la evolución humana.

DE COPÉRNICO A DARWIN

Existe una versión de la historia de las ideas que establece un paralelismo entre la revolución copernicana y la darwiniana. La revolución copernicana, se dice, consistió en desplazar a la Tierra de su lugar anteriormente aceptado como centro del universo, situándola en un lugar subordinado como un planeta más que gira alrededor del Sol. De manera congruente, se considera que la revolución darwiniana consistió en el desplazamiento de la especie humana de su eminente posición como centro de la vida sobre la Tierra, con todas las demás especies creadas al servicio de la humanidad y convirtiéndola en una especie más, entre miles y miles de ellas. Según esta versión de la historia intelectual, Copérnico había llevado a cabo su revolución con la teoría heliocéntrica del sistema solar. La contribución de Darwin se debe a su teoría de la evolución orgánica.

Esta versión de las dos revoluciones es inadecuada: lo que dice es cierto, pero pasa por alto lo que es más importante respecto a estas dos revoluciones intelectuales; es decir, que representan el comienzo de la ciencia en el sentido moderno de la palabra. Estas dos revoluciones deben verse conjuntamente como una única revolución científica, con dos etapas, la copernicana y la darwiniana.

La llamada “Revolución Copernicana” dio comienzo propiamente con la publicación en 1543, el año de la muerte de Nicolás Copérnico, de su *De revolutionibus orbium caelestium* (“Sobre las revoluciones de las esferas celestiales”), y culminó con la publicación en 1687 de la *Philosophiae naturalis principia mathematica* (“Los principios matemáticos de filosofía natural”) de Isaac Newton. Los

descubrimientos de Copérnico, Kepler, Galileo, Newton, y otros, en los siglos XVI y XVII, habían avanzado gradualmente una concepción del universo como materia en movimiento gobernada por leyes naturales. Se demostró que la Tierra no es el centro del universo, sino un pequeño planeta que gira alrededor de una estrella típica; que el universo es inmenso en espacio y en tiempo; y que las revoluciones de las planetas en torno al Sol se pueden explicar por las mismas leyes sencillas que explican el movimiento de los objetos físicos en nuestro planeta. Leyes como $f = m \times a$, fuerza = masa x aceleración; o la ley de atracción, $f = g (m_1 \cdot m_2) / r^2$, la fuerza de atracción entre dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas, pero inversamente relacionada al cuadrado de la distancia que los separa.

Estos y otros descubrimientos expandieron enormemente el conocimiento humano. La revolución conceptual que trajeron consigo fue aún más fundamental: un compromiso con el postulado de que el universo obedece leyes inmanentes que explican los fenómenos naturales. Los fenómenos del universo fueron llevados al dominio de la ciencia: explicación a través de leyes naturales. Los fenómenos físicos podrían ser explicados investigando adecuadamente sus causas.

Los avances de la ciencia física llevados a cabo por la revolución copernicana habían llevado la concepción que la humanidad tiene del universo a un estado esquizofrénico, que persistió hasta bien mediado el siglo XIX. Las explicaciones científicas, derivadas de las leyes naturales, dominaban el mundo de la materia inanimada, así en la Tierra como en el cielo. Las explicaciones sobrenaturales, dependientes de las insondables acciones del Creador, explicaban el origen y la configuración de las criaturas vivas: las realidades más diversificadas, complejas e interesantes del mundo. Así, por ejemplo, como he citado anteriormente, el clérigo inglés William Paley (1743-1805) en su *Natural Theology* (“Teología natural”) de 1802 argüía que “No puede haber diseño sin diseñador; invención sin inventor; orden, sin elección; [...] medios apropiados para un fin, y que ejecutan su función en el cumplimiento de ese fin, sin que el fin haya sido jamás contemplado”.

Con *El origen de las especies*, Darwin resolvió esta esquizofrenia conceptual. Darwin completó la revolución copernicana al extender a la biología la noción de la naturaleza como un sistema de materia en movimiento que la razón humana puede explicar sin recurrir a agentes extranaturales. El enigma enfrentado por

Darwin difícilmente podría sobrestimarse. El argumento a partir del diseño para demostrar el papel del Creador había sido formulado por Paley con fuerza contundente. Allí donde hay función o diseño, buscamos a su autor. El mayor logro de Darwin fue demostrar que la compleja organización y funcionalidad de los seres vivos se puede explicar como resultado de un proceso natural, la selección natural, sin ninguna necesidad de recurrir a un Creador u otro agente externo. El origen y la adaptación de los organismos en su profusión y su maravillosa diversidad fueron así incluidos en el dominio de la ciencia.

AZAR Y NECESIDAD

Algunos críticos han alegado, como argumento en contra de la teoría de la evolución de Darwin, ejemplos que muestran que los procesos al azar no pueden dar lugar a resultados organizados, con sentido. Así se señala que un grupo de monos mecanografiando al azar jamás escribirían *El origen de las especies*, ni siquiera si dejamos que muchas generaciones de monos, durante millones de años, se sienten ante unas máquinas de escribir.

La crítica sería válida si la evolución dependiese únicamente de procesos al azar. Pero la selección natural no es un proceso al azar sino que promueve la adaptación seleccionando combinaciones que “tienen sentido”, o sea, combinaciones que son útiles para los organismos. La analogía de los monos sería más apropiada si existiese un proceso por el cual, primero las palabras con sentido se eligieran cada vez que apareciesen en la máquina de escribir; y después también tuviésemos máquinas de escribir con teclas con las palabras previamente seleccionadas en lugar de simples letras y que, de nuevo, hubiese un proceso de selección de las frases con sentido cada vez que apareciesen en este segundo tipo de máquina de escribir. Si cada vez que palabras como “el”, “origen”, “especies”, y así sucesivamente, apareciesen en el primer tipo de máquina, se convirtiesen en teclas del segundo tipo de máquina, ocasionalmente estas producirían algunas frases con sentido. Si tales frases se incorporasen a las teclas de un tercer tipo de máquina, en la que se seleccionara un párrafo con sentido cada vez que apareciese, está claro que al final se podrían producir páginas e, incluso, capítulos “con sentido”.

No es necesario llevar la analogía tan lejos, puesto que esta no es totalmente satisfactoria, pero la cuestión está clara. La evolución no es el resultado de procesos puramente al azar, sino más bien es un proceso “selectivo”, que escoge las

combinaciones adaptativas porque estas se reproducen más efectivamente y, por tanto, acaban por establecerse en las poblaciones. Estas combinaciones adaptativas constituyen, a su vez, nuevos niveles de organización sobre los que actúa de nuevo la mutación (al azar) y la selección (direccional y no al azar).

La selección natural no tiene previsión, ni opera de acuerdo con ningún plan preconcebido. Más bien es un proceso puramente natural que resulta de las propiedades de las entidades fisicoquímicas y biológicas que interaccionan. La selección natural es simplemente una consecuencia de la multiplicación diferencial de los seres vivos. De alguna manera puede parecer que tiene un propósito porque está condicionada por el ambiente: qué organismos se pueden reproducir de manera más efectiva depende de qué variaciones posean que sean útiles en el ambiente en el que viven. Pero la selección natural no anticipa los ambientes del futuro; los cambios ambientales drásticos pueden ser insuperables para los organismos que antes tenían éxito.

El azar es una parte integral del proceso evolutivo. Las mutaciones que dan lugar a variaciones hereditarias disponibles para la selección natural se originan al azar, independientemente de si son beneficiosas o perjudiciales para sus portadores. Pero este proceso al azar (así como otros que participan en el gran drama de la vida) está contrarrestado por la selección natural, que preserva aquello que es útil y elimina lo perjudicial. Sin mutación, la evolución no ocurriría porque no habría variaciones que pudiesen ser transmitidas de manera diferencial de una generación a otra. Pero sin selección natural, el proceso de mutación daría lugar a la desorganización y la extinción porque la mayoría de las mutaciones son desventajosas. La mutación y la selección han impulsado conjuntamente el maravilloso proceso que, iniciado en los organismos microscópicos, ha generado orquídeas, aves y humanos.

La teoría de la evolución muestra al azar y la necesidad entrelazados en el meollo de la vida; azar y determinismo están entrelazados en un proceso natural que ha dado lugar a las entidades más complejas, diversas y bellas del universo: los organismos que pueblan la Tierra, incluyendo los humanos que piensan y aman, están dotados de libre albedrío y poderes creativos, y son capaces de analizar el mismo proceso evolutivo que les ha otorgado la existencia. Este es el descubrimiento fundamental de Darwin: que hay un proceso que es creativo aunque no sea consciente. Y esta es la revolución conceptual que Darwin completó: que todo en la naturaleza, incluyendo el origen de los orga-

nismos vivos, puede explicarse como el resultado de procesos naturales gobernados por leyes naturales. Se trata de una visión fundamental que ha cambiado para siempre la forma en que los humanos nos percibimos a nosotros mismos y nuestro lugar en el universo.

DISEÑO INTELIGENTE REDIVIVO

El argumento de Paley sobre el diseño inteligente fue rescatado en los 1990s por varios autores en Estados Unidos y se está extendiendo a través del mundo. Entre los proponentes más destacados se encuentran Michael Behe (1996), William Dembski (1995) y Phillip Johnson (2000). Siguiendo a Paley, propone este movimiento que los organismos son muy complejos y eso muestra que han sido “diseñados”, de la misma manera que la complejidad de un reloj muestra haber sido diseñado por un relojero. Dicen sus proponentes que el azar no puede dar una explicación satisfactoria del ojo, claramente diseñado para ver, o de las alas, obviamente diseñadas para volar, o de las agallas, específicamente diseñadas para respirar en el agua. Solo el gran “Diseñador Inteligente” (implícitamente, Dios) puede dar cuenta de la organización funcional de los seres vivos.

Según Behe (1996), las “complejidades irreducibles” en los organismos no pueden ser explicadas por la selección natural. Behe considera complejidad irreducible el caso de toda “entidad material compuesta de varias partes organizadas que interactúan bien encajadas entre sí, contribuyendo eficazmente con su interacción a la realización de la función básica que se espera del conjunto, y donde la eliminación de una de esas partes hace que el sistema deje de funcionar”. Según Behe, los sistemas reales de complejidad irreducible no pueden ser el resultado de la evolución.

Behe añade: “Un sistema de complejidad irreducible es imposible que surja directamente... mediante ligeras modificaciones sucesivas de un sistema precursor, porque cualquier precursor de un sistema de ese tipo es por definición no funcional si le falta algún componente. (...) Dado que la selección natural solo puede actuar en sistemas que ya están dispuestos para funcionar y ya funcionan, cualquier sistema biológico que no se pueda generar gradualmente, con el paso del tiempo, ha de surgir de repente como unidad integrada con propiedades emergentes y en este terreno la selección natural no tiene nada que hacer.”

En otras palabras, según Behe, a menos que todas las partes componentes del globo ocular aparezcan simultáneamente, el ojo no puede funcionar como órgano de visión. Cualquier ser vivo precursor no obtendría ningún beneficio de tener únicamente una retina y/o un cristalino, si le faltan las demás partes.

Pero los proponentes de la teoría de la evolución han destacado una y otra vez, con evidencia fundada, que los órganos y otros componentes de los seres vivos carecen de complejidad irreducible, es decir, jamás aparecen repentinamente con esa perfección que tanto admiramos. Los científicos evolucionistas han demostrado que los órganos y sistemas considerados como muestras palpables de complejidad irreducible por los teóricos del Diseño Inteligente, como el ojo o el flagelo bacteriano, son conjuntos complejos, pero nunca irreducibles. La prueba es la presencia de versiones menos complejas de los mismos sistemas, que se encuentran sin dificultad al entrar en la base de la pirámide de los seres vivos actuales.

El ojo humano no apareció repentinamente en toda su complejidad actual. Su formación requirió la integración de muchas unidades genéticas, donde cada una mejoró la eficacia funcional del tipo de ojos preexistentes, menos perfectos. Hace unos 700 millones de años, los ancestros de los vertebrados de hoy ya tenían órganos sensibles a la luz. La mera percepción de la luz y, más tarde, los diferentes niveles de visión fueron beneficiosos para esos organismos, que vivían en entornos iluminados por la luz del Sol. Hay diferentes tipos de ojos que han evolucionado independientemente al menos cuarenta veces en los animales, y que ahora exhiben una gama completa de complejidades y modelos (Dawkins, 1996).

La luz solar es una característica pervasiva de la Tierra; por lo tanto, a nadie debe sorprenderle la presencia de órganos que han evolucionado para aprovecharse de esa circunstancia externa y obtener ventaja de ella. Algunos animales multicelulares muestran en su piel unos sencillos puntos sensibles a la luz, como las lapas. Avances como la deposición de pigmento alrededor de esas pequeñas zonas fotosensibles, la configuración de células en forma de copa, el engrosamiento de la epidermis que conduce a la formación de una lente como el cristalino, la generación de músculos para mover los ojos y de nervios para transmitir señales ópticas al cerebro, condujeron gradualmente a la aparición de los ojos compuestos de los insectos y de los ojos altamente desarrollados de los vertebrados y los cefalópodos (pulpos y calamares).

El flagelo bacteriano, la coagulación de la sangre y otras improbabilidades

Los ejemplos de cambios funcionales son muchos y diversos. Al principio algunas transiciones pueden parecer improbables debido a la dificultad en identificar qué posibles funciones habrían cumplido las formas transicionales durante las etapas intermedias. Estos casos eventualmente se resuelven con más investigación y el descubrimiento de formas fósiles intermedias o de organismos vivos con etapas de desarrollo intermedias, como en el caso de los ojos de los moluscos. Ahora consideraré brevemente algunos ejemplos que plantean los líderes del DI.

Un ejemplo predilecto de la supuesta complejidad irreducible es el flagelo bacteriano. Según Behe, el flagelo bacteriano es irreduciblemente complejo porque se compone de varias partes de modo que, si faltase alguna de ellas, el flagelo no funcionaría. Por tanto, dice Behe, no podría haber evolucionado de forma gradual, por partes, porque la función pertenece al conjunto, las partes separadas no pueden funcionar por sí mismas. “Como el flagelo bacteriano se compone necesariamente de al menos tres partes –una aleta, un rotor, un motor– es irreduciblemente complejo”.

El flagelo se encuentra en la membrana celular de las bacterias. El elemento natatorio externo que funciona como una aleta o propulsor, es un filamento compuesto de una sola clase de proteína, llamada “flagelina”. En la membrana de la célula, el filamento está unido a un “rotor”, constituido por una llamada “proteína gancho”. El motor que hace rotar al filamento está localizado en la base del flagelo y se compone de dos elementos: un rotor (la parte que rota) y un estator (el componente estacionario).

El argumento de que los diversos componentes del flagelo debieron de salir “de golpe,” porque las partes no pueden funcionar por separado y por tanto no pudieron haber evolucionado de forma independiente, es evocador del argumento de Paley (y del de Behe) sobre el ojo. ¿De qué posible uso serían el iris, la córnea, la lente, la retina, y el nervio óptico, el uno sin los otros? Sin embargo, sabemos que los elementos componentes del ojo del pulpo pueden evolucionar de modo gradual, acumulativamente, y que los ojos simples, tal como existen en una lapa, en ciertos moluscos con concha, y en los caracoles marinos son funcionales.

“El” flagelo bacteriano no existe. En diversas especies de bacterias, hay diversas clases de flagelos, algunos más sencillos que los descritos por Behe, otros

simplemente distintos, incluso muy distintos, como en las arqueas, un grupo muy grande de organismos parecidos a las bacterias. Además, la motilidad en muchas bacterias se realiza sin flagelo alguno. Aún más, los bioquímicos han demostrado que los componentes del flagelo han evolucionado a partir de sistemas secretorios, los cuales son muy similares al flagelo pero carecen de algunos componentes de éste. Un componente importante del flagelo descrito por Behe posee esencialmente la misma estructura que los sistemas secretorios tipo-III (TTSS), aunque carecen de las proteínas motoras.

Existen muchas clases de bacterias causantes de enfermedades (aunque no todas las bacterias, o incluso una mayoría, son agentes de enfermedades). Una forma en la cual las bacterias causan enfermedades es por medio de inyección de toxinas (venenos) en el interior de las células del organismo anfitrión, que llevan a cabo por medio de sistemas especiales secretorios de proteínas, uno de los cuales es el TTSS. Resulta que las proteínas TTSS y las partes del flagelo bacteriano son homólogas: es decir, son muy parecidas y poseen un origen evolutivo común. El flagelo bacteriano no es irreduciblemente complejo: un subconjunto del complemento de proteínas del flagelo evolucionó como un mecanismo para que las bacterias inyectasen proteínas a través de la membrana de una célula. El argumento a favor de la complejidad irreducible del flagelo se formula, como otros argumentos del DI, como un “argumento desde la ignorancia”. Como un autor (Behe, en este caso) no sabe cómo se ha producido un órgano complejo, debe ser que es irreduciblemente complejo. Este argumento desde la ignorancia se disuelve a medida que avanza el conocimiento científico, o cuando el conocimiento científico preexistente es tenido en cuenta.

Este no es el lugar apropiado para entrar en exhaustivos detalles técnicos sobre cómo los flagelos bacterianos podrían haber evolucionado de modo gradual, a partir de estructuras en un principio desarrolladas para diferentes funciones, como la secreción, ni el lugar para citar los artículos científicos en donde se dan los detalles técnicos. Discusiones generales se pueden hallar en los escritos, por ejemplo, de Ian Musgrave (2004), David Ussery (2004), y Kenneth Miller (2004), quienes citan la literatura científica original. Miller señala que: “No obstante, las más potentes refutaciones de la historia del flagelo no provienen de intentos directos de responder a los críticos de la evolución. En realidad han surgido a raíz del constante progreso del trabajo científico sobre los genes y las proteínas asociados con el flagelo y otras estructuras celulares. Dichos estudios

han establecido que la premisa en que se basa el argumento contra la evolución es errónea: el flagelo bacteriano no es irreduciblemente complejo”.

Una persona herida sangra durante un breve tiempo hasta que se forma un coágulo, el cual no tarda en endurecerse, haciendo que el sangrado cese. La coagulación de la sangre es un proceso tan complejo, y en apariencia tan innecesariamente complejo, que Behe la ha comparado a una máquina diseñada por Rube Goldberg, el gran caricaturista que diseñaba máquinas muy complicadas cuyo objeto era realizar tareas que podían ser efectuadas de manera mucho más sencilla. El mecanismo de la coagulación es uno de los ejemplos que Behe aporta sobre procesos bioquímicos diseñados de forma inteligente. Según Behe (1996, p. 97): “*Nadie en la Tierra tiene la más remota idea de cómo llegó a producirse la coagulación del torrente sanguíneo*” (la cursiva es suya). Esta es una afirmación singular. Al parecer, Behe no conoce publicaciones como *La evolución de la coagulación de la sangre en los vertebrados* del eminente bioquímico Russell F. Doolittle (1993), así como otras numerosas publicaciones de Doolittle y otros científicos.

William Dembski (1995) ha sobrepasado el “descubrimiento” de Behe de la complejidad irreducible reduciéndolo a un caso especial de “información especificada compleja,” que es aquella información que tiene una probabilidad previa muy baja y, por tanto, tiene alto contenido informático. Dembski argumenta que la mutación y la selección natural son incapaces de generar estados de cosas tan altamente improbables. Tomemos las treinta proteínas que constituyen el flagelo bacteriano. Suponiendo que cada proteína posee alrededor de 300 aminoácidos, él calcula que la probabilidad de una proteína semejante es 20^{-300} . Después de algunos refinamientos, calcula que la probabilidad de creación para el flagelo es 10^{-1170} (uno dividido por 1 seguido de 1170 ceros; para tener alguna idea de la magnitud de este número, consideremos que el número de átomos del universo se calcula que es 10^{77} , o 1 seguido de 77 ceros). Dembski concluye que aunque tengamos en cuenta que la vida ha existido sobre la Tierra durante tres mil millones y medio de años, la formación de un flagelo funcional es de una improbabilidad imposable.

¿De qué puede servirnos este cálculo? La respuesta es simple, a saber, que este cálculo, así como otros ejercicios numerológicos de Dembski, es totalmente irrelevante, porque las suposiciones en las que se basa son erróneas. La selección natural y su proceder gradual pueden obtener resultados con probabilidades previas inmensamente menores que los cálculos de Dembski (Ayala, 2007).

PERVERSIONES DEL DISEÑO INTELIGENTE

Una dificultad con respecto a la atribución del diseño de los organismos al Creador es la existencia universal de imperfecciones y defectos. En el ojo humano, por ejemplo, las fibras nerviosas visuales convergen en una zona de la retina para formar el nervio óptico, que tiene que cruzar la retina para llegar al cerero, con lo cual se crea un “punto ciego”. Los pulpos y los calamares no tienen este defecto en sus ojos. Los defectos del ojo humano son incompatibles con un diseño inteligente. Si el diseñador inteligente es Dios, dado que los pulpos y calamares no tienen el defecto del punto ciego, ¿debemos concluir que Dios ama a los calamares y pulpos más que a los humanos?

La teoría del diseño inteligente, como explicación para las adaptaciones de los organismos, puede que sea una forma de teología (natural), como sostendría Paley, pero nunca será una hipótesis científica. Además, no es una teología válida, porque conduce a conclusiones sobre la naturaleza del diseñador distintas por completo a las que la teología cristiana adjudica a Dios: omnisciencia, omnipotencia y benevolencia.

Vamos a considerar la mandíbula humana. Tenemos demasiados dientes para el tamaño de la mandíbula, lo cual hace necesario extraer las muelas del juicio. ¿Le vamos a reprochar a Dios esta “metedura de pata”? Un ingeniero humano hubiese hecho mejor las cosas. La teoría de la evolución da una explicación correcta a esta imperfección. Está comprobado que el tamaño del cerebro aumentó paulatinamente en los homínidos antepasados de nuestra especie, de manera que un cerebro más voluminoso encajase bien en la cavidad ósea de su mitad superior. Esto supuso la necesidad de reducir la mandíbula en la parte inferior, con el fin de que la cabeza de los *nasciturus* no fuese demasiado grande para poder pasar por el canal del parto.

La evolución responde a las necesidades de los organismos mediante la selección natural, pero no lo hace generando un diseño óptimo, sino arreglándose como puede con lo que tiene, por así decirlo, para obtener el mejor resultado posible. Es decir, a lo largo de un camino interminable, la selección natural modifica poco a poco las estructuras existentes en una especie dada, para que sus piezas vayan encajando con la realidad cambiante en que los organismos viven. La evolución consigue el “diseño” como consecuencia de la selección natural: mientras va en pos de la adaptación. Así pues, la evolución lleva a un diseño “imperfecto”, no a un diseño inteligente.

El canal del parto de las mujeres es un conducto demasiado estrecho para posibilitar la salida fácil de la cabeza del neonato. De modo que miles y miles de bebés y muchas madres mueren durante el parto. No parece razonable reprocharle a Dios la existencia de este diseño disfuncional o de la muerte de tantos niños y de muchas madres. La ciencia lo hace comprensible: es una consecuencia directa del aumento evolutivo del volumen de nuestro cerebro. Las hembras de otros primates no tienen esta dificultad.

En el pasado los teólogos se enfrentaron con la existencia de defectos y disfunciones, porque pensaban que se debían atribuir al diseño de Dios. Por medio de la teoría de la evolución, la ciencia, para alivio de la conciencia de muchos teólogos, proporciona una explicación que atribuye convincentemente los defectos, deformidades y disfunciones de los organismos a causas naturales.

Entre los organismos también abundan lo que se pueden llamar “rarezas”, además de “crueldades”. Tales calificaciones serían apropiadas si las conductas raras y las crueles fueran resultado del diseñado de un ser con altos niveles de inteligencia y moralidad. Pero las rarezas y crueldades de la naturaleza biológica solo son metafóricas si se aplican a resultados de la selección natural. Ejemplos de “crueldad” los encontramos en las acciones de los predadores (digamos, un chimpancé) desgarrando a sus presas (un pequeño mono que grita mientras el chimpancé se lo come arrancándole la carne a mordiscos) o de los parásitos que destruyen los órganos funcionales de sus hospederos.

Son también, y muy abundantes, “crueldades” en las interacciones entre organismos de la misma especie, particularmente entre machos y hembras en ocasión del apareo. Un ejemplo bien conocido es el de la mantis religiosa. Como es generalmente conocido, la hembra de este insecto devora al macho después de haber completado el coito. Menos conocido es que, si tiene oportunidad, la hembra se comerá la cabeza del macho antes del apareamiento. La ventaja de tal acción está en que los reflejos musculares consiguientes del macho decapitado generan convulsiones del cuerpo, comparables a espasmos de “frenesí sexual”, que facilitan a la hembra la conexión de sus genitales con los del macho.

Otro ejemplo es el de las mosquitas pertenecientes a la familia *Ceratopogonidae* y a otras similares, en las que la hembra ataca al macho que se acerca en celo, como si este fuera una presa más de las que acostumbra a comer. La hembra inyecta saliva a través de su probóscide clavada en el cuerpo del macho que se acercaba a ella. Esta saliva tiene la propiedad de iniciar la digestión de la

sustancia interior del cuerpo del macho, la cual, una vez licuada, es succionada por la hembra a través de esa trompa con la que le ha apuñalado. Los órganos fecundantes del macho quedan relativamente intactos, porque tienen una protección contra los ácidos disolventes de la saliva de la hembra. Una vez dentro del tracto digestivo de la hembra, los órganos sexuales del macho se abren y la fertilizan.

El canibalismo sexual es conocido en docenas de especies, particularmente entre las arañas y los escorpiones. En muchas especies de arañas y de otros insectos, las hembras devoran a los machos que copulan con ellas. Abundan también otras conductas “cruelas”. Hay parásitos que destruyen a sus anfitriones mientras viven en su interior. El diseño de los organismos es frecuentemente tan disfuncional, raro o cruel, que cabe la posibilidad de poderlo atribuir a los dioses de los antiguos griegos, romanos y egipcios, que luchaban unos contra otros, cometían grandes torpezas y eran toscos, e incluso salvajes, en muchas de sus costumbres. Pero para un biólogo moderno, que conoce bien el mundo de la vida, el diseño de los organismos no es compatible con la intervención directa del omnisciente y omnipotente Dios del judaísmo, del cristianismo y del islamismo.

Consideremos un ejemplo más. El veinte por ciento de todos los embarazos humanos abortan espontáneamente durante los dos primeros meses de la preñez. El número sube a más de veinte millones de abortos en el mundo cada año. Los proponentes del diseño inteligente implícitamente atribuyen este desastre al diseño (incompetente) del Creador, con lo cual le convierten en un abortista de magnitud gigantesca. La teoría de la evolución explica esta calamidad como consecuencia de la selección natural, proceso torpe y azaroso. El Dios de la revelación y la fe cristiana es un Dios de amor, misericordia y sabiduría. La teoría de la evolución es compatible con la fe, mientras que el diseño inteligente no lo es.

LA EVOLUCIÓN AL RESCATE

Las implicaciones del diseño inteligente son radicalmente contrarias a lo que sus proponentes (que característicamente no son ni científicos ni teólogos) arguyen. El mundo de la vida está lleno de imperfecciones, defectos, sufrimiento, crueldad, y aun sadismo. La espina dorsal humana está mal diseñada, los depredadores devoran cruelmente a sus presas, los parásitos solo pueden vivir si dañan o destruyen a sus huéspedes, quinientos millones de personas sufren de la malaria y un millón y medio de niños mueren por su causa cada año. No me parece

apropiado atribuir los defectos, la miseria y la crueldad que predominan en el mundo viviente al diseño específico del Creador.

Teólogos y otros expertos en religión de tiempos pasados, al percibir la realidad de la imperfección, la disfunción y la crueldad en los seres vivos, se encontraban con serias dificultades para explicarlas como resultado del designio de Dios. La teoría de la evolución de las especies por selección natural vino a sacarles de la perplejidad que les confundía. Jack Haught (1998), teólogo católico contemporáneo, se ha referido a la evolución como el “regalo de Darwin a la teología”. El teólogo protestante Arthur Peacocke (1998) se ha referido a Darwin como el “amigo disfrazado”, citando con estas palabras al teólogo anterior Aubrey Moore, quien en 1891 escribió que “Apareció el darwinismo y, bajo el disfraz de un enemigo, hizo el trabajo de un amigo”.

Peacocke hace hincapié en la ironía de que la teoría de la evolución fue al principio entendida como una filosofía que eliminaba la necesidad de la existencia de Dios para dar cuenta de la existencia del mundo. Pero, de hecho, la teoría de la evolución se ha convertido en una ciencia que elimina convincentemente la necesidad de explicar las imperfecciones del mundo como consecuencias del diseño de Dios.

REFERENCIAS

- Ayala, F. J. (2007). *Darwin y el Diseño Inteligente. Creacionismo, Cristianismo y Evolución*. Madrid: Alianza Editorial.
- Behe, M. J. (1996). *La caja negra de Darwin: el reto de la bioquímica a la evolución*. Nueva York: Free Press.
- Darwin, C. (1859). *On The Origin of Species*. Londres: Murray.
- Darwin, C. (1871). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. Londres: Murray.
- Dawkins, R. (1996). *The Forty-Fold Path to Enlightenment*. En: Dawkins, R. *Climbing Mount Improbable*. New York and London: Norton, pp. 138-197.
- Dembski, W. (1995). *The Design Inference: Eliminating Chance through Small Probabilities*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Doolittle, R. F. (1993).** The evolution of vertebrate blood coagulation: a case of Yin and Yang. *Thrombosis Haemostasis* 70, pp. 24-28.
- Haught, J. (1998).** Darwin's Gift to Theology. En: Russell, R. J., Stoeger, W. R., y Ayala, F. J., eds. *Evolutionary and Molecular Biology: Scientific Perspectives on Divine Action*. Ciudad del Vaticano. Berkeley: Center for Theology and the Natural Sciences, pp. 393-418.
- Johnson, P. E. (2000).** *The Wedge of Truth: Splitting the Foundations of Naturalism*. Downers Grove, IL: InterVarsity Press.
- Miller, K. (2004).** The Flagellum Unspun. The Collapse of "Irreducible Complexity." En: Dembski, W., y Ruse, M., eds. *Debating Design. From Darwin to DNA*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 81-97.
- Musgrave, I. (2004).** Evolution of the Bacterial Flagellum. En: Young, M., y Edis, T., eds. *Why Intelligent Design Fails*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, pp. 72-84.
- Peacocke, A. (1998).** Biological Evolution – A Positive Appraisal. En: Russell, R. J., Stoeger, W. R., y Ayala, F. J., eds. *Evolutionary and Molecular Biology: Scientific Perspectives on Divine Action*. Ciudad del Vaticano. Berkeley: Center for Theology and the Natural Sciences, pp. 357-376.
- Ussery, D. (2004).** Darwin's Transparent Box: The Biochemical Evidence for Evolution. En: Young, M., y Edis, T., eds. *Why Intelligent Design Fails*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, pp. 48-57.

CREACIÓN O EVOLUCIÓN: ¿TENEMOS QUE ELEGIR?

Denis Alexander

The Faraday Institute for Science and Religion, St. Edmund's College,
Cambridge, Reino Unido

Breve CV

Denis Alexander es director del Faraday Institute for Science and Religion en el St. Edmund's College de Cambridge, del que es profesor titular. Con anterioridad dirigió el Programa de Inmunología Molecular y del Laboratorio de Señalización de Linfocitos y Desarrollo del Babraham Institute, Cambridge. También es editor de la revista *Science & Christian Belief*, y miembro del UK National Committee of Christians in Science (Comité Británico de Científicos Cristianos) y autor de varios libros acerca de la relación entre la ciencia y la religión, tales como el que da título a este artículo, *Creation or Evolution: Do We Have to Choose?* (Oxford: Monarch, 2008) y *The Language of Genetics, an Introduction* (Templeton Foundation Press, 2011).

Abstract

It is often thought that an intrinsic compatibility exists between the ideas of 'creation' and Darwinian 'evolution'. This misunderstanding arises from two main sources. First, since the publication of Charles Darwin's *On the Origin of Species* (1859), evolution has frequently been used for various social, political, religious or anti-religious purposes. These ideological investments are not intrinsic to the theory, which focuses on providing an explanation for the origins of biological diversity, but have the consequence that in the public domain the term 'evolution' often has associations incompatible with the idea of 'creation'. The second main reason for the supposed incompatibility arises from the US

anti-Darwinian creationist and Intelligent Design movements. These movements agree with the claims of ultra-Darwinians such as Richard Dawkins that ‘creation’ and ‘evolution’ provide rival accounts for the origins of biological diversity. This lecture will draw on the traditional understandings of ‘creation’ shared by all the Abrahamic faiths to suggest that there is no need to choose between creation and evolution. Instead they provide two different complementary narratives for the history of living things on this planet. Both accounts are important if we are to do justice to the complex reality of life.

Palabras clave

Creación, evolución, creacionismo.

SOBRE LA CAPACIDAD DE DECISIÓN

El título de este artículo plantea la necesidad de escoger entre dos opciones; en multitud de situaciones podemos encontrarnos ante la necesidad de elegir. Por ejemplo, si tengo la opción de tomarme un helado de chocolate o uno de vainilla, tendré que tomar una difícil decisión; no hay otro remedio. Tengo que elegir porque hay dos elementos del mismo tipo que compiten entre sí. Pero pongamos que se me ofrece la posibilidad de elegir entre apreciar la belleza de un helado y disfrutar de su sabor. Se trata de un falso dilema, ya que en realidad puedo disfrutar de las cualidades estéticas del helado y de su sabor a un tiempo: la elección se plantea entre dos cualidades de una misma cosa.

Hay quien cree que la respuesta a la pregunta planteada en el título de este capítulo es afirmativa, y que es necesario elegir entre una de las dos opciones. Richard Dawkins escribe: “Otorgo a las religiones la consideración de teorías científicas (...) Creo que la idea de Dios es una posible explicación más de los hechos del universo y la vida” (Dawkins, 1995) y añade: “La existencia de Dios es una hipótesis científica como cualquier otra” (Dawkins, 2006). En este caso, Dios y la ciencia rivalizan a la hora de explicar el mundo que nos rodea: hay que elegir entre la Creación o la evolución, solo hay lugar para una teoría.

Curiosamente, la corriente más próxima a la filosofía de la ciencia de Dawkins es la del Creacionismo de la Tierra Joven, que considera que su teoría rivaliza en cierto modo con nuestro conocimiento científico actual, y al igual que Dawkins, considera que es necesario elegir entre una y otra teoría. Esta es la opinión de

más del 40% de la población estadounidense, que interpreta los primeros capítulos del Génesis como un texto científico que entra en conflicto con las teorías evolucionistas. A la pregunta: “¿Cree que el hombre fue creado más o menos en su forma actual durante los últimos 10.000 años?”, el 40% de los estadounidenses responde que sí⁵⁷.

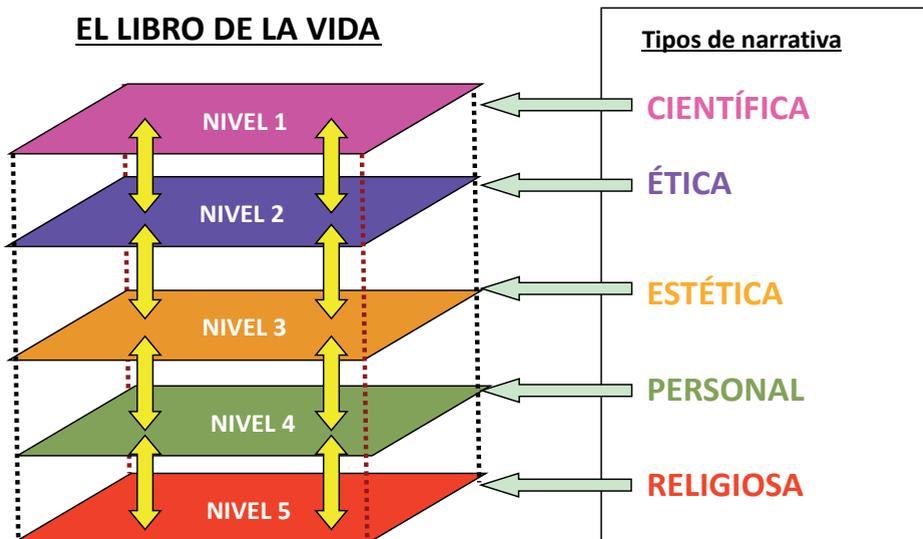
Personalmente creo que el hecho de integrar la teoría de la evolución en la retórica ideológica del ateísmo no ha hecho sino incrementar la popularidad del creacionismo en varios lugares de Europa. Repetir constantemente que evolución equivale a ateísmo abona el campo para la aceptación del creacionismo, ya que algunos creyentes caen en el error de meterlo todo en el mismo saco.

De hecho, con frecuencia se confiere a las teorías científicas, y sobre todo las más importantes, una serie de nociones ideológicas y metafísicas que van más allá de lo científico. Lo que suele suceder es que una teoría científica de peso, como es el caso de la evolución, cosecha un gran éxito y determinados grupos de interés tratan de sacarle partido ideológico (Alexander & Numbers, 2010). Por desgracia, el resultado suele ser que, en el imaginario colectivo, el significado de la teoría cambia y deja de ser la “Teoría X” para convertirse en la “Teoría Y”. Por ejemplo, la teoría de la evolución se ha utilizado en distintos momentos para avalar, entre otras, doctrinas capitalistas, comunistas, racistas, militaristas, eugenistas, feministas, teístas y ateístas, muchas de ellas mutuamente excluyentes. Esto debería servir para darnos cuenta de que existe un importante proyecto de transformación social que sirve para explicar buena parte del acalorado debate social que ha surgido recientemente, sobre todo en Estados Unidos, entre los partidarios de las teorías evolucionistas y sus detractores creyentes.

MODELO PARA CONCILIAR DISTINTOS TIPOS DE CONOCIMIENTO

Al plantearnos si es necesario elegir entre la teoría creacionista o la evolutiva podemos utilizar un modelo muy sencillo. Imaginemos que el libro de esa entidad tan compleja a la que llamamos vida (es decir, todo aquello que experimentamos) es un cubo conformado por distintas capas, tal y como se muestra a continuación.

⁵⁷ Última consulta: 14 de febrero de 2012.



Son necesarios todos estos niveles de explicación para hacer justicia a una realidad tan sumamente compleja: aunque la vida es un único libro, nuestra inteligencia no está preparada para acometer la hercúlea tarea de interpretarlo en su totalidad de una sola vez. El nivel de comprensión científica nos muestra de dónde provienen las cosas y cómo funcionan; el nivel ético y moral se refiere a cómo debería ser nuestro comportamiento en el mundo; el estético nos proporciona claves sobre nuestra comprensión y apreciación de la belleza, mientras que nuestra experiencia personal del mundo configura nuestra propia biografía y nos proporciona una serie de datos únicos sobre la vida. No obstante, podríamos añadir muchas más capas. En el nivel religioso nos planteamos cuestiones como la razón por la que existe el universo, si la teoría de la evolución es compatible con el fin último o si existe un Dios Creador. Cabe destacar que estos distintos niveles de explicación de la vida *no compiten* entre sí, sino todo lo contrario: todos son necesarios para dar cuenta de nuestra experiencia como seres humanos. Además, un modelo de este tipo no descarta la existencia de complejas interacciones entre cada uno de los niveles, que no están aislados, tal y como muestran las flechas verticales, sino que más bien señala algo tan obvio como que ninguno de los niveles explicativos es capaz de explicar el mundo por sí mismo.

Por lo tanto, a diferencia de postulados ateos como los de Richard Dawkins, que cree que las explicaciones religiosas *son opuestas* a las científicas, este mode-

lo plantea que los argumentos y el conocimiento religioso ofrecen respuestas a diversas preguntas científicas con una narrativa distinta. De hecho, este modelo refleja la organización de nuestras universidades en distintas facultades y departamentos. Existe un acuerdo tácito de que las distintas perspectivas de estudio requieren distintos métodos y planteamientos, y que cada disciplina cuenta con sus modos particulares de justificar sus creencias. Fuera de las facultades de ciencias se usan también métodos de investigación racionales.

La filosofía del “cientificismo” considera que la ciencia es la única disciplina capaz de ofrecer un conocimiento racional y fiable. Se trata de una versión popular del positivismo que, aunque hace tiempo que no cuenta con reconocimiento alguno en el campo de la filosofía académica, aún sigue vivo entre determinados sectores de la comunidad científica. Pero basta con pararse a pensar un momento para darse cuenta de que el científicismo no se sostiene (Stenmark, 2001). Hay muchas verdades demostradas que creemos aunque no son de naturaleza científica, como los postulados jurídicos, los hechos históricos o el hecho de que una persona nos quiera.

Pero volvamos a la pregunta que nos ocupa, ¿debemos elegir entre el creacionismo y la teoría de la evolución? Para abordar la cuestión con rigor debemos decidir primero si ambas tesis son dos ejemplos de lo mismo, tal y como sostendría Dawkins, o en realidad, se tratan de dos explicaciones distintas que se complementan, como muestra nuestro modelo del cubo de la vida y sus múltiples capas. Parece obvio que este debate solo puede abordarse teniendo los conceptos claros, algo siempre recomendable, por lo que comenzaremos por definirlos.

¿QUÉ ES LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN?

El profesor Francisco Ayala escribió un artículo que nos ofrece información muy valiosa acerca de la teoría de la evolución, si bien solo incluiremos un breve resumen que pueda servir de ayuda a aquellos lectores que no tengan conocimientos de biología. Quizás debamos comenzar por definir lo que no es la teoría de la evolución: no es una corriente filosófica, a pesar de los intentos de algunas personas. Tampoco se trata de un complot urdido por científicos ateos para destruir la fe en Dios, aunque algunos la hayan utilizado en este sentido. La teoría de la evolución es, más bien, la mejor explicación de la que dispone la ciencia acerca de los orígenes de la diversidad biológica del planeta: ofrece el marco en el que se

desarrolla toda la investigación biológica actual y que comparten creyentes y no creyentes (Ridley, 2004; S. B. Carroll, 2005).

Se refiere a lo que Darwin denominaba “descendencia con modificación”, esto es, el hecho de que todo esté relacionado como resultado de una historia evolutiva que hace que compartamos el mismo código genético, los mismos tipos de sistemas biológicos (todos provenimos del polvo de las estrellas) en los que sus elementos químicos esenciales (el carbono, el fósforo, el nitrógeno, el oxígeno, etc.) fueron sintetizados en los hornos de las estrellas de segunda generación. En la actualidad no existe ninguna teoría rival, aunque sí existe un intenso debate acerca de los distintos mecanismos que participan en la evolución.

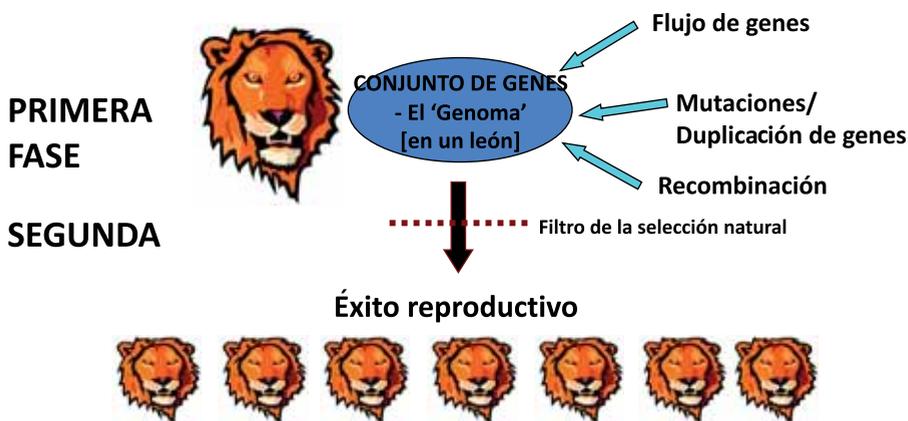
El motivo por el cual los biólogos incluyen de la teoría de la evolución en sus programas de investigación es que proporciona una explicación fantástica a muchas cuestiones. Conecta una cantidad enorme de datos distintos procedentes de los campos de la anatomía, los geología, los registros fósiles, la distribución geográfica de las especies –sobre todo en las islas–, la genética, la fisiología, los órganos vestigiales –como los huesos pélvicos y las patas traseras presentes en algunas especies de ballena que evolucionaron a partir de mamíferos terrestres, de forma que una de cada 500 ballenas del suborden de los misticetos presenta una pata trasera que sobresale de la pared del cuerpo–. De hecho, todos portamos en nuestro cuerpo órganos que son vestigios del pasado.

Obviamente, cuando los científicos hablan de “teoría”, emplean el término en sentido técnico, muy distinto al uso habitual en frases como “bueno, esa es tu teoría”, que tienen un cierto tono despectivo. Los candidatos a la presidencia de Estados Unidos han tenido varios deslices en relación a este tema; en una ocasión se preguntó en campaña a Ronald Reagan qué pensaba sobre la teoría de la evolución, a lo que respondió: “Bueno, no es más que una teoría muy rebatida por la comunidad científica durante los últimos años.” Resulta que las dos partes de la declaración son falsas. Las declaraciones realizadas por los candidatos republicanos a las elecciones presidenciales de 2012 demuestran que nada ha cambiado en los últimos treinta años. Para Rick Perry la evolución es tan solo “una teoría más”, mientras que para Ron Paul “es una teoría que yo no acepto”. Parece que existe bastante confusión respecto al uso del término “teoría”.

Podríamos decir que una teoría es una suerte de mapa que confiere coherencia a distintos datos, una gran idea general que incorpora distintos componentes y los articula para ofrecer una explicación sobre algo. Cuando los científicos

hablan de la “teoría de la gravedad”, o de la “teoría de la relatividad” no están poniendo en duda de que los objetos caigan al suelo o que el tiempo sea relativo dependiendo de la velocidad del observador, sino que emplean el término en un sentido técnico.

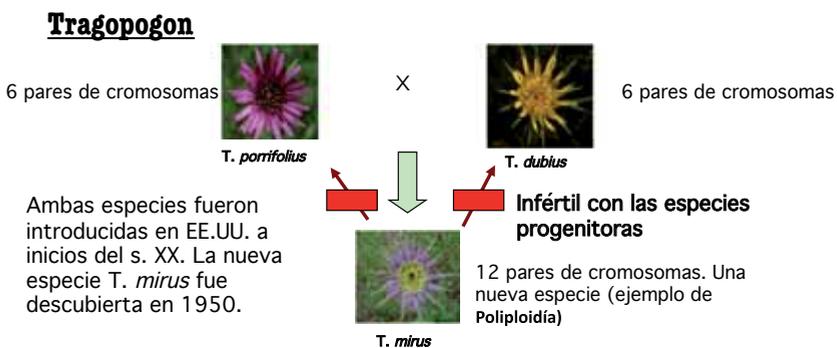
La teoría de la evolución ha avanzado mucho desde que Darwin la postulara y ha incorporado dos procesos clave que, juntos, producen nuevas formas de vida. El primero se trata de la variación que experimentan en los genomas de los organismos vivos (Lewin, 2008). El genoma es la suma de toda la información genética contenida en el ADN de un ser vivo. Existen más de diez mecanismos distintos que introducen variaciones en el ADN, todos aleatorios en el sentido de que su aparición no responde a ninguna necesidad concreta del organismo. La mayoría de las variaciones se producen durante el proceso reproductivo, lo que garantiza un suministro continuo de variaciones genómicas a la descendencia. Otras variaciones se deben a mutaciones, que pueden afectar a una sola letra del “alfabeto genético” del ADN, o generar importantes cambios como la duplicación cromosómica o incluso del genoma completo. Otra se debe a la recombinación que se produce al generar los gametos. Se trata del entrecruzamiento de segmentos de ADN entre pares de cromosomas que se produce en el desarrollo de los óvulos y los espermatozoides. Otras variaciones provienen del flujo genético (Alexander, 2011). Cuando dos poblaciones de la misma especie permanecen aisladas una de otra durante un tiempo acumulan una serie de mutaciones que se transferirán de un grupo a otro cuando vuelvan a reproducirse entre sí.



El segundo paso del proceso evolutivo es el de la “selección natural” descubierta por Darwin, que consiste en poner a prueba en la vida real a los organismos resultantes de los distintos genomas. Los organismos que tienen más éxito en ser “seleccionados” para pasar su genoma a la siguiente generación son aquellos que mejor se han adaptado a un nicho ecológico, es decir, un entorno concreto. Herbert Spencer había descrito este proceso como “supervivencia del más apto”, y el propio Darwin tomó prestado el término, que, sin embargo, obvia la cuestión más importante. Está claro que, para reproducirse, una planta o un león antes tienen que haber sobrevivido, pero cabe preguntarse si lo que cuenta de cara a la selección natural es su éxito reproductivo, esto es, el número de copias de las variaciones genómicas que se transfieren a la siguiente generación y a las posteriores.

Parece necesario definir una especie desde un punto de vista biológico. Una especie no es más que una población que por lo general no se cruza con otras. Se cree que la especiación se produce bien por mecanismos alopátricos, cuando una población se divide en dos o más emplazamientos geográficos aislados unos de otros (por ejemplo, si a causa de la deriva continental dos continentes quedan separados por un nuevo océano), o bien, en casos más raros mediante mecanismos simpátricos, cuando dos subpoblaciones se aíslan reproductivamente sin que lo hayan hecho primero geográficamente (Alexander, 2011).

Con frecuencia se utiliza el término macroevolución para describir el proceso por el cual una especie se convierte en otra, aunque no necesariamente significa que se produzcan cambios en el genoma del organismo mayores de los que existen entre individuos de una misma especie, aunque es posible que ocurra.



Por ejemplo, la especiación de las plantas se da con frecuencia a través de un proceso de hibridación seguida una duplicación cromosómica, ya sea natural o

inducido artificialmente, aunque las plantas tengan un aspecto muy similar al que presentaban antes del proceso, tal y como mostramos en el ejemplo de las *Tragopogon* del norte del continente americano (Ridley, 2004, p. 406). Se cree que alrededor del 50% de las especies de plantas con flores presentes en determinados jardines provienen de este proceso. Esta rápida forma de especiación es muy frecuente entre las plantas, y recibe el nombre de poliploidía.

Normalmente, la especiación en los animales es más lenta, si bien puede resultar relativamente rápida durante la llamada radiación adaptativa destinada a ocupar varios nichos ecológicos, como en el caso del lago Victoria, en África, donde desde la última vez que se secó hace 14.700 años han evolucionado más de 170 especies de cíclidos a partir de solo dos (que provenían del lago Kivu) (Verheyen *et al.*, 2003). Lo que resulta realmente sorprendente es que las especies de cíclidos que se encuentran en los lagos Victoria y Malawi, que son considerablemente distintas entre sí, representan más del 10% de las especies de peces de agua dulce del mundo. Durante el último millón de años, de los dos lagos han surgido más de 1.000 especies de cíclidos.

Cuando nos referimos a la evolución humana, cabe destacar que un error frecuente es pensar que procedemos del mono, cuando en realidad lo que sucede es que compartimos con nuestro primo hermano el chimpancé un ancestro común más reciente que vivió hace unos seis millones de años. Por lo tanto, desde que se produjo esta separación, la evolución de los simios ha desembocado en varias especies, del mismo modo que nosotros hemos ido evolucionando en varias especies de homínidos hasta llegar anatómicamente al ser humano actual, que apareció en África hace alrededor de 200.000 años (Foley; Zimmer, 2006).



¿QUÉ ES EL CREACIONISMO?

Cabe plantearse a qué se refieren exactamente los cristianos y las demás religiones monoteístas cuando hablan de la Creación. Parte de la confusión existente se debe a que las palabras “crear” y “creación” forman parte de nuestro lenguaje cotidiano (Alexander, 2008). El término “Creación” tiene un significado muy específico para la teología cristiana, esto es, cuenta con un significado técnico, igual que sucede con el término “evolución” en el campo científico. Al igual que hicimos con la teoría de la evolución, comenzaremos por establecer aquello que la creación, en el sentido estricto expuesto, no es:

- En primer lugar, el primer significado del término no se refiere a los orígenes de las cosas, aunque evidentemente incluye esta cuestión.
- En segundo lugar, no trata de la forma en la que Dios dotó a las cosas de existencia. Eso no es lo que significa el término “Creación”.
- En tercer lugar, desde luego que no se refiere a la creencia literal en una Tierra joven ni a la creación de todos los seres vivos en seis días de 24 horas literalmente, tal y como los llamados “creacionistas” creen erradamente.

Llegados a este punto, analicemos entonces qué es y a qué se refieren los cristianos cuando hablan de la Creación. La doctrina cristiana tradicional de la Creación promulga la presencia de una dicotomía fundamental que se da entre Dios Creador, y toda su Creación. Todo lo que existe y es distinto a Dios debe su existencia a éste.

Los cristianos consideran que en la Creación destacan tres atributos divinos: su trascendencia, su inmanencia y el carácter trinitario de la creación. La trascendencia de Dios se refiere a su otredad, a su naturaleza eterna y al hecho de que es esencialmente distinto del ser humano. El Dios de la Biblia es un Dios eterno, sin limitaciones temporales ni espaciales. Tal y como Dios reveló por boca del profeta Isaías: “Porque mis pensamientos no son vuestros pensamientos, ni vuestros caminos mis caminos. Como son más altos los cielos que la Tierra, así son mis caminos más altos que vuestros caminos, y mis pensamientos más que vuestros pensamientos” (Isaías 55:8-9). No es posible ser más listo que Dios. No podemos decirle cómo debía haber creado el mundo. Los científicos debemos limitarnos a describir su obra en la medida que nos resulte posible.

Un segundo aspecto importante de Dios creador es su inmanencia respecto a su obra, esto es, su implicación absoluta en una actividad creadora continua en

relación con el universo. La inmanencia de Dios establece que todo lo que existe lo hace por deseo y voluntad divina. Las propiedades de la materia son las que son porque esa es la voluntad de Dios. Dios nos demuestra constantemente su lealtad al asegurar la continuidad y la coherencia de las propiedades de la materia, que es precisamente lo que hace posible la existencia de la ciencia. Dios es, a un tiempo, el compositor y el director de la sinfonía de la vida.

Son muchos los pasajes de la Biblia los que nos recuerdan la inmanencia de Dios en su creación. Por ejemplo, la *Epístola de San Pablo a los colosenses* incluye unos de los pasajes más fascinantes del Nuevo Testamento: “Porque en él [Jesucristo] fueron creadas todas las cosas, las que hay en los cielos y las que hay en la Tierra, visibles e invisibles; tronos, dominios, principados, potestades; todo fue creado por medio de él y para él. Él es antes de todas las cosas, *y todas las cosas en él subsisten*” (versos 16-17, cursivas del autor). Dicho de otro modo, Pablo afirma que la totalidad del orden creado, en todo su alcance y diversidad, es la materialización del Verbo Divino, de nuestro señor Jesucristo, que creó primero todo aquello que existe. No se trata de una afirmación baladí:

El tercer atributo divino es que Dios creador es uno y trino respecto a su obra. La relación entre Dios Padre, Dios Hijo y Dios Espíritu Santo anterior a la creación del universo. Por lo tanto, en un universo creado por un Dios tan personal, la aparición de la condición humana individual y las relaciones humanas es una consecuencia lógica. Existe al menos un planeta, y quizás haya muchos más, cuyos habitantes han establecido relaciones personales entre ellos y con Dios.

Independientemente de que creamos en la existencia de un Dios Creador del tipo del que hemos hablado, la cuestión principal es comprender a qué se refieren los cristianos cuando hablan de la Creación, y qué implicaciones tiene este significado al responder a la pregunta de si es necesario elegir ente el creacionismo y la evolución. Si es esto a lo que los teístas se refieren al hablar de Creación, cabe cuestionarse qué papel desempeña entonces la ciencia. La respuesta está clara: describir lo mejor que pueda aquello que Dios ha creado y sigue creando. Desde Guillermo de Conches en el siglo XII y Tomás de Aquino en el siglo XIII, resulta común referirse a Dios como la causa primera de todo lo que existe, por lo que, como científicos, investigamos las causas secundarias de las que Dios hace uso para al llevar a cabo sus propósitos creativos (Hannam, 2010). En esta perspectiva cristiana del mundo, los científicos se limitan a describir e investigar aquello que Dios ha creado y mantiene de manera continua. Dentro de este

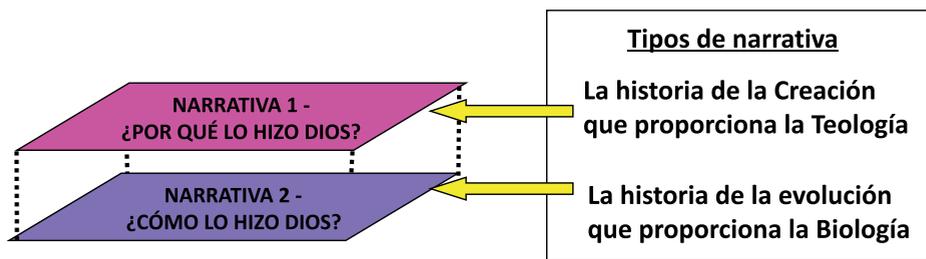
análisis, Dios no puede limitarse a ser una de las muchas causas secundarias que existen; sino que debe ser la causa primera, el fundamento último y la fuente de todo lo que existe.

Esto resulta útil para comprender la reacción de muchos teólogos y científicos cristianos del siglo XIX cuya primera reacción a la publicación de *El origen de las especies* (1859), fue algo así como: “Si la evolución es la forma elegida por Dios para crear la vida, ¿quiénes somos nosotros para cuestionarla? Nuestro trabajo consiste en describir la obra de Dios, y no en decirle cómo debería ser. No cabe objeción alguna a que Dios haya optado por crear todas los seres vivientes a través de un largo proceso histórico”.

Si estos científicos usaran el lenguaje actual dirían que cuentan con dos narrativas: una teológica, la Creación, y otra biológica, que, lejos de competir, se complementan en el modelo del cubo de la vida, y que las dos son necesarias para explicar aquello que observamos. La narrativa de la evolución nos ofrece una explicación biológica y mecanicista de la diversidad de los seres vivos; responde a la pregunta de “cómo sucedieron las cosas”. Por otra parte, la narrativa de la Creación nos muestra cuál es el significado y el objetivo general de la explicación, y da una respuesta a la pregunta de “por qué sucedieron las cosas”. Por lo tanto, no es necesario elegir entre las dos explicaciones, ya que se refieren a la misma realidad, si bien desde dos prismas distintos.

LA PRIMERA ACOGIDA DE LA TEORÍA DARWINISTA DE LA EVOLUCIÓN

Existe la creencia popular de que la publicación de *El origen de las especies* se topó con la oposición frontal de la Iglesia, lo cual no es cierto (Moore, 1979) (Livingstone, 1987; Brooke, 1991). Hay que admitir que algunos líderes religiosos se mostraron preocupados porque la nueva teoría afectara a la posición privilegiada que atribuían a la humanidad. El propio Darwin evitó el tema de la evolución humana en *El origen de las especies*, aunque era obvio que su teoría trataba de abarcar a todos los organismos vivos, incluidos los humanos. Pero las principales críticas a Darwin fueron científicas, no religiosas: merece la pena recordar que los fundamentos de la teoría de la evolución eran en 1859 mucho más frágiles que en la actual. Por ejemplo, no existía ninguna teoría convincente sobre la herencia genética, y el registro fósil estaba mucho menos desarrollado que en la actualidad.



Resulta interesante preguntarse cómo es posible que los principales líderes religiosos fueran capaces de conciliar con tanta rapidez la evolución con la perspectiva cristiana, sobre todo en el Reino Unido y en Estados Unidos. La respuesta parece encontrarse en su profundo conocimiento del pensamiento teológico expuesto más arriba. De hecho, los teólogos más importantes contemporáneos de Darwin acogieron sus teorías con los brazos abiertos, ya que consideraban que, a comienzos del siglo XIX, esta disciplina se había centrado en exceso en la idea de un Dios Creador lejano que dictó las leyes del universo al principio de los tiempos y desde entonces se había mantenido al margen.

Muchos amigos del propio Darwin eran religiosos, y de las 2.000 personas con las que mantenía correspondencia, alrededor de 200 eran clérigos, algunos de los cuales incluso le facilitaron datos biológicos que incorporó a su obra. Cuando Darwin envió un borrador muy avanzado de *El origen de las especies* a Charles Kingsley, sacerdote y novelista socialista, que en 1860 impartía clases de Historia Moderna en Cambridge, este respondió entusiasmado “Todo lo que he visto me fascina”. Y añadió: “Atribuir [a Dios] la creación de formas primitivas capaces de evolucionar por sí solas supone una concepción de la Deidad igual de noble (...) que una que hubiera debido intervenir de nuevo para completar las lagunas que Él mismo había introducido”⁵⁸.

A Darwin le agradó tanto esta respuesta que citó estas líneas en la segunda edición de *El origen de las especies*. Resulta interesante, y sumamente positivo, que la primera reacción por escrito al libro de Darwin proviniera de un teólogo, solo seis días después del día oficial de su publicación.

⁵⁸ Charles Kingsley, *Carta a Charles Darwin fechada el 18 de noviembre de 1859*. Cambridge: *Darwin Correspondence Project*, www.darwinproject.ac.uk/entry-2534. Última consulta: 14 de enero de 2011.

En la época de Darwin, este tipo de teísmo estaba muy arraigado, por lo que hubo mayor problema en cristianizar la teoría de la evolución incorporándola a la teología tradicional de la Creación. Aunque parece que la impresión generalizada es que *El Origen de las especies* de Darwin en 1859 se topó con la feroz oposición de la Iglesia, pero no fue así. Si bien determinados teólogos expresaron su rechazo a las nuevas ideas, considero más importante la rapidez con la que los líderes religiosos abrazaron la nueva teoría. El rechazo que despierta en la actualidad la teoría de la evolución en Estados Unidos resulta irónico dado que estas ideas llegaron a este país en gran medida de la mano de académicos cristianos. Tal y como señala el historiador estadounidense George Marsden: “Salvo excepciones como el profesor de Harvard Louis Agassiz, a principios de la década de los setenta del siglo XIX la práctica totalidad de los zoólogos y botánicos estadounidenses aceptaban alguna forma de evolución.” (G. M. Marsden, 1984). El historiador británico James Moore, autor de la obra de referencia sobre la acogida de las ideas de Darwin en el Reino Unido y en Estados Unidos a lo largo del siglo XIX, señala: “Salvo contadas excepciones, los pensadores británicos y estadounidenses más destacados acogieron con rapidez las ideas darwinistas y la teoría de la evolución” (Moore, 1981).

A mediados de la década de 1860, los exámenes de la Universidad de Cambridge –en la que la docencia aún estaba reservada a clérigos anglicanos–, recogían ya preguntas que daban por sentada la validez de la teoría de Darwin. En 1867 ya se había acuñado el término “darwinista cristiano”. De hecho, algunos teólogos expresaron su satisfacción con la teoría de la evolución darwinista por considerarla enormemente útil a la hora de alejar a la teología de las ideas deístas de William Paley, que tan buena acogida habían tenido a principios de siglo. El deísmo concibe a Dios como un legislador distante que dictó las leyes del universo para a continuación dejar que siguiera su marcha sin ninguna implicación posterior por su parte. Por contra, el teísmo cristiano sostiene la idea de un Dios Creador que participa estrechamente en que el mundo se mantenga tal como está. Ejemplo de esta última corriente son los autores anglocatólicos seguidores de Charles Gore, que publicó en 1889 una serie de doce artículos titulados *Lux Mundi*. Unos de estos autores, Aubrey Moore, profesor invitado del St. John’s College de Oxford y conservador de los Jardines Botánicos de esta universidad, escribió: “El darwinismo apareció y, bajo la apariencia de un enemigo, hizo una tarea que solo un amigo puede hacer”, y afirmó que la evolución debería resultar “especialmente atractiva a aquellos cuya principal preocupación consis-

te en conservar hasta los aspectos más nimios de la fe católica”. Para Moore, este atractivo residía en la estrecha participación de Dios en su obra, ya que “no hay ni puede haber ninguna interposición divina en la naturaleza, ya que Dios no puede interferir consigo mismo. Su actividad creadora es omnipresente. No existe nada parecido a una división de tareas entre Dios y la naturaleza, entre Dios y la ley, etc., en tanto que para los teólogos cristianos, los hechos naturales son los actos de Dios” (Moore, 1890).

Llegados a este punto, quizás resulte interesante recordar que el Creacionismo de la Tierra Joven, la corriente que sostiene que el mundo se creó hace unos 10.000 años en exactamente seis días, es un fenómeno estadounidense de finales del siglo XX. Ningún académico contemporáneo de Darwin, religioso o no, creía en una Tierra joven, ya que en el siglo XIX estaba aceptado por todos que la Tierra era muy antigua, y el único debate que existía era acerca de su edad exacta (Numbers, 1992).

CUESTIONES TEOLÓGICAS PLANTEADAS POR LA EVOLUCIÓN

Desde el prisma de esta respuesta positiva a la evolución que hemos visto ya en muchos de los contemporáneos de Darwin, que desde luego comparto, parece oportuno preguntarse cómo interactúa Dios con el mundo para llevar a cabo sus objetivos a través del proceso evolutivo. Quizás Dios intervino de algún modo al inventar la primera doble hélice de ADN para mostrar el camino a seguir, o acaso afinó una mutación aislada que hiciera que comenzara el proceso de especiación que resultó en el ser humano.

Pero no creo que este tipo de argumentos tengan demasiado sentido. Por el contrario, si nos planteamos con rigor la idea de la inmanencia, veremos la presencia activa y fiel de Dios en la consistencia absoluta y diaria de la materia que posibilita la existencia de la ciencia. Es, digamos, un todo incluido: Dios es el autor del libro de la Creación, y no interviene para escribir únicamente el segundo apartado del capítulo 2: o se encarga de la obra completa, o no lo hace.

El ejemplo del autor nos ayuda a comprender por qué resulta tan poco convincente la idea de un “dios de las lagunas”, esto es, cuando nos topamos con algo que no somos capaces de explicar, nuestra falta de conocimientos científicos nos hace recurrir a Dios, y afirmamos que Él es la respuesta. Por ejemplo, actualmente no podemos explicar desde un punto de vista científico la mayor parte de las cuestiones relacionadas con el nacimiento de la vida, ni cómo surgió la prime-

ra célula. Para un creyente existe la tentación de decir: “Está claro que Dios creó la primera forma de vida, o la primera célula”, o emplear un argumento similar. Obviamente, la ciencia avanza muy deprisa y las lagunas de conocimientos científicos se cierran rápidamente, por lo que cabe preguntarse qué sucede entonces con la idea de Dios (Alexander, 2008).

Para los partidarios de la concepción cristiana tradicional de un Dios Creador, autor y protector de todo lo que existe, la idea del dios de las lagunas no tiene ningún sentido. Si nos remontamos a las palabras de Agustín de Hipona en el siglo V: “La naturaleza es la obra de Dios” (Agustín de Hipona, 1982). O bien la creación tiene un autor o no lo tiene. O bien Dios dotó de existencia a todo o no lo hizo. En caso afirmativo, nuestra falta de conocimientos científicos en la actualidad acerca de cómo lo hizo no pude tener ningún tipo de significado teológico. Algo que está claro es que los cristianos no tienen ningún interés oculto en que la ignorancia científica se mantenga. Además, el argumento resulta muy poco elaborado, ya que no anima a continuar indagando. Los que creen en un Dios Creador son precisamente quienes deberían estar más motivados por impulsar la ciencia, de modo que podamos conocer como funciona el mundo que Él ideó. De hecho, este fue uno de los incentivos para los primeros científicos, prácticamente todos creyentes.

La cuestión de lo fortuito

Quisiera centrarme ahora en dos objeciones a las que con frecuencia debemos responder los cristianos darwinistas. La primera es: “Está claro que la evolución es un proceso fortuito, lo cual no es conciliable con la idea de que responde a las intenciones de Dios respecto a los seres vivos”. Sin embargo, si analizamos la evolución en su conjunto, no parece en absoluto un proceso fortuito. Esto puede explicarse con un sencillo ejemplo. Imaginemos, por ejemplo, que somos presidentes de un gobierno que quiere que la gente done dinero para causas nobles, pero no contempla una subida de impuestos; quiere recaudar importantes sumas de dinero y que en el proceso algunas personas se hagan muy ricas: por lo tanto, diseñará un proceso que indefectiblemente tenga ese resultado. Está claro que una forma de hacerlo es a través de la lotería. La gente compra todas las semanas varios billetes de lotería y el ganador se elige por sorteo mediante la extracción de un bombo de bolas con números. Todas las bolas que giran al azar están realizando el papel que les ha sido encomendado a la hora de arrojar un resultado general meridianamente claro y perfectamente diseñado.

Si analizamos la evolución en general, dista mucho de ser un proceso fortuito, ya que está fuertemente regulada por la selección natural y además arroja unos resultados hasta cierto punto predecibles.

Tal y como señaló Richard Dawkins en el prólogo a su libro *El relojero ciego*: “Una de las tareas que me he propuesto es acabar con esa idea tan extendida de que el darwinismo es una teoría que se basa en lo fortuito” (Dawkins, 1986). Numerosos ejemplos demuestran las limitaciones que se ejercen a lo largo del proceso evolutivo. Uno de ellos es el sorprendente fenómeno de la convergencia (Conway Morris, 2003). La convergencia es una evolución de varios linajes biológicos independientes hacia la misma vía bioquímica, estructura u órgano. Por ejemplo, los distintos tipos de ojo compuesto y ojo cámara han evolucionado más de 20 veces de forma independiente a lo largo del proceso evolutivo. Si la vida se desarrolla en un planeta con luz y oscuridad, es obvio que los ojos serán necesarios, y ese es el motivo por el cual, por muy compleja que sea la estructura de este órgano, continúa apareciendo de forma repetida a lo largo de toda la historia evolutiva. La convergencia no significa que todos los genes necesarios para los ojos evolucionen desde cero cada vez que este órgano aparece, sino que el genoma correspondiente evoluciona para crear unos ojos que supongan una adaptación para los organismos de un determinado nicho ecológico. Cuando los animales viven en cuevas durante mucho tiempo se da el proceso inverso, y pierden los ojos por no ser ya necesarios para su aptitud reproductora. La evolución es como un motor de búsqueda que encuentra las mismas soluciones de adaptación una y otra vez para el término “diseño del espacio” a lo largo de toda la historia evolutiva.

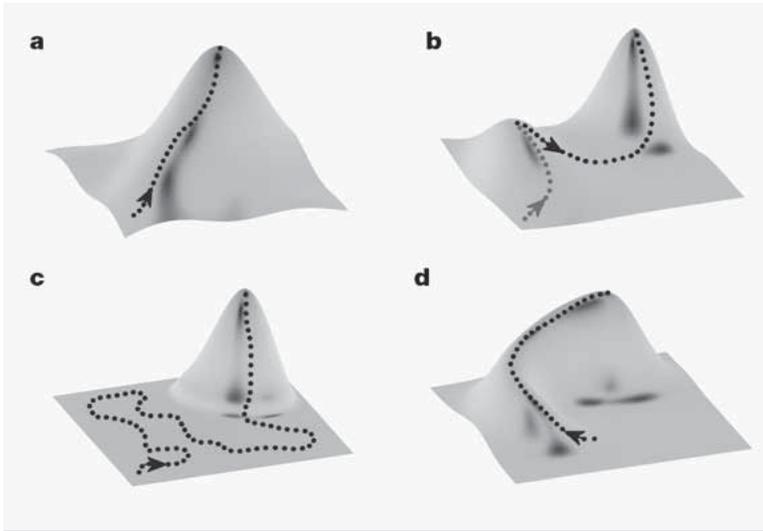
Ahora que conocemos cientos de secuencias de genomas de distintos organismos y que disponemos de la estructura de miles de proteínas en 3-D, resulta sorprendente pensar que si analizáramos todas las proteínas conocidas y sus motivos estructurales a partir de todos los genomas secuenciados hasta la fecha, encontraríamos que la mayor parte de ellos pueden asignarse a tan solo 1.400 familias de dominios proteicos; de estos, 200 de estos se encuentran presentes en todas las formas de vida. El motor de búsqueda de la evolución ha descubierto un elegante pero sumamente limitado repertorio de estructuras que subyacen a todas las formas de vida por complejas y diversas que sean (Alexander, 2008).

Otra forma de sofisticación biológica subyacente son los principios de interconexión, que parecen ser menos y más sencillos de lo que podían haber sido, lo

cual resulta sorprendente si tenemos en cuenta que en todas las células se producen complejas redes de interacciones entre miles de metabolitos, proteínas y ADN. Tal y como señala Uri Alon del Weizmann Institute: “Parece que las redes biológicas están formadas por tan solo un número limitado de patrones llamados motivos de red. (...) El mismo pequeño grupo de motivos de red descubierto en las bacterias se ha encontrado en las redes de regulación genética de distintos organismos, incluidos los animales y las plantas. Parece que la evolución ha “re-descubierto” los mismos motivos una y otra vez en distintos sistemas” (Alon, 2007).

Las vías evolutivas que pueden seguir las proteínas están muy limitadas. Un grupo de investigación de la Universidad de Harvard publicó en 2006 un ensayo titulado *Darwinian evolution can follow only very few mutational paths to fitter proteins* (La evolución darwinista puede seguir muy pocas rutas mutacionales hacia proteínas más aptas) (Weinreich *et al.*, 2006). La última frase del resumen del artículo resulta ciertamente interesante: “Hemos llegado a la conclusión de que la evolución de las proteínas, a grandes rasgos, se verá limitada de manera similar, por lo que la secuencia de proteínas que conforma la vida se podría reproducir o incluso predecir en gran medida”. A medida que avanza nuestro conocimiento científico de los mecanismos moleculares que subyacen al proceso evolutivo, resulta más común hablar de su orden, de sus limitaciones e incluso de su previsibilidad.

Otro ejemplo es el estudio de los llamados paisajes adaptativos, que en la actualidad desempeña un papel muy destacado en el discurso de la evolución. Tradicionalmente, este término se ha referido a representaciones topográficas de la adaptación de distintas poblaciones de organismos vivos a nichos ecológicos locales, pero el concepto es también aplicable a la estructura y la función de las enzimas. En este caso, las vías evolutivas para llegar a una función concreta de una enzima específica también son muy limitadas. Tal y como señalan los autores de un reciente artículo sobre este tema: “Que tan solo se favorezcan unas cuantas vías significa también que la evolución podría reproducirse o incluso predecirse mejor de lo que se creía” (Poelwijk *et al.*, 2007). La cuestión es que para llegar de A a B, solo hay una serie de caminos. Si se quiere escalar el monte suizo de Matterhorn no se puede hacer de cualquier forma, sino que existen una serie de rutas determinadas que marcan la ascensión.



Paisajes adaptativos moleculares. La adaptación se muestra como una función de la secuencia de aminoácidos: las líneas de puntos son las vías mutacionales hacia una mayor adaptación.

- a) Un único pico suave: las vías directas a la cima llegan a una adaptación cada vez mayor. b) Terreno accidentado con varias cimas: la vía negra presenta un descenso de la adaptación que reduce drásticamente sus posibilidades de evolución. La selección va en dirección equivocada a lo largo de la vía gris hasta una trampa evolutiva. c) Paisaje neutro: cuando es esencial que existan mutaciones neutrales existen pocas posibilidades de evolución. d) Paisaje con desvío:

El hecho de que existan vías en las que las mutaciones se revierten indica que un análisis de secuencias podría no mostrar determinadas mutaciones imprescindibles para la historia evolutiva (Reproducido con permiso de Macmillan Publishers Ltd. Poelwijk, F., *et al.*, Nature 445 (2007):383-86).

Al igual que sucede con las proteínas, los genes presentan también características biológicas subyacentes que limitan la ubicación y la forma de su evolución. La “materia prima” para la evolución proviene de mutaciones “aleatorias”, flujos genéticos y de la recombinación genética que se produce durante la formación de células germinales. Pero es importante destacar que, en este caso, esta aleatoriedad solo se traduce en que las variaciones genéticas se producen sin tener en cuenta las necesidades del organismo. Por el contrario, las variaciones genéticas causantes de la evolución no son “aleatorias” en el sentido de que cualquier tipo de variación en cualquier gen resulte válida. En realidad son genes fundamentales, esto es, aquellos que presentan muchas más probabilidades de desempeñar un papel clave en el cambio evolutivo, como el gen que tiene el increíble nombre de *shavenbaby* (bebé rapado) de las moscas de la fruta (*Drosophila*) (Stern y

Orgogozo, 2009). Estos genes actúan como genes de procesamiento, que codifican interruptores proteicos con paquetes enteros de información que se transmiten a continuación a los efectores. El gen *shavenbaby* regula la existencia y la distribución de unos finos tricomas que aparecen en la superficie de la larva de *Drosophila* por, con lo que sus mutaciones provocan la ausencia de estos pelitos (de ahí su nombre).

Este tipo de genes fundamentales posibilitan la evolución al regular todo un programa integrado de acontecimientos, en este caso haciendo que las células sean capaces de hacer crecer el pelo. Las mutaciones que se producen en las secuencias reguladoras de este gen controla la cantidad de proteína que se produce. Hasta el momento se han identificado alrededor de 350 de estos genes fundamentales en las plantas y en los animales. Tal y como comentaban los autores de un reciente artículo titulado “*Is Genetic Evolution Predictable?*” (“¿Puede predecirse la evolución?”).

“Algunos estudios recientes han demostrado que en el proceso evolutivo, no todos los genes son iguales. Las mutaciones relevantes desde un punto de vista evolutivo tienden a acumularse en genes fundamentales y dentro de estos, en lugares específicos. La evolución genética se ve limitada por la función de los genes, la estructura de las redes genéticas y la biología de poblaciones. Hasta cierto punto se puede predecir cuál será la base genética de la evolución” (Stern y Orgogozo, 2009).

Por lo tanto, a grandes rasgos, si analizamos la evolución no se puede decir que haya nada aleatorio, sino que, por el contrario, se trata de un proceso sumamente organizado cuyos resultados dependen enormemente de las necesidades de los organismos en relación a un entorno determinado. En la oposición entre lo fortuito y lo necesario, es este último el que gana. Esto no supone un argumento acerca de la existencia de Dios, pero la narrativa general de la evolución que tiene como resultado la aparición de unos seres conscientes e inteligentes capaces de responder al amor que Dios les profesa es perfectamente coherente con la idea de un Dios que tiene una serie de intenciones y objetivos para el mundo en general y para la humanidad en particular.

La cuestión del Génesis

La segunda objeción que con frecuencia se plantea a la postura que estoy defendiendo adopta la forma de una pregunta del tipo “¿Cómo podéis los cristia-

nos creer lo que cuentan los primeros capítulos del Génesis y a la vez en la teoría de la evolución?” Como respuesta, cabe recordar que la Biblia es en realidad una obra conformada por 64 libros escritos a lo largo de más de mil años y en la que se emplean más de 20 géneros literarios distintos, pero entre ellos no está el de los artículos científicos, con su preciso empleo de la terminología y el rigor con el que se trata su contenido, por el simple hecho de que no existieron hasta mediados del siglo XVII con la aparición de las primeras revistas científicas, más de 2.000 años después de que se escribiera el Génesis. Con lo que está claro que el primer capítulo del Génesis no es una obra científica, sino un ensayo teológico muy elaborado y con una estructura literaria concreta que recoge una serie de cuestiones radicalmente contrarias a los mitos creacionales de los babilonios y los sumerios, que eran los antagonistas de los judíos en el momento en que se finalizó el texto. De hecho, cabe hacer una lectura del Génesis 1.1-2.3 como un ataque polémico, y en algunos momentos incluso sarcástico, de estos mitos de la creación tan extendidos en Oriente Próximo entre los años 5.000 y 2.000 antes de Cristo (D. R. Alexander, 2001). El texto ridiculiza a los patéticos dioses y a las supersticiones de la época, lanza un ataque contra la fe en el poder de los cuerpos celestes y critica el determinismo basado en las predicciones astrológicas que, por otra parte, podemos encontrar también hoy en día en las páginas de los diarios y que tan lucrativas resultan para algunos.

El primer capítulo del Génesis relata la Creación de Dios de forma ordenada. En este relato no hay rastro del politeísmo de los relatos babilónicos, lleno de dioses guerreros, y por el contrario se presenta un Dios Creador del universo. En los demás mitos creacionales, son varios los dioses que acometen las tareas de la creación del mundo que se mencionan en la metafórica semana que se relata en el primer capítulo del Génesis, mientras que en este es el todopoderoso Dios de los hebreos monoteísta quien crea el mundo a partir de su palabra. La humanidad goza de una posición especial dentro de sus propósitos creativos. El orden creado se considera “bueno”, mientras que la humanidad “muy buena”. Además, se introduce la idea del día de descanso semanal, el Sabbath, como un aspecto clave de la creación divina (Wenham).

Los estudiosos judíos y cristianos más destacados sin excepción han interpretado la mayor parte de los primeros capítulos del Génesis como un relato figurado. El influyente Filón de Alejandría (o Filón el Judío, como también se le conocía), contemporáneo de Jesús y de Pablo, explica con detalle cómo los días en los que se lleva a cabo la Creación, la idea de “a imagen y semejanza de Dios”,

la historia de Adán y Eva y la descripción del Jardín del Edén son más “simbólicos que literales”, y no es que se trate de “relatos de ficción, sino de formas de convertir una idea en una imagen”. Algunos Padres de la Iglesia, como por ejemplo, Agustín de Hipona y Orígenes de Alejandría, también consideraron que la mayor parte de los primeros capítulos del Génesis eran un relato metafórico. La tendencia a otorgar a los primeros capítulos del Génesis el carácter de obra científica es reciente, concretamente de finales del siglo XX, como ya hemos comentado. El creacionismo de la Tierra Joven es una corriente del siglo XX procedente de los Estados Unidos y que no adopta su forma actual hasta principios de la década de los sesenta. Para realizar una lectura seria del Génesis es imprescindible tener presente el contexto histórico y literario de la obra, y no conferirle significados modernos claramente alejados de las intenciones del autor (Lucas, 2005).

CONCLUSIÓN

¿Tenemos que elegir entre Creación y evolución? No creo, al menos si tenemos en cuenta la concepción cristiana tradicional de la Creación. Llevo cuarenta años trabajando en el campo de la investigación biológica y nunca he constatado la más mínima contradicción entre ambos. En ningún momento he dejado de creer que Dios fuera el creador de todo aquello que nos rodea, del mismo modo que nunca he dejado de creer en la teoría de la evolución de Darwin. Se trata de dos narrativas complementarias para la misma realidad, una acerca de su mecanismo, y la otra sobre su significado, y ambas son necesarias.

REFERENCIAS

- Alexander, D. R. (2008). *Creation or Evolution - Do We Have to Choose?* Oxford: Monarch.
- Alexander, D. R. (2011). *The Language of Genetics - an Introduction.* Filadelfia: Templeton Foundation Press.
- Alexander, D., & Numbers, R. L. (2010). *Biology and ideology from Descartes to Dawkins.* Chicago, Ill.: University of Chicago Press.
- Alon, U. (2007). *Simplicity in Biology.* *Nature*, 446(7135), 497.
- Augustine (1982). *The Literal Meaning of Genesis.* Nueva York: Paulist Press.

- Brooke, J. H. (1991).** Science and religion: some historical perspectives. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Conway Morris, S. (2003).** “Life’s solution inevitable humans in a lonely universe”. Cambridge: Cambridge University Press, pp.[1] xxi, p.464.
- D. R. Alexander (2001).** Rebuilding the Matrix. Oxford: Lion
- Dawkins, R. (1986).** The Blind Watchmaker. Londres: Penguin, 1991.
- Dawkins, R. (1995).** River out of Eden: a Darwinian view of life. Londres: Weidenfeld & Nicolson.
- Dawkins, R. (2006).** The God Delusion. Londres: Bantam Press, p. 50.
- Foley, R. A.** Principles of Human Evolution. Oxford: Blackwell.
- G. M. Marsden (1984).** Understanding Fundamentalist Views of Science. Oxford: Oxford University Press, p. 101.
- Hannam, J. (2010).** God’s philosophers: how the medieval world laid the foundations of modern science. Londres: Icon Books.
- Lewin, B. (2008).** Genes IX. Sudbury, MA: Jones and Bartlett.
- Livingstone, D. N. (1987).** Darwin’s forgotten defenders: the encounter between evangelical theology and evolutionary thought. Grand Rapids, Mich. Edimburgo: W.B. Eerdmans, Scottish Academic Press.
- Lucas, E. (2005).** “Science and the Bible: Are They Incompatible?”. Science and Christian Belief, 17, p. 137-154.
- Moore, A. (1890).** The Christian Doctrine of God. Londres: John Murray.
- Moore, J. (1981).** The Post-Darwinian Controversies: A Study of the Protestant Struggle to Come to Terms with Darwin in Great Britain and America, 1870–1900 Cambridge: Cambridge University Press.
- Moore, J. R. (1979).** The Post-Darwinian Controversies: A Study of the Protestant Struggle to Come to Terms with Darwin in Great Britain and America, 1870-1900. Cambridge; Nueva York: Cambridge University Press, p. 79.

- Numbers, R. L. (1992).** *The Creationists: the Evolution of Scientific Creationism* [cTítulo de la portada]. Londres; Los Angeles; Berkeley: University of California Press.
- Poelwijk, F. J., Kiviet, D. J., Weinreich, D. M., & Tans, S. J. (2007).** “Empirical fitness landscapes reveal accessible evolutionary paths.” *Nature*, 445(7126), pp. 383-386.
- Ridley, M. (2004).** *Evolution*. Oxford: Blackwell.
- S. B. Carroll (2005).** *Endless Forms Most Beautiful*. Londres: Weidenfeld & Nicolson.
- Stenmark, M. (2001).** *Scientism: Science, Ethics and Religion*. Aldershot: Ashgate.
- Stern, D. L., & Orgogozo, V. (2009).** “Is genetic evolution predictable?” *Science*, 323(5915), pp. 746-751.
- Verheyen, E., Salzburger, W., Snoeks, J., & Meyer, A. (2003).** “Origin of the superflock of cichlid fishes from Lake Victoria, East Africa”. *Science*, 300(5617), p. 325-329.
- Weinreich, D. M., Delaney, N. F., Depristo, M. A., & Hartl, D. L. (2006).** “Darwinian evolution can follow only very few mutational paths to fitter proteins.” *Science*, 312(5770), pp. 111-114.
- Zimmer, C. (2006).** *Where Did We Come From?* Hove: Apple Press.

¿QUÉ APORTAN LAS GRANDES RELIGIONES A LA CONSERVACIÓN AMBIENTAL?*

Emilio Chuvieco

Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España

Breve CV

Emilio Chuvieco es actualmente catedrático de Geografía de la Universidad de Alcalá, donde dirige el máster y el programa de doctorado en Tecnologías de la Información Geográfica. Es miembro correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ha impartido cursos de postgrado en doce países. Ha sido investigador visitante en las Universidades de Berkeley, Nottingham, Clark, Cambridge, Santa Barbara, Maryland y el Centro Canadiense de Teledetección. Ha coordinado 26 proyectos de investigación competitivos y 20 contratos. Ha dirigido 27 tesis doctorales. Es coautor de 300 artículos y capítulos de libro y de 23 libros. Su principal línea de investigación se centra en las aplicaciones ambientales de la teledetección, especialmente en el ámbito de los incendios forestales y el cambio global. Recientemente ha iniciado otra línea de trabajo centrada en la ética ambiental y las actitudes religiosas ante la conservación ambiental.

Abstract

This paper analyzes relations between religious traditions and environmental conservation. On one hand, different approaches to God-human and nature relations are analyzed following the sacred texts of the main religions. On the other hand, the impacts of different religions on environmental conservation are studied by comparing the environmental performance index (EPI, an inte-

* Agradezco la revisión del texto y comentarios a Lucrecia Pettinari.

grated index that tries to summarize the conservation status of each country) for different groups of countries with clear social majority of a certain religion. Even though the analysis is preliminary, at least from the comparison of EPI values, a significant negative bias to Christian countries was not observed, which contradicts the environmental criticism to Christianity. Countries with a vast majority of Christians have not EPI values lower than countries with social majority of other religions, both for the full list of countries and for selected examples where comparisons between countries of similar *per capita* income and size were compared. It is remarkable the lack of correlation between *per capita* income and environmental performance for the Muslim countries, since high-income countries did not improve EPI values over poorer ones, which may imply that environmental issues have low priority in Muslim societies.

Palabras clave

Religión, conservación ambiental, ecología.

IMPORTANCIA DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

Resulta casi superfluo tener que demostrar que los problemas ambientales tienen una gran repercusión en la sociedad contemporánea, manifestada tanto en la atención que se les dedica en los medios de comunicación, como en las políticas públicas o las actividades empresariales. La etiqueta “verde” o “ecológico/a” es sinónimo de calidad y progreso, aunque no siempre se defina adecuadamente qué significa exactamente ese calificativo o se emplee de manera abusiva. Actualmente usamos alimentos, automóviles o electrodomésticos que se denominan ecológicos, ya sea porque implican un menor consumo de energía o porque se han realizado con procesos más cercanos a las condiciones naturales. Hasta el ocio se beneficia de este enfoque ambientalista, generándose nuevas formas de turismo o de entretenimiento (películas) que pueden calificarse también de “ecológicas”.

Por encima de estos planteamientos más o menos superficiales, es evidente que los problemas ambientales tienen actualmente una marcada presencia en la investigación científica, incluyendo una amplia variedad de cuestiones y de metodologías de análisis: desde la mejora en las fuentes de energía, hasta las técnicas para reducir su uso, desarrollar medios de producción menos contaminantes o analizar el impacto humano en los procesos naturales. En este último punto los

temas más tratados son los relacionados con el cambio climático, la biodiversidad, los procesos de deforestación o degradación de suelos, y la contaminación.

Este protagonismo de las cuestiones ambientales implica que los temas tratados tienen la suficiente relevancia para justificar la inversión económica y humana que le estamos dedicando. ¿Hasta qué punto esto es cierto? Por encima de los pronunciamientos más o menos catastrofistas, como científicos estamos obligados a llegar al fondo de la cuestión y evaluar en términos lo más honestos posibles cuál es la situación real del medioambiente, cuáles son los problemas más acuciantes y cuál es la jerarquía de acciones que recomendamos para reducirlos.

La tendencia a exagerar o repetir lugares comunes para reforzar un punto de vista es bastante común a muchas ideologías. El grado de indulgencia que tengamos con esa desviación de la realidad dependerá lógicamente de la magnitud de esa desviación, de las implicaciones que los datos expuestos tengan, y de nuestras posiciones ideológicas. Asumiendo que, como todo ser humano, no tengo una visión objetiva de las cosas, mi vocación universitaria me inspira a aproximarme lo más posible a la verdad de los temas que analizo, y suelo desconfiar de las presentaciones demasiado simplistas de problemas que son de suyo muy complejos. Es cierto que las hipérboles facilitan tomar decisiones que requieren sacrificios sociales y económicos, difícilmente aceptables si los problemas son de menor calado. Dicho de otra manera, si la sociedad no considera un problema como lo suficientemente grave, no suele moverse en una dirección que implique costes, económicos o de otro tipo, considerables. A veces esto lleva a introducir simplificaciones abusivas, mezclando observaciones con hipótesis, datos puntuales con tendencias, y fenómenos localizados con generalizaciones, a veces bastante gratuitas.

Esos planteamientos, que podríamos llamar catastrofistas, se realizan a veces con el noble propósito de mover a una acción, ciertamente necesaria, pero de menor impacto de lo que se anuncia, lo que contribuye a generar desconfianza en quienes son impelidos a tomar medidas que afectan a sus propias vidas. Algunos ejemplos recientes podrían ser los vaticinios con ocasión de la gripe aviar o de las “vacas locas”, que finalmente se confirmaron como mucho menos drásticos de lo que se preveían. Este es también el caso de las cifras sobre las personas por debajo del umbral de la pobreza o las que sufren carencias alimentarias. Indicar que hay 500 millones de personas que mueren de hambre en el planeta mueve más a una sociedad que cifrar ese número en, por ejemplo, 50. En mi opinión, con que hubiera un solo habitante del planeta muriendo por carencia de recursos que otros

países tenemos en abundancia, bastaría para tomar decisiones drásticas sobre un problema que puede resolverse. Sin embargo, los seres humanos parece que necesitamos grandes cifras para cambiar nuestra jerarquías.

En este ámbito de la protección ambiental no me cabe duda de que las decisiones que afectan a nuestro modo de vida en el planeta son graves y necesarias. El estado real de deterioro de la Tierra, sin embargo, no siempre corresponde a la visión apocalíptica que aparece en algunos medios de comunicación, o en escritos de pensadores ambientales, tal vez más preocupados por el argumento y menos por los datos empíricos, lo que da lugar a una excesiva simplificación de la realidad. Podríamos poner muchos ejemplos de estas hipérboles, sobre todo en forma de predicciones realizadas hace ya algunas décadas que se han tornado completamente erróneas, como fue el caso del informe al Club de Roma sobre los límites al crecimiento (Meadows *et al.*, 1972) o de los realizados por Paul Ehrlich (1968) sobre el crecimiento demográfico.

Revisar el estado actual de los problemas ambientales más conocidos excedería notablemente los límites de este artículo. A mi modo de ver, los referidos al cambio climático, aun siendo también afectados por ese catastrofismo al que me refería, pueden considerarse suficientemente hondos, diversos y potencialmente peligrosos como para justificar el enorme esfuerzo científico, económico y legal que se está haciendo actualmente. Las tendencias del calentamiento terrestre parecen bastante irrefutables, ya que se observan desde disciplinas científicas muy variadas (climatología, glaciología, oceanografía, ecología, etc.). Su explicación también parece bastante convergente, con alta probabilidad de ser causada por las emisiones antrópicas (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007; National Research Council, 2010). Sus efectos resultan más discutibles, en función del progreso que vamos haciendo en los muy complejos modelos de predicción climática, pero son potencialmente muy importantes. Su solución también es muy compleja, si bien priman las medidas que tienden a una utilización menos intensiva de los combustibles fósiles, ya sea por el recurso a otras fuentes de energía, ya por reducir la intensidad energética de nuestra actividad.

En éste, como en la mayor parte de los problemas ambientales que tienen origen en la actividad humana, las soluciones llevan consigo cambios en nuestro modo de vida, hacia una utilización más armónica de los recursos, que garantice su conservación. En este marco, las cuestiones ambientales conectan directamente con nuestros valores éticos y morales. La visión que cada uno tenga del ser humano

y de su posición en el cosmos marcará el alcance de esas decisiones. Las posturas pueden ser tan variadas como las posiciones antropológicas que las avalen. En un extremo, mantener la explotación actual de los recursos, pues se asume que el hombre tienen capacidad absoluta de utilizar el ambiente a conveniencia; en el contrario, considerar que lo mejor que podemos hacer por el medio ambiente es autodestruirnos como especie, ya que el hombre es el principal cáncer del planeta.

La orientación de los individuos o de la sociedad hacia una u otra posición antropológica está notablemente influida por sus tradiciones culturales, entre las cuales un componente clave es la visión religiosa predominante. Las religiones suponen planteamientos cosmológicos sobre la posición del hombre en relación con Dios, con los otros hombres y con el medio que le rodea. De esos planteamientos se deducirán unos principios éticos y morales determinados, que explicarán –al menos parcialmente– unas determinadas conductas.

Por esta razón, me parece de gran interés estudiar qué implicaciones tienen las grandes religiones sobre nuestras actitudes ante la conservación ambiental. El propósito de este artículo es doble: por un lado, hacer un breve repaso de cuáles son las tradiciones religiosas más comunes en la relación hombre-naturaleza, y, por otro, introducir un análisis crítico sobre hasta qué punto esos planteamientos religiosos están afectando a la legislación y los indicadores ambientales de algunos países representativos. Me centraré en el cristianismo, judaísmo, Islam, hinduismo y budismo.

RELIGIÓN Y CONSERVACIÓN AMBIENTAL

Las interacciones entre religión y conservación ambiental se pueden plantear a dos niveles. Por un lado, las religiones proporcionan una visión cosmológica del papel del ser humano en la Creación y de sus relaciones con otros seres creados. Por otro lado, facilitan una serie de directrices éticas que llevan consigo unos hábitos de conducta. En ambos casos, tienen implicaciones ambientales, ya que un determinado planteamiento cosmológico debería implicar formas de hacer concretas, asumiendo lógicamente que los creyentes sean consecuentes con sus creencias. Esta relación fue subrayada por los promotores de una serie de seminarios sobre religión y ecología que promovió la Universidad de Harvard a inicios de la pasada década. En el prólogo al primero de los libros publicados con ocasión de esos seminarios, se señalaba que las “... religiones proporcionan historias interpretativas sobre quiénes somos, qué es la naturaleza, de dónde venimos y a dónde vamos.

Esto comprende una visión global de la sociedad. Las religiones también sugieren cómo deberíamos tratar a otros seres humanos y cómo deberíamos relacionarnos con la naturaleza. Esos valores configuran las orientaciones éticas de la sociedad. En consecuencia, las religiones generan visiones del mundo y normas éticas que están en el fondo de las actitudes fundamentales y de los valores de las diferentes culturas y sociedades” (Tucker y Grim 2003, p. XVI).

Por ejemplo, si un creyente considera que la naturaleza es sagrada, su actitud ante ella será completamente distinta a si piensa que Dios le ha dado la naturaleza para su uso absoluto. En definitiva, nos interesa revisar qué indican las grandes religiones sobre el carácter de la naturaleza, sobre lo que Dios encarga al hombre en relación con el uso de los recursos naturales. ¿Cuál es el papel del hombre en la Creación?, ¿cuáles son sus relaciones con las demás criaturas?, o ¿en qué medida es responsable ante Dios de las demás criaturas? son preguntas que llevan consigo una explicación sobre las relaciones del hombre con el medio. Si existe una consistencia ética con esos planteamientos cosmológicos, adoptar uno u otro planteamiento debería llevar consigo diferencias significativas en las relaciones prácticas de los seres humanos con el medio ambiente que les rodea. A este punto volveremos en la última sección de este trabajo.

Asumir que los planteamientos religiosos tienen una implicación profunda con el uso de los recursos está detrás de la tesis de diversos autores que durante los años setenta acusaron a las religiones monoteístas, singularmente al cristianismo, de la crisis ecológica actual, al conceder al hombre un papel central, superior a los demás seres creados, que habría llevado a una actitud de dominio incontrolado. El debate se inició con la publicación de un artículo de Linn White en la revista *Science* (White, 1967). Según esta tesis, el cristianismo, además de facilitar las herramientas tecnológicas para permitir la destrucción de la naturaleza, propone una visión antropológica basada en una preeminencia ilimitada del ser humano sobre las demás criaturas, al ser creado a imagen y semejanza de Dios, lo que supone una completa subordinación de la naturaleza respecto al ser humano. Este planteamiento sería exclusivo del cristianismo, respecto a otras tradiciones religiosas, mucho más respetuosas con el medio: “El cristianismo, en contraste absoluto con el paganismo antiguo y las religiones de Asia (a excepción del Zoroastrismo), no solo estableció un dualismo entre la naturaleza y el hombre, sino también insistió en que es voluntad de Dios que el hombre explote la naturaleza para sus propios fines” (White, 1967, p. 1205). Esa actitud negativa se habría reforzado por el empeño que puso el cristianismo en suprimir el paganismo en los primeros siglos de su ex-

pansión, principalmente en los pueblos escasamente romanizados. El paganismo incluye frecuentemente la adoración de elementos naturales, como determinados parajes, animales o plantas, lo que supone una forma de idolatría, severamente rechazada en la Biblia. Concluía White que era preciso cambiar el paradigma cultural, de origen cristiano pero que sigue presente incluso en sociedades que no se consideran especialmente religiosas, re-enfocando nuestro protagonismo en la relación con el medio natural que nos rodea. “Puesto que las raíces de nuestro problema son principalmente religiosas, el remedio debe también ser esencialmente religioso, lo llamemos así o no” (White, 1967, p. 1207). No llega a recomendar este autor la repudia del cristianismo a favor de otras religiones, sino más bien una reflexión que permita alterar la visión antropocéntrica a favor de una concepción más equilibrada con el medio.

Sin entrar ahora en la contestación a estas críticas, que han dado lugar a un enorme debate filosófico-teológico en las últimas décadas (casi 2.000 publicaciones, según mis últimas consultas), el planteamiento de White subraya esa fuerte conexión entre religión y conservación ambiental, que es el hilo conductor de este trabajo. Además, y siguiendo ese planteamiento, algunas religiones fomentarían la actitud de dominio ante el medio, frente a otras, típicamente se citan las orientales (hinduismo y budismo), que serían mucho más amables con el medio ambiente. Veremos luego hasta qué punto esto puede demostrarse con indicadores de calidad ambiental en países representativos de distintas tradiciones religiosas. Antes de ello, haremos una clasificación de las principales tradiciones religiosas ante la conservación ambiental.

TRADICIONES COSMOLÓGICAS EN LA RELACIÓN DIOS-HOMBRE-NATURALEZA

En un análisis simplista podríamos concluir que cada religión lleva consigo un planteamiento cosmológico específico, que explica las relaciones entre Dios, los seres humanos y la naturaleza, y supone unas consecuencias éticas particulares, muy distintas entre ellas al arrancar de tradiciones culturales diversas. Sin embargo, cuando las cosas se contemplan con más detalle, se encuentran visiones cosmológicas comunes a distintas religiones, fundadas sobre visiones compartidas de las relaciones Dios-hombre-naturaleza, lo que permite predecir una fructífera colaboración entre ellas en el ámbito de la conservación ambiental. Por otro lado, tampoco es cierto que cada religión tenga

una cosmología única, puesto que en el seno de cada una pueden descubrirse tradiciones que conviven con otras en el espacio y en el tiempo. En pocas palabras, me parece que ni las tradiciones cosmológicas pueden atribuirse en exclusiva a determinadas religiones, ni las religiones tienen tradiciones cosmológicas exclusivas. Analizando los textos sagrados y la tradición histórica de cada religión se observan distintas opciones cosmológicas, si bien algunas pueden resultar más dominantes en una religión que en otra. La figura 1 incluye un resumen de esas tradiciones cosmológicas, que tuvimos ocasión de presentar en un trabajo reciente (Chuvieco, 2012).

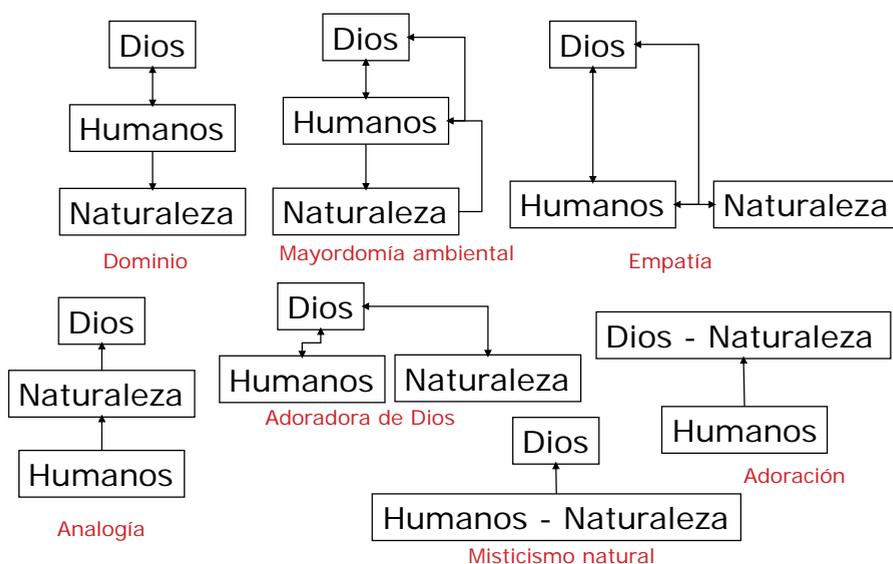


Figura 1. Resumen de tradiciones religiosas en la relación Dios-hombre-naturaleza

En primer lugar, podemos identificar como tradición cosmológica ligada a varias religiones el **dominio**, que supone considerar al ser humano como único referente de relación religiosa. Según esta tradición, Dios concede a los hombres un papel de gestión absoluta sobre los demás seres creados, que no tendrían otro sentido que servir a las necesidades del hombre. Las únicas limitaciones en este uso serían el respeto a las necesidades de otros humanos, tanto presentes como futuros. Esta postura aparece en la tradición judeo-cristiana, si seguimos una interpretación literal del primer capítulo del Génesis: “Sed fecundos y multiplicaos y henchid la Tierra y sometedla; mandad en los peces del mar y en las aves

de los cielos y en todo animal que serpea sobre la Tierra” (Gen 1, 28). Párrafos con similar interpretación aparecen en otros lugares de la Biblia: “¿Qué es el hombre para que de él te acuerdes, el hijo de Adán para que de él te cuides? Apenas inferior a un dios le hiciste, coronándole de gloria y de esplendor; le hiciste señor de las obras de tus manos, todo fue puesto por ti bajo sus pies: ovejas y bueyes, todos juntos, y aun las bestias del campo, y las aves del cielo, y los peces del mar, que surcan las sendas de las aguas.” (Salmo 8:4-8). Solo los humanos son imagen de Dios y solo ellos son libres. Otras religiones monoteístas siguen consideraciones similares, como es el caso del Islam, que centra su mensaje en las relaciones entre Dios y los hombres: “¡Hombres! Servid a vuestro Señor, que os ha creado, a vosotros y a quienes os precedieron. Quizás, así, tengáis temor de Él. Os ha hecho de la Tierra lecho y del cielo edificio. Ha hecho bajar agua del cielo, mediante la cual ha sacado frutos para sustentaros” (Corán, Sura 2, 21-22).

La segunda tradición cosmológica sería la **mayordomía** o administración ambiental. En este enfoque el dominio del hombre sobre la naturaleza no es absoluto, sino delegado por un mandato de Dios, que cede al hombre la administración de unos recursos que no le pertenecen y reclama posteriormente la responsabilidad sobre su empleo. Varios pasajes de los textos bíblicos apoyan este planteamiento, comenzando por el segundo capítulo del Génesis, que matiza y facilita la interpretación del primero: “Yahveh Dios tomó al hombre y lo estableció en el Jardín del Edén para cultivarlo y cuidarlo” (Génesis 2, 7-15). Para cuidarlo, no para explotarlo indiscriminadamente, pues la Tierra no pertenece al hombre: “... la Tierra no puede venderse para siempre, porque la Tierra es mía, ya que vosotros sois para mí como forasteros y huéspedes” (Levítico 25:23). Este es el planteamiento cosmológico más extendido actualmente entre los cristianos, que consideran un planteamiento radical de dominio más como consecuencia del pecado original, que como voluntad original de Dios: “El hombre parece, a veces, no percibir otros significados de su ambiente natural, sino solamente los que sirven a los fines de un inmediato uso y consumo de las cosas. En cambio era voluntad del Creador que el hombre se pusiera en contacto con la naturaleza como “dueño” y “custodio” inteligente y noble, y no como “explotador” y “destructor” sin ningún reparo” (Juan Pablo II, 1994). En esta misma línea pueden citarse algunos textos del Corán, especialmente los referidos al uso responsable del agua (Ozdemir, 2003). También encaja este planteamiento en las tradiciones hinduistas o budistas, que muestran un fuerte convencimiento sobre la necesidad de cuidar la Tierra (Deva Diwivedi, 2003).

La tercera tradición religiosa puede denominarse “**empatía**” y supone que las acciones humanas tienen consecuencia sobre la naturaleza, pues el hombre es de alguna forma el portavoz ante Dios de la Creación. En este contexto, nuestros pecados implican un deterioro de la naturaleza, que se ve afectada por nuestra rebeldía a Dios. Esta tradición está presente en el relato bíblico de la caída original, donde la Tierra es maldecida por la acción humana: “Por haber escuchado la voz de tu mujer y comido del árbol del que yo te había prohibido comer, maldito sea el suelo por tu causa: con fatiga sacarás de él el alimento todos los días de tu vida. Espinas y abrojos te producirá, y comerás la hierba del campo” (Génesis 3, 17-19). El desorden humano impacta a la Creación: “Escuchad la palabra de Yahveh, hijos de Israel, que tiene pleito Yahveh con los habitantes de esta Tierra, pues no hay ya fidelidad ni amor, ni conocimiento de Dios en esta Tierra; sino perjurio y mentira, asesinato y robo, adulterio y violencia, sangre que sucede a sangre. Por eso, la Tierra está en duelo, y se marchita cuanto en ella habita, con las bestias del campo y las aves del cielo; y hasta los peces del mar desaparecen” (Oseas 4, 1-3). En consecuencia, el mundo necesita la redención que necesita el propio ser humano: “Pues la ansiosa espera de la Creación desea vivamente la revelación de los hijos de Dios (...) Pues sabemos que la creación entera gime hasta el presente y sufre dolores de parto. Y no solo ella; también nosotros, que poseemos las primicias del Espíritu, nosotros mismos gemimos en nuestro interior anhelando el rescate de nuestro cuerpo” (Romanos 8, 19-21). En la cultura hindú también puede rastrearse esta relación empática entre hombre y naturaleza, señalándose cómo la acción perversa de los hombres es responsable de los desastres naturales (Narayan, 2003). Finalmente, el budismo considera asimismo que existe una cierta comunidad entre humanos y naturaleza, puesto que el mal comportamiento humano afecta al rendimiento de la Tierra: “El arroz apareció espontáneamente sobre la Tierra y, a consecuencia de la pereza, la gente comenzó a almacenar comida en lugar de recolectarla para cada comida. Como consecuencia, el crecimiento de la comida no era suficiente para la demanda, así que la Tierra se dividió entre las familias. Después de que la propiedad privada se extendiera, la gente más avariciosa comenzó a robar de las Tierras de los demás. Cuando ellos se dieron cuenta, negaron que habían robado (...) La riqueza de la Tierra disminuyó y el arroz que crecía espontáneamente desapareció. La gente tuvo que roturar la Tierra para cultivar arroz. Ese grano tenía una cáscara que era necesario limpiar para poder comerlo” (Thakur, 2003).

La cuarta tradición cosmológica que hemos identificado es la **analogía**. Supone que para el creyente el mundo que le rodea es una imagen de Dios, por lo que estudiando al mundo podemos entender mejor algunas de las perfecciones divinas. En suma, la naturaleza es un camino para conocer a Dios, que se manifiesta no solo en su palabra, sino también en sus obras. Esta tradición es muy clara en la Revelación judeo-cristiana. Por ejemplo, se lee en el libro de la Sabiduría: “Y si fue su poder y eficiencia lo que les dejó sobrecogidos, deduzcan de ahí cuánto más poderoso es Aquel que los hizo; pues de la grandeza y hermosura de las criaturas se llega, por analogía, a contemplar a su Autor” (13, 4-5). Jesús utilizó muchas analogías naturales en su predicación (lirios, palomas, mostaza, trigo...), y la analogía ha sido tradicionalmente un soporte de la teología natural en los países cristianos: “Porque lo invisible de Dios, desde la creación del mundo, se deja ver a la inteligencia a través de sus obras: su poder eterno y su divinidad” (Romanos, 1, 20). El Islam también incluye un claro aprecio al mundo exterior como imagen de Dios: “En la creación de los cielos y de la Tierra y en la sucesión de la noche y el día hay, ciertamente, signos para los dotados de intelecto que recuerdan a Alá de pie, sentados o echados, y que meditan en la creación de los cielos y de la Tierra: ‘¡Señor! No has creado todo esto en vano’” (Corán, Sura 3, 190). También los textos hinduistas lo reflejan de modo muy poético: “En el reino, los ríos son las venas de la Persona Cósmica y los árboles son los pelos de su cuerpo. El aire es Su Respiración, el océano es su cintura, las colinas y montañas son sus huesos apilados y las edades que pasan son sus movimientos” (Srimad Bhagwat: citado por Narayan 2003, p. 33).

Un paso más en el reconocimiento de la trascendencia de la naturaleza es su capacidad de rendir culto a Dios, independiente de que esté o no asociada a la acción humana. Esta tradición asume que la naturaleza también es “**adoradora de Dios**”, que cumple un fin intrínseco independiente de su asociación con los hombres. La tradición judeo-cristiana también recoge algunos textos interesantes que avalan esta postura. El relato de la Creación que hace el Génesis indica en varias ocasiones que Dios vio lo creado y que era bueno (Gen. 1:1, 1:12, 1:13, 1:18...), incluso antes de crear a los seres humanos, lo que indica que la naturaleza tiene también un valor intrínseco, que fue querida directamente por Dios. El Salmo 148 resulta especialmente relevante en este sentido, al tratarse además de uno de los textos más empleados en la liturgia cristiana: “¡Alabad a Yahveh desde los cielos, alabadle en las alturas, alabadle, ángeles suyos todos, todas sus huestes, alabadle! ¡Alabadle, Sol y Luna, alabadle todas las estrellas de luz, alabadle, cielos de los cielos, y aguas

que estáis encima de los cielos! (...) ; Alabad a Yahveh desde la Tierra, monstruos del mar y todos los abismos, fuego y granizo, nieve y bruma, viento tempestuoso, ejecutor de su palabra, montañas y todas las colinas, árbol frutal y cedros todos, fieras y todos los ganados, reptil y pájaro que vuela, reyes de la Tierra y pueblos todos, príncipes y todos los jueces de la Tierra” (Salmo 148, 1-13). También el Islam recoge algunos párrafos que pueden acogerse a esta tradición cosmológica: “Le glorifican los siete cielos, la Tierra y todo cuanto hay en ellos. No existe nada que no Le glorifique con alabanzas” (Corán, Sura 17, 44).

El siguiente nivel en la consideración central de la naturaleza es lo que podríamos denominar tradición del “**misticismo natural**”, en donde la naturaleza se considera hermanada con la humanidad en su glorificación de Dios. El ejemplo más nítido de esta postura es San Francisco de Asís, que muestra de modo hermosamente poético la valoración de las manifestaciones de la divinidad que encuentra en las criaturas. Sugiere que el espíritu humano dé gloria a Dios por las criaturas, alabando al Creador por el gozo de contemplar lo que ha creado. Lo expresa excelentemente en el cántico del hermano Sol, escrito en torno a 1225: “Loado seas, mi Señor, con todas tus criaturas, especialmente el señor hermano Sol, el cual es día, y por el cual nos alumbras. Y él es bello y radiante con gran esplendor, de Ti, Altísimo, lleva significación. Loado seas, mi Señor, por la hermana Luna y las estrellas, en el cielo las has formado luminosas y preciosas y bellas. Loado seas, mi Señor, por el hermano viento, y por el aire y el nublado y el sereno y todo tiempo, por el cual a tus criaturas das sustento. Loado seas, mi Señor, por la hermana agua, la cual es muy útil y humilde y preciosa y casta. Loado seas, mi Señor, por el hermano fuego, por el cual alumbras la noche, y él es bello y alegre y robusto y fuerte. Loado seas, mi Señor, por nuestra hermana la madre Tierra, la cual nos sustenta y gobierna, y produce diversos frutos con coloridas flores y hierba”. El judaísmo también manifiesta algunas tendencias similares al misticismo natural, particularmente en la tradición jasidista (Schwartz, 2002).

Finalmente, conviene considerar que también hay una tradición religiosa que identifica a Dios con la naturaleza y, por tanto, convierte la naturaleza o parte de ella en un objeto de culto religioso. Esto sería más característico de las religiones primitivas, muy dependientes de las inclemencias naturales. Es común entre los pueblos nativos de América (Berry, 1988) y en las religiones pre-cristianas europeas (celtas, germánicas...), así como en algunas tradiciones hinduistas. En la literatura védica, por ejemplo, el cielo es nuestro padre y la Tierra nuestra madre, y comúnmente se personifican en las diosas Bhumi o Prithvi. El Sol da

la fertilidad a la Tierra, trayendo energía y vida. Esta tradición cosmológica es expresamente rechazada por las religiones monoteístas, por tratarse de un manifiesto de idolatría. El Antiguo Testamento lo define con claridad: “No habrá para ti otros dioses delante de Mí. No te harás escultura ni imagen alguna, ni de lo que hay arriba en los cielos, ni de lo que hay abajo en la Tierra, ni de lo que hay en las aguas debajo de la Tierra. No te postrarás ante ellas ni les darás culto” (Deuteronomio 5: 7-10). De la misma forma, se muestra en el Islam, como señala claramente el primer sura del Corán: “En nombre de Allah, el compasivo y misericordioso. Toda la gloria sea para Allah, el Señor de los mundos. El compasivo, el misericordioso, maestro del día del Juicio. O Allah! A Ti solo adoramos y a Ti solo solicitamos ayuda” (Coran 1, 1-5).

IMPACTOS SOBRE LA ACTUACIÓN

Hasta qué punto estas tradiciones cosmológicas afectan a las prácticas conservacionistas de los creyentes es una cuestión muy difícil de dilucidar. Es obvio que toda religión lleva consigo unos estándares morales, que suponen catalogar unos hábitos de conducta como virtuosos o reprobables. Asimismo, cualquier religión incluye una cierta búsqueda de la excelencia moral, que supone argumentos adicionales para aceptar renunciaciones a las propias apetencias y una promoción de actividades benéficas. Ambas son de gran importancia en los temas conservacionistas, aunque no se hayan desarrollado con este enfoque. Por ejemplo, la renuncia a ciertos estándares de consumo, que tiene un gran impacto ambiental, puede fortalecerse desde un planteamiento religioso que considerara el desprendimiento voluntario de lo material como una virtud deseable. Como es lógico, las implicaciones concretas de esa actitud van a depender de la solidez de las convicciones religiosas de las personas (hasta qué punto sean consecuentes con sus ideas religiosas), pero no cabe duda de que la religión jugará en este terreno a favor de la conservación ambiental.

Por ejemplo, en la tradición cristiana la pobreza no solo es un estado económico, sino principalmente una virtud, que lleva a ser capaz de renunciar a un bien material accesible, ya sea para asistir a otra persona en necesidad, ya para liberar el espíritu de preocupaciones materiales innecesarias. El ejemplo de Jesucristo que “siendo rico, por vosotros se hizo pobre a fin de que os enriqueciérais con su pobreza” (2 Corintios, 8: 9), compele a cualquier cristiano a llevar una vida sobria, rechazando, por ejemplo, la adquisición de bienes superfluos.

Esta actitud resulta extrema en aquellos cristianos que deciden llevar una vida de total renuncia a la posesión material (los monjes que toman voto de pobreza, por ejemplo), pero debería presentarse en todos los cristianos. También aparece en devotos de otras religiones, que consideran los bienes materiales innecesarios como un obstáculo al progreso espiritual. La extensión de este planteamiento tendría obvias implicaciones ambientales, reduciendo notablemente el consumo innecesario y la huella ecológica de nuestra actividad. Lo mismo cabe decir de otros hábitos de conducta que tienen base religiosa, como sería el veganismo de los hindúes, que reduce notablemente la necesidad de recursos naturales para la alimentación. En cualquier caso, diversos líderes religiosos han subrayado la importancia de dar una perspectiva moral a la solución del problema ecológico, basada en un cambio en los estilos de vida. En una encíclica reciente, el actual Pontífice señalaba que: “es necesario un cambio efectivo de mentalidad que nos lleve a adoptar nuevos estilos de vida, a tenor de los cuáles la búsqueda de la verdad, de la belleza y del bien, así como la comunión con los demás hombres para un crecimiento común, sean los elementos que determinen las opciones del consumo, de los ahorros y de las inversiones” (Benedicto XVI, 2009, n. 51).

CREENCIAS RELIGIOSAS Y CONSERVACIÓN AMBIENTAL: UN ENSAYO BASADO EN INDICADORES

Previamente hemos comentado que algunos autores consideran la creencia religiosa como origen de los problemas ambientales, achacando –más específicamente– al cristianismo el haber dado soporte cosmológico a la explotación indiscriminada del planeta. Hemos visto que de la lectura de los textos sagrados de las religiones más extendidas no puede extraerse una interpretación única de las relaciones entre hombre y naturaleza, sino que conviven tradiciones cosmológicas muy diversas. Bajo ese punto de vista, no podríamos culpar al cristianismo de un mayor deterioro ambiental, puesto que la tradición de dominio ni es exclusiva ni es única en esta religión. La constatación de hasta qué punto esas otras tradiciones cosmológicas cristianas han jugado un papel destacado o no, o en qué medida se presentan en otras religiones, debería evidenciarse en las diferencias en el nivel de conservación de los recursos naturales que encontramos en países con distinta tradición religiosa. Si los temas ambientales son importantes para una religión y si esa religión influye significativamente en un determinado país, ese país debería mostrar unos indicadores ambientales distintos

a los que podríamos encontrar en otros países con otras tradiciones religiosas. En definitiva, podríamos preguntarnos si es diferente el estado de conservación ambiental en países con mayoría social cristiana-islámica-budista-hindú. Si fuera así, podríamos concluir que hay religiones más conservacionistas que otras. Si la respuesta fuera negativa, deberíamos indicar que, o bien el conservacionismo no es relevante para la religión, o bien que la religión no es relevante socialmente, puesto que esos postulados ambientales no se estarían llevando a la práctica.

Naturalmente esto es una cuestión muy difícil de responder. En primer lugar, porque no es trivial medir el grado de creencia de un país, salvo a partir de encuestas o de indicadores indirectos de práctica religiosa externa; en segundo, puesto que no existe un indicador único del grado de conservación ambiental de un país, y en tercero, porque ese estado de conservación ambiental no solo depende de su religión sino de otros factores de control externo, como el nivel tecnológico o económico o el nivel de gobernanza.

Conscientes de esas limitaciones, presentamos aquí un primer ensayo de acercamiento a ese problema, que al menos podría servir para analizar si son tan evidentes los impactos de las tradiciones religiosas sobre la actual situación ambiental. El planteamiento de fondo ha sido comparar indicadores ambientales entre países con tradiciones religiosas mayoritarias y con nivel económico similar para analizar si se evidenciaban diferencias significativas entre ellos.

Las fuentes de nuestro análisis son dos:

1) Para el nivel de creencia religiosa, se han tomado las fuentes sociológicas más aceptadas, que coinciden con la percepción común sobre la preminencia religiosa de cada país. Los datos cuantitativos se han tomado de una amplia cantidad de fuentes, principalmente de la CIA World Factbook, el Departamento de Estado de EE.UU., la encuesta Gallup y la de la Pew Foundation (todas ellas recogidas en: http://en.wikipedia.org/wiki/Religions_by_country, última entrada en abril de 2012). Para el análisis comparativo hemos seleccionado únicamente los países con una religión mayoritaria de acuerdo con los datos para 2007, entendiendo por ello los países en los que esa religión supera el 65% de su población. La Tabla 1 incluye la relación de los países elegidos. Los no incluidos en esta relación, se han recogido en la categoría Otros.

Tabla 1. Clasificación de países por su religión mayoritaria¹

RELIGIÓN	PAÍSES
Budismo	Bután, Camboya, Japón, Laos, Myanmar, Singapur, Tailandia, Vietnam
Cristianismo	Alemania, Angola, Antigua y Barbuda, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Belarus, Belize, Bolivia, Botswana, Brasil, Bulgaria, Burundi, Canadá, Republica Centroafricana, Chile, Colombia, Congo, Costa Rica, Croacia, Cuba, Chipre, Rep. Dem. Congo, República Dominicana, Ecuador, EE.UU., El Salvador, Eslovaquia, Eslovenia, España, Filipinas, Guinea Ecuatorial, Gabón, Georgia, Ghana, Grecia, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Jamaica, Kenia, Latvia, Lituania, Luxemburgo, Macedonia, Malawi, Malta, México, Moldova, Namibia, Nicaragua, Noruega, Panamá, Papúa Nueva Guinea, Paraguay, Perú, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rumania, Ruanda, Islas Salomón, Sudáfrica, Swazilandia, Suecia, Uganda, Ucrania, Uruguay, Venezuela, Zambia, Zimbabue.
Hinduismo	India, Nepal, Sri Lanka.
Judaísmo	Israel.
Islam	Albania, Argelia, Azerbaiyán, Bahrain, Bangladesh, Brunei Darussalam, Djibouti, Egipto, Gambia, Guinea, Indonesia, Iran, Iraq, Jordán, Kuwait, Kirgizstan, Libia, Jamahiriya, Maldivas, Mali, Mauritania, Marruecos, Níger, Omán, Pakistán, Qatar, Arabia Saudí, Senegal, Sudán, Siria, Tayikistán, Túnez, Turquía, Turkmenistán, Uzbekistán, Yemen.

¹Hemos obviado los países de población poco significativa (< 50.000 habitantes).

2) En cuanto al nivel de conservación ambiental de los países, hemos utilizado un índice de calidad ambiental denominado Environmental Performance Index (EPI: <http://epi.yale.edu/> última entrada Abril 2012). Este índice se elabora por el Center for Environmental Law & Policy de la Universidad de Yale desde 2006 (empleamos aquí la edición de 2010), en colaboración con el Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) de la Universidad de Columbia, el World Economic Forum y el Joint Research Centre de la Unión Europea. Incluye 25 indicadores generados para 163 países, tomados de las fuentes más fidedignas posibles (Emerson *et al.*, 2010). El índice global, que se mide en una escala de 0 (peor) a 100 (mejor) se obtiene ponderando esos 25 indicadores en función de su importancia para conseguir

unos objetivos idóneos señalados por los especialistas. Los indicadores, a su vez, se normalizan en función de la proximidad al objetivo idóneo en cada uno de ellos. El EPI se descompone en una serie de categorías de política ambiental, que se dividen en dos grandes grupos: salud ambiental y salud de los ecosistemas. Cada uno de esos dos grupos está dividido en varios aspectos (contaminación del aire, enfermedades, agua, biodiversidad, etc.), que se concretan en 25 indicadores cuantitativos (acceso a agua corriente o sanitarios, contaminación urbana, emisiones de óxidos de nitrógeno, ozono, escasez de agua, cobertura forestal, etc.). Para el análisis global entre países, he seleccionado los valores del índice final, de cara a comparar si había diferencias significativas entre grupos de países de distinta religión mayoritaria. Posteriormente, he realizado un análisis más detallado, seleccionando países tipo de las principales tradiciones religiosas con niveles de desarrollo económico y población similares. Para este segundo análisis, he comparado los valores correspondientes a los indicadores base para el cálculo del EPI.

La Figura 2 muestra un gráfico de cajas con la distribución de los valores del EPI para los grupos de países con tradiciones religiosas mayoritarias. El gráfico muestra la situación del valor mediano del EPI para cada grupo, así como la posición de los cuartiles inferior y superior (los límites de las cajas). Este tipo de gráficos son comunes para representar variables no paramétricas (Tukey, 1977). La comparación entre los valores del EPI para países con distintas religiones no ofrece una clara conclusión, salvo la presencia de valores algo más bajos en países musulmanes. Las diferencias entre países budistas, cristianos e hindúes resulta poco significativa.

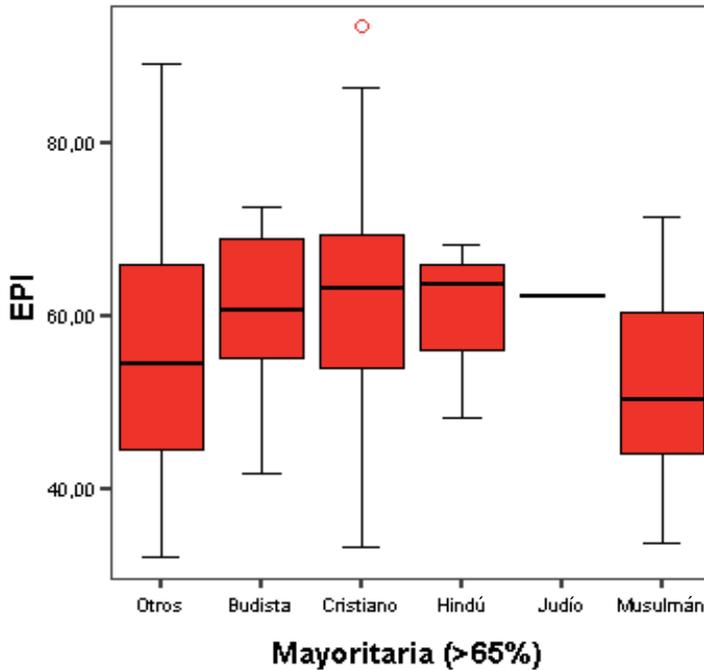


Figura 2. Gráfico de cajas (*boxplot*) de los valores del EPI por grupos religiosos de países.

Entre los factores de control que los mismos autores del EPI proponen está el nivel de riqueza y desarrollo tecnológico, que afectan considerablemente a los indicadores ambientales. Como los mismos autores del índice sugieren, “el nivel de riqueza se correlaciona altamente con los indicadores del EPI, particularmente con los relacionados directamente con la salud” (Emerson *et al.*, 2010, p. 6). Sin embargo, esta relación no es válida para algunos países, que no ofrecen valores equiparables a otros con similar nivel de riqueza, lo que apunta a la posibilidad de que haya otros factores relevantes, como la percepción de los ciudadanos, su actitud ante el medio ambiente o la situación política del país: “Esos análisis estadísticos sugieren que en muchos casos el nivel de gobernanza contribuye a mejores resultados ambientales” (Emerson *et al.*, 2010, p. 6). El impacto del nivel de riqueza sobre la calidad ambiental se evidencia en un gráfico bivariado que muestre el valor del EPI y la renta per cápita (Figura 3). En el gráfico se muestra una tendencia positiva en la correlación, pero con un valor explicativo bajo ($r^2=0.37$), lo que indica que hay bastante dispersión en esa correlación. En el gráfico se evidencia que las religiones no suponen una clara distinción en niveles

de renta, ya que hay valores altos y bajos en cada una de ellas. En los valores más bajos del EPI aparecen países cristianos, musulmanes y no adscritos, si bien entre los más ricos, generalmente los valores del EPI son más bajos para los musulmanes, mientras los valores más altos se ocupan por cristianos y otros, tanto para valores medios como altos de renta per cápita. Para las rentas bajas (<1000 \$/hab), destaca el caso de Nepal, que tiene un valor de EPI mucho más alto (68,2) que los demás países con similar nivel de renta.

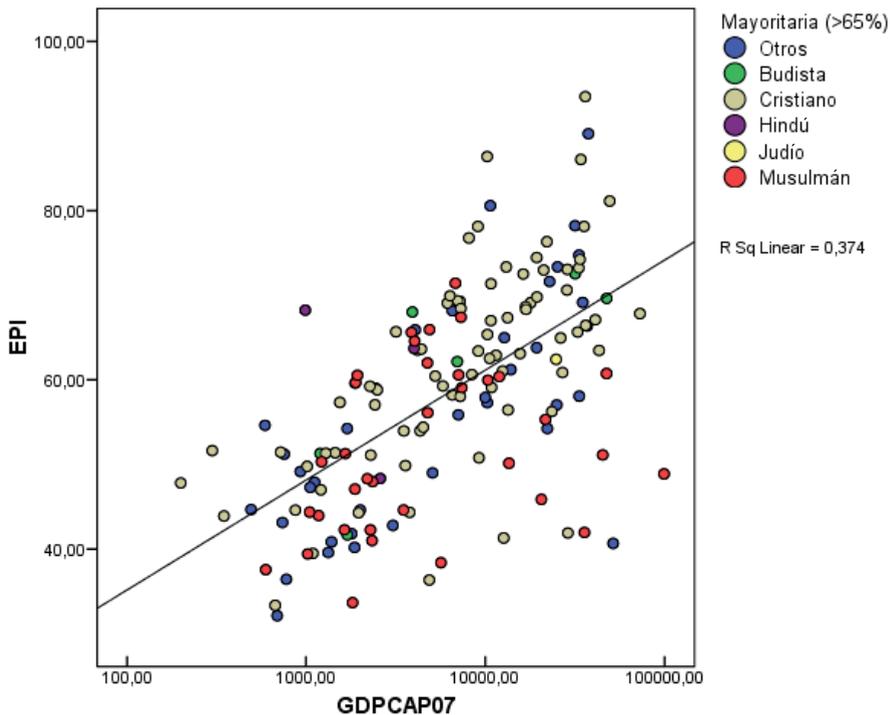


Figura 3. Diagrama de dispersión entre EPI y renta per cápita (en \$/habitante) por grupos religiosos de países.

Hemos realizado un análisis un poco más detallado de las relaciones entre EPI y el nivel de riqueza, calculando regresiones parciales entre ambas variables por grupos religiosos de países. Los resultados aparecen en la Tabla 2. Se muestra cómo entre budistas, cristianos y otros, la relación entre renta y EPI es clara y positiva. Esto quiere decir que para estos países el limitante de la calidad ambiental es la pobreza económica: los más ricos tienen mejores indicadores ambientales.

El caso del budismo es especialmente claro por el peso de Japón y Singapur, ambos con niveles altos de EPI y muy altos de renta per cápita. Sin embargo, Bután consigue valores similares a Singapur (68 frente a 69,6) con una renta más de doce veces inferior. Es llamativo el caso de los tres países hinduistas, donde se da una correlación negativa. El país más pobre, Nepal, tiene unos valores de calidad ambiental muy superiores a la India (68,2 frente a 48,3), pese a tener una renta per cápita casi tres veces inferior. Sri Lanka tiene mayor renta que la India y valores EPI algo inferiores a Nepal. Otro elemento interesante a destacar es la práctica ausencia de correlación entre nivel de riqueza y EPI para los países musulmanes, lo que sugiere que los temas ambientales no son prioritarios en la consideración del desarrollo económico para buena parte de estos países.

Tabla 2. Correlación y coeficientes de regresión entre el EPI y el logaritmo natural de la renta per cápita

	r^2	Pendiente	Constante
Budistas	0.609	5.7767	11.295
Cristianos	0.440	6.1198	7.359
Hinduistas	0.177	-6.1439	107.324
Musulmanes	0.088	2.3743	31.885
Otros	0.497	6.3916	1.079

Para elaborar un análisis más detallado entre indicadores ambientales y tradiciones religiosas, hemos seleccionado países representativos de cada una de ellas, procurando que se tratara de casos con similar volumen de población y de renta. Hemos hecho dos comparaciones, una con países grandes y otra con países intermedios, pues entendemos que los temas ambientales también se afectan por el espacio que deben gestionar los distintos estados. En la Tabla 3 se presentan los indicadores demográficos y territoriales de los países seleccionados. Es difícil que las comparaciones sean completamente fidedignas, ya que siempre hay diferencias en tamaños, población o renta, pero he intentado que las variaciones entre los países elegidos fueran las menores posibles. En cuanto a países emergentes, he seleccionado Brasil, como ejemplo de país cristiano, Indonesia como país musulmán, India como país hinduista y China como país ateo-budista. En los tres primeros casos, la proporción de practicantes de cada religión es abrumadora, por lo que pueden considerarse ejemplos de las tradiciones religiosas

que representan. Cuentan, además, con niveles de renta, población y territorio que los constituyen en potencias emergentes, aunque hay diferencias entre ellos, tanto en volumen de población, como en territorio o renta. En cuanto a orientación religiosa, el caso de China es el más discutible, puesto que su adscripción religiosa es compleja. No es un país estrictamente budista, pero cuenta con raíces culturales claramente identificadas con esta tradición, por más que oficialmente sea un país ateo y el nivel de práctica religiosa no sea muy alto.

En cuanto a los países intermedios, he seleccionado a Túnez, Colombia, Tailandia, Sri Lanka e Israel. Salvo este último caso (que es imprescindible si queremos considerar el judaísmo), los demás tienen valores de renta más o menos similares, con volúmenes de población y territorio intermedios entre los muy pequeños y las potencias anteriormente citadas.

Tabla 3. Datos básicos de los países comparados: las primeras filas para los emergentes, y las siguientes para los intermedios.

País	PIB/CAP 2007	Pob2007	Área (km ²)	Densidad (h/km ²)	Religión	Práctica
Brasil	9.146	190.119.995	8.511.044	22	Cristianismo	92%
China	5.084	1318.309.724	9.198.094	143	Budismo (ateísmo)	20%
Indonesia	3.504	225.630.065	1.897.812	119	Islam	87%
India	2.600	1124.786.997	3.208.099	351	Hinduismo	80%
Túnez	7.102	10.225.400	147.881	69	Islam	98%
Colombia	8.109	43.987.000	1.141.177	39	Cristianismo	94%
Tailandia	6.983	66.979.359	513.635	130	Budismo	95%
Sri Lanka	4.007	20.010.000	65.830	301	Hinduismo	70%
Israel	24.824	7.180.100	21.878	328	Judaísmo	78%

De los 25 indicadores cuantitativos que forman el EPI, para simplificar un poco los análisis, hemos seleccionado 10 para las comparaciones, además de los dos índices sintéticos del EPI (salud ambiental y de los ecosistemas). Estos 10 indicadores resumen bien, a nuestro juicio, los 25 iniciales y representan los 10 campos de interés ambiental que definen los autores del EPI. Se trata de los siguientes:

- AAT: porcentaje de viviendas con sanitarios, aguas tratadas;

- PA, proporción de partículas en el aire en zonas urbanas;
- SO₂, emisiones de dióxido de sulfuro por área habitada;
- ICA, calidad del agua calculada por la oficina de NN.UU para el medioambiente, que incluye contenido en oxígeno, nitrógeno, fosforo y conductividad eléctrica;
- UD, índice de uso/disponibilidad de agua, que relaciona la cantidad de agua que se usa sobre la que se dispone, e incluye desalinización, agua subterránea renovable y no;
- PA, proporción de hábitats críticos que están protegidos;
- VC, variación de cobertura arbolada entre 2005 y 2000 tal y como lo reporta la FAO;
- PS, pesca sostenible, definida como la proporción de la pesca que se hace en los estratos más bajos de la cadena alimentaria;
- IR, intensidad del regadío, definida como el agua empleada para agricultura, frente a la producción obtenida;
- EG, eficiencia en la generación eléctrica, calculada a partir de las emisiones de CO₂ a consecuencia de la generación de energía.

En la Tabla 4 se recogen los valores normalizados de estos índices para los cuatro países que hemos seleccionado como representativos de las grandes religiones. Los autores del EPI normalizan el valor de cada índice entre 0 y 100 en función de la cercanía a los objetivos idóneos para cada indicador, de cara a poder relacionarlos entre sí como índices sintéticos (Emerson *et al.* 2010). Si consideramos como situación razonablemente buena tener un valor por encima de 70 y como mala por debajo de 35, la situación del país cristiano (Brasil) es muy superior al resto, con 7 indicadores en situación buena y solo 1 en situación mala, frente a 4 y 3, respectivamente, para el país budista (China), 3 y 3 para el musulmán (Indonesia), y 3 y 3 para el hinduista (India).

Tabla 4. Cercanía a la situación idónea (100 más cerca, 0 más lejos)

PAÍS	AAT	PA	SO ₂	ICA	UD	PA	VC	PS	IR	EG
Brasil	74,19	91,86	52,88	85,43	100,00	31,03	81,34	100,00	100,00	56,08
China	60,72	31,75	33,55	67,96	100,00	47,73	100,00	100,00	83,39	4,41
Indonesia	46,13	25,06	51,94	62,20	100,00	23,33	37,79	100,00	100,00	6,41
India	19,19	37,94	43,57	78,94	100,00	46,67	—	100,00	55,09	0,00

AAT: Acceso a agua tratada; PA: Partículas en el aire; SO₂: Emisiones SO₂; ICA: Índice de calidad agua; UD: Uso/disponibilidad de agua; PA: Protección de hábitats críticos; VC: Variación cobertura arbolada; PS: Pesca sostenible; IR: Intensidad regadío; EG: Eficiencia de la generación eléctrica. El guión indica que no hay datos de esa variable.

En el caso de los países intermedios, observamos tendencias similares (Tabla 5). El país cristiano (Colombia) ofrece las mejores tendencias, con 6 indicadores en situación buena y ninguno en situación mala. El país musulmán (Túnez) sobre 9 indicadores (no hay datos de protección de hábitats) ofrece 5 con niveles buenos y 1 con malos; mientras el budista (Tailandia) tiene 6 sobre 9 en buenos y 2 en malos, y el hinduista (Sri Lanka) tiene 5 sobre 10 buenos y 2 malos. Finalmente el caso del país judío (Israel) es llamativo, pues pese a tener la renta más alta de estos países intermedios (casi 4 veces superior), ofrece indicadores ambientales poco idóneos, con solo 5 en situación buena y 3 en situación mala, alcanzando incluso las peores puntuaciones de los países seleccionados en dos de los indicadores.

Tabla 5. Cercanía a la situación idónea (100 más cerca, 0 más lejos)

PAÍS	AAT	PA	SO ₂	ICA	UD	PA	VC	PS	IR	EG
Túnez	83,16	78,48	43,83	63,02	71,22	—	100,00	90,70	35,43	11,22
Colombia	75,31	94,01	59,36	54,58	100,00	47,14	96,89	78,21	100,00	43,85
Tailandia	95,51	33,29	44,50	82,67	100,00	—	87,56	100,00	72,76	12,07
Sri Lanka	84,29	25,55	47,77	91,68	100,00	100,00	53,34	88,24	64,08	18,85
Israel	100,00	76,11	27,52	57,68	48,69	100,00	100,00	100,00	22,66	4,23

Las siglas tienen el mismo significado que en la Tabla 4.

Si se consideran los índices sintéticos que forman el EPI, se recoge un resumen de los comentarios antes indicados (Tabla 6). El dato del índice de salud ambiental ofrece el valor más alto para Israel, que paradójicamente tiene el peor valor en el índice de salud de los ecosistemas, ofreciendo un valor final intermedio, pese a tratarse del país con renta per cápita más alta entre los analizados. Le sigue Túnez y los dos países cristianos (Colombia y Brasil). Más alejados están los países budistas (Tailandia y China) y el escalón más bajo lo ocupan los dos hinduistas (India y Sri Lanka), junto a Indonesia, que tiene el segundo valor más bajo. En cuanto al indicador de salud de los ecosistemas, las tendencias son divergentes, con el valor más alto para Sri Lanka y Colombia, seguidos a distancia por Tailandia y Brasil. Respecto al índice final EPI, los países cristianos ofrece los valores más altos (primer y tercer puesto), mientras los musulmanes se sitúan en los valores más bajos del ránking (sexto y noveno), y el resto de las religiones ofrecen valores intermedios: budistas (quinto y séptimo), hinduistas (segundo y octavo), y el Estado de Israel ocupa el cuarto puesto.

Tabla 6. Índices integrados del EPI e índice final

PAÍS	SALUD AMBIENTAL	SALUD ECOSISTEMAS	EPI FINAL (RÁNKING)
Túnez	77,16	44,00	60,58 (6º)
Colombia	74,60	78,94	76,77 (1º)
Tailandia	65,58	58,73	62,15 (5º)
Sri Lanka	45,84	81,59	63,71 (2º)
Israel	92,11	32,75	62,43 (4º)
Brasil	71,63	55,19	63,41 (3º)
China	58,68	39,33	49,00 (7º)
Indonesia	44,59	44,64	44,61 (9º)
India	41,59	55,10	48,35 (8º)

CONCLUSIONES PRELIMINARES

Hemos presentado en los párrafos previos la importancia de los temas ambientales y el interés de analizar el papel que las creencias religiosas tienen en la conservación ambiental. Las grandes religiones influyen en la visión que las personas y los pueblos tienen del ser humano, de su relación con Dios y con el en-

torno que les rodea. Estas visiones impactan en los modos de vida, en la medida en que conllevan una serie de criterios éticos, de formas de actuar. En definitiva, las religiones conforman las actitudes que se tienen ante el medio ambiente y explican, al menos en cierta medida, cómo se utilizan los recursos. Ciertamente la visión religiosa de las personas no es el único elemento a considerar, ni siquiera tal vez el más importante, para explicar el estado de conservación ambiental de un determinado territorio. Son muy numerosos los autores que vinculan una mejora sustancial en nuestra relación con el entorno a un cambio de estilos de vida, que seguramente llevará consigo renunciaciones de alguno de nuestros hábitos. Obviamente, la religión lleva consigo un estímulo adicional para adoptar un estilo de vida más sobrio, menos materialista, que supone una reducción de nuestro impacto ambiental. Solo por esta razón, sería ya de gran interés analizar las relaciones entre religión y conservación ambiental.

Otro elemento de interés es valorar hasta qué punto las acusaciones que se han realizado al cristianismo de ser responsable antropológico de la degradación ambiental son justificadas. Desde el punto de vista teórico, han sido muchas las réplicas al artículo de White, señalando que hay otras tradiciones religiosas en el cristianismo mucho más amistosas con el medio. Al margen de esas polémicas, no cabe duda de que sería más obvio culpar al cristianismo de la crisis ecológica si encontráramos diferencias significativas entre el grado de conservación ambiental en países cristianos y en otros de religiones supuestamente más “ecológicas”. Con las limitaciones de nuestro sencillo análisis, hemos visto que con indicadores objetivos no puede hacerse esa afirmación, ya que incluso los países cristianos (en el global) y en los casos seleccionados ofrecen puntuaciones más altas que otros países en la mayor parte de los indicadores. A partir de ese análisis, tampoco vamos a concluir que el cristianismo sea más amigable con el medio que el Islam o el budismo, pero al menos puede concluirse que su impacto ambiental no es tan manifiestamente negativo como otros autores parecen indicar. Si religiones teóricamente más cercanas a la conservación ambiental (como hinduismo o budismo) no ofrecen valores de calidad ambiental mejores que otras religiones supuestamente más agresivas (como el cristianismo), a mi modo de ver podría explicarse por tres razones. O bien, rechazamos la hipótesis inicial (el cristianismo no es más negativo con la naturaleza que otras religiones), o bien concluimos que las religiones tienen poco peso efectivo en configurar los valores de una determinada sociedad, aunque sean mayoritarias, o finalmente afirmarnos que las religiones no están realmente muy relacionadas con la con-

servación ambiental. Entre estas dos alternativas, medir el grado de influencia social es siempre complejo, pero parece bastante obvio que hay múltiples diferencias sociales entre países con distinta mayoría religiosa, por ejemplo en lo que se refiere a la alimentación, las fiestas laborales, o la reglamentación familiar. Por tanto, con los matices que sean pertinentes, sí podemos afirmar que los países mayoritariamente cristianos, musulmanes o budistas tienen costumbres peculiares, valores sociales distintos, pero no resulta tan obvio que tengan prácticas conservacionistas diversas.

Es obvio que la conservación ambiental no está solo influida por la tradición religiosa de cada país, sino que es preciso tener en cuenta otros factores, como el acceso a la tecnología o el nivel de riqueza. En este sentido, nuestro análisis indica que el nivel de renta está directamente relacionado con el estado de conservación ambiental para los países cristianos y budistas, pero no así para los musulmanes e hinduistas, en donde incluso se dan relaciones negativas. El judaísmo no sale tampoco bien parado en el análisis, ya que ofrece indicadores de calidad ambiental muy por debajo de lo que cabría esperar por su nivel de riqueza. En pocas palabras, en algunos grupos de países se observa que el limitante de la conservación no es la cultura (religión) sino la técnica-economía (renta), mientras en otros, incluso con niveles de renta altos, la conservación ambiental no parece ser una prioridad. La afirmación sería más claramente atribuible a algunos países musulmanes, que cuentan con muy alta renta per cápita junto a valores medios y bajos del EPI. En este sentido, se confirmarían algunas críticas a las prioridades ambientales de los países islámicos que han hecho algunos pensadores musulmanes: “Cuando uno estudia la visión islámica de la naturaleza y de las relaciones de la sociedad con el medio ambiente, cuando se analiza la forma en que la civilización islámica clásica creó una sociedad, y especialmente un ambiente urbano, en armonía con la naturaleza, y se compara con la situación actual del mundo islámico, resulta obvio concluir que ni los gobiernos musulmanes, ni la mayor parte de sus gentes están siguiendo los principios islámicos en su trato con el medio ambiente natural” (Nasr, 2003 p. 87).

Si las sociedades están fuertemente influidas por la religión mayoritaria, y eso no supone un cambio en los indicadores ambientales, deberíamos concluir que, o bien las religiones tienen planteamientos conservacionistas similares, o que ninguna de ellas estima este tema como prioritario. En esta última hipótesis deberíamos reforzar la formación ambiental de los líderes religiosos, a la vez que profundizar sobre las implicaciones ambientales de las distintas tradiciones re-

ligiosas, de tal manera que, de cara al futuro, sean mejores aliados en el esfuerzo colectivo por mejorar nuestra relación con la naturaleza, conduciéndonos a un uso más sustentable de los recursos del planeta.

REFERENCIAS

- Benedicto XVI (2009).** Caritas in veritate. Vaticano
- Berry, T. (1988).** The Dream of the Earth. San Francisco: Sierra club.
- Chuvieco, E. (2012).** Religious approaches to water management and environmental conservation. Water Policy, 14, 9-20.
- Deva Diwivedi, K. (2003).** Ecological Thoughts in the Vedas. In R. Narayan yJ. Kumar (Eds.), Ecology and Religion (pp. 3-24). New Delhi: Deep&Deep publications Ltd.
- Ehrlich, P.R. (1968).** The Population Bomb. New York: Sierra Club/ Ballantine Books.
- Emerson, J., Esty, D.C., M.A. Levy, C.H. Kim, V. Mara, A. de Sherbinin, y T. Srebotnjak (2010).** Environmental Performance Index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy. <http://epi.yale.edu/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Ed.) (2007).** Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment. Cambridge: Cambridge University Press.
- Juan Pablo II (1994).** Redemptor Hominis. Vaticano
- Meadows, D.H., Randers, J., y Meadows, D. (1972).** The Limits to Growth. New York: Universe books
- Narayan, R. (2003).** Ecological Crisis and Hindu Religious Thought. In R. Narayan yJ. Kumar (Eds.), Ecology and Religion (pp. 25-37). New Delhi: Deep&Deep publications Ltd.
- Nasr, S.H. (2003).** Islam, the Contemporary Islamic World, and the Environmental Crisis. In R. Folz, F. Denny y A. Baharuddin (Eds.), Islam and Ecology (pp. 87 (85-105)). Cambridge, MA: Harvard University Press.

- National Research Council (2010).** Advancing the Science of Climate Change. Washington, D.C.: The National Academy Press.
- Ozdemir, I. (2003).** Towards and Understanding of Environmental Ethics from a Qur'anic Perspective. In R. Folz, F. Denny y A. Baharuddin (Eds.), *Islam and Ecology* (pp. 3-37). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- San Francisco (1225).** Cántico del hermano Sol: <http://www.franciscanos.org/esfa/cant.html>.
- Schwartz, E. (2002).** Mastery and Stewardship, Wonder and Connectedness: A typology of relations to Nature in the Jewish text and Tradition. In Hava Tirosh-Samuels (Ed.), *Judaism and Ecology* (p. 101). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Sorrell, R.D. (1988).** St. Francis of Assisi and nature: tradition and innovation in Western Christian attitudes toward the environment. New York - Oxford: Oxford University Press, USA.
- Thakur, V.K. (2003).** Ecological Perception of Buddhism in India. In R. Narayan y J. Kumar (Eds.), *Ecology and Religion* (pp. 58-59). New Delhi: Deep&Deep publications Ltd.
- Tucker, M.E., y Grim, J. (2003).** Series Foreword. In R. Folz, F. Denny y A. Baharuddin (Eds.), *Islam and Ecology* (p. xvi). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Tukey, J.W. (1977).** *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- White, L. (1967).** The Historical Roots of Our Ecological Crisis. *Science*, 155, 1203-1207.

DIGNIDAD HUMANA Y LOS FUNDAMENTOS DE LA BIOÉTICA

César Nombela
Universidad Complutense de Madrid, España

Breve CV

César Nombela es catedrático de Microbiología de la Universidad Complutense (Madrid, Spain) desde 1982, donde ha promovido un grupo de investigación en Microbiología, Biotecnología y Genómica. Es presidente de la Fundación Carmen y Severo Ochoa por indicación testamentaria de este último. Ha sido presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (1996-2000); Miembro del Comité Internacional de Bioética de la UNESCO (1998-2004); presidente del Comité Nacional de Ética en Ciencia y Tecnología (2002-2005) y miembro del Comité de Bioética de España (2007-actualidad).

Abstract

Human dignity is an essential issue for all matters concerning bioethics. Every declaration, international convention or legal text and directive, related to interventions on human beings, includes the consideration of human dignity as an attribute to which any human being is entitled. Examples are the Helsinki Declaration, the Belmont Report, the Oviedo Convention and the EU Directive on Clinical Trials and specially the United Nations International Declaration on Human Rights. All these texts refer to the respect and promotion of human dignity in all kinds of medical procedures and treatments. However, there is an increasing trend, on the part of some bioethicists, to argue that the concept of human dignity should be re-examined because it can be considered as an empty box and a useless concept that does not go beyond the respect for autonomy.

It is my contention that human dignity is a fully valid concept that must be promoted. In the era of Biotechnology human dignity must be reinforced in view of the potential interventions that are feasible based on the advancement of the technologies. Scientific knowledge of the life of the human species can provide a sound basis for the foundations of bioethical principles and values. In this lecture I will consider the development of human life through the embryonic and fetal stages as a process in continuity. Human dignity belongs in the field of values, scientific knowledge can provide an objective ground on which to base proposals for the promotion of human rights.

Palabras clave

Bioética, clonación, aborto, dignidad humana.

INTRODUCCIÓN

Supone para mí una magnífica oportunidad, que agradezco, el ocupar esta tribuna con motivo de la celebración de este simposio sobre Ciencia y Religión. Mi agradecimiento va dirigido en especial al profesor Emilio Chuvieco por la iniciativa de organizar este foro, y, naturalmente, a la Fundación Ramón Areces por haberlo acogido.

La reflexión del ser humano sobre su propia realidad ha sido una constante a lo largo de la historia. Las grandes figuras del pensamiento han ido sembrando la trayectoria de la humanidad de una estela de aportaciones, sobre la vida y la existencia del ser humano, muchas de las cuales jalonan de momentos brillantes el recorrido de nuestra especie por este planeta. Así se ha ido configurando nuestra comprensión de lo que significa pertenecer a la única especie biológica dotada para la reflexión, la única capaz de un comportamiento ético, porque puede elegir entre opciones alternativas anticipando las consecuencias de sus actos. Trasladar esta percepción a un ámbito de valores, que reconoce los derechos de todo individuo de la especie humana, por el hecho de serlo, es en lo que consiste la civilización.

PUJANZA DE LA BIOÉTICA

El éxito de la bioética, como una ética aplicada, de desarrollo reciente, parece que podría estar en la exploración de las crecientes posibilidades de la Biomedicina y la atención sanitaria, cuyos progresos alimentan cada día más

opciones para el servicio del ser humano. Sin embargo, podemos constatar que, sin unos principios, sin unos fundamentos claros, nos estaríamos perdiendo para llegar a justificar, no solo cualquier posibilidad, sino cualquier engaño. Y es que en la actualidad no nos faltan quienes pretenden justificar –precisamente en función de “argumentos éticos”– opciones que otrora, en tiempos muy recientes, fueron claramente proscritas, como el aborto provocado, que ha llegado a estar de lleno introducida en nuestras sociedades, siendo, paradójicamente, sociedades de raíz cristiana quienes lo han introducido.

Hoy se plantean muchas opciones, de actuar o intervenir, que van encaminadas o están basadas en el dominio sobre la vida del ser humano, al menos en determinadas etapas. También nos abrumba la tentación de una Medicina que podemos llamar prometéica, como si estuviera en manos del hombre, no ya alcanzar una mejora de su vida y de la calidad de la misma, sino esa capacidad de regenerar su cuerpo, prolongar su existencia biológica de manera indefinida, incluso transformar su vida hasta lograr formas inimaginables en el pasado. La siguiente afirmación de E. O. Wilson más que definir un camino cierto y contrastado nos interpela sobre la responsabilidad que supone para el ser humano la utilización de los avances de la ciencia⁵⁹: *... la humanidad alcanzará una posición deiforme para tomar el control de su propio destino último. Podrá alterar ... incluso las emociones y el impulso creativo que componen el núcleo mismo de la naturaleza humana. El Homo sapiens, la primera especie verdaderamente libre, está a punto de licenciar la selección natural...*

Si se me permite expresar una preocupación personal, comentaré la impresión que puede experimentar un científico como yo, llegado al terreno de la bioética (un campo al que se accede por muchos caminos). Pienso que definir y acotar bien el terreno en el que hay que pisar, es la primera de las obligaciones. Hay pocas dudas de que es, en este marco, en el que se suscitan un buen número de cuestiones para cuya resolución se ha de llamar, una y otra vez, a la puerta de ese edificio, la bioética, que comenzó a construirse cuando el oncólogo Van Rensselaer Potter acuñó este término para referirse a las obligaciones del ser humano con el mundo de lo vivo, precisamente porque estaba en juego el futuro de la propia especie humana, la supervivencia. Es en la bioética donde hemos de

⁵⁹ E. O. Wilson. Consilience. La Unidad del Conocimiento. Glaxia Gutemberg. Círculo de Lectores. Barcelona 1999.

encontrar un marco de referencias éticas que nos permita juzgar sobre la moralidad de las intervenciones que se proponen. La pregunta, sin embargo, es cuáles son los principios sobre los cuales fundamentar las necesarias referencias éticas. Como veremos, para algunos la bioética debe situarse en el terreno pragmático de una ética aplicada, a la que se le demanda únicamente la resolución de problemas. No obstante, muchos también demandamos la articulación de ese marco ético como algo que solo puede estar basado en unos principios y en unas referencias claras que todos deben compartir, pues de otra forma el relativismo moral en el que se podría incurrir conduciría a justificar cualquier cosa.

LA DIGNIDAD HUMANA COMO FUNDAMENTO DE LA BIOÉTICA

Se puede constatar que la validez del propio concepto de “dignidad humana” o, si se quiere, su definición y contenido, están en entredicho. Pero, para mi, la dignidad humana constituye el fundamento de la bioética. Revisando la forma en que se ha ido dando fundamento a la Ética, como ese ámbito de referencias que permitan juzgar la moralidad del obrar humano, podemos optar –tenemos que sopesar– en buena medida lo que han supuesto (i) la valoración de las consecuencias (consecuencialismo, utilitarismo), (ii) el seguimiento de normas o principios universales (deontologismo, principialismo) o el poner el énfasis en (iii) los valores, porque desde Husserl y Max Scheler hablamos con más claridad de la aprehensión intuitiva de los valores, que trata de ir más allá de Kant estableciendo el fundamento último de los valores en el amor del que son capaces las personas. Nuestro Julián Marías ha hablado de la ética de “lo mejor” más allá de lo que es simplemente bueno.

Hay una palabra clave sobre la práctica de la bioética que algunos pretenden que sea la fundamental: “pragmatismo”. Significa que la presentación de problemas sobrevenidos, incluso aunque su caracterización sea dudosa, lleva a reclamar una respuesta rápida, inmediata, desde algunos ámbitos, incluso, se reclama ya con una idea preconcebida (al margen de principios o de cualquier fundamentación). Y es que, en palabras de Adela Cortina, esta aplicación ha puesto a la Ética contra las cuerdas: o proporciona principios que ayuden o queda descalificada por K.O. técnico. Esto ha llevado al sociólogo Fukuyama⁶⁰ a aludir, con mayor

⁶⁰ F. Fukuyama. *El Fin del Hombre. Consecuencias de la revolución biotecnológica*. Ediciones B. Barcelona 2002.

crudeza, a estas actitudes pragmáticas, al referirse con sarcasmo a los bioéticos “sofisticados y sofistas”, convertidos en profesionales de la búsqueda de cualquier justificación para alguna propuesta, justificación que ellos están dispuestos a encontrar en cualquier ámbito del pensamiento (filosofía kantiana, por ejemplo) o las creencias (como la teología católica).

A la hora de fundamentar la bioética actualmente, a pesar de ser una disciplina reciente, podemos encontrar –es cierto– actitudes que remiten a posturas clásicas, ya sean deontologistas o consecuencialistas (en estos casos apoyadas en un utilitarismo radical). Hay intentos muy claros y loables de encontrar caminos deductivos o inductivos para llegar a las soluciones o los principios; se dan, en fin, propuestas para llegar a acuerdos a través de una ética discursiva, reconociendo que hay obstáculos insalvables para llegar a propuestas de universal aceptación, en una sociedad que –por definición– es y ha de ser pluralista. En cualquier caso, para quien aterriza en la bioética desde la ciencia positiva, todos estos sistemas filosóficos, para construir unas referencias que sirvan para juzgar la moralidad de las actuaciones e intervenciones, podrían resultar disuasorios. Me refiero al hecho de que la reflexión, desde diversos ángulos, con frecuencia conduce a discusiones enconadas o conclusiones opuestas. Pero, parafraseando alguna formulación muy común, “la bioética es una cosa muy seria como para dejarla en manos de quienes solo son bioéticos”.

Como alguien que transita por la bioética, procedente de otros saberes, he de confesar que veo este edificio como un ámbito que cada vez resulta más atractivo para muchos, pero que, al mismo tiempo, muchos quieren someterlo continuamente a revisión. Revisión de sus fundamentos y de sus contornos. Vaciamiento de algunos de sus espacios que parecían bien definidos. Un teórico de la bioética, bien conocido por su extraordinaria erudición, Diego Gracia⁶¹, nos sorprenderá continuamente con afirmaciones sobre el problema de la responsabilidad que acaba siempre en fracaso, o, la ética siempre al borde de la paradoja, del conflicto, del que se ha de salir mediante el compromiso o incluso la componenda. Aun invocando los valores como referencia fundamental, algunos bioeticistas con liderazgo recurren con frecuencia a justificar todo (la clonación humana

⁶¹ D. Gracia. Diversos artículos en *Bioética Complutense*. Publicaciones electrónicas del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública (Historia de la Ciencia) <http://www.ucm.es/centros/webs/d519/>

reproductiva, el aborto, la eutanasia) aunque, eso sí, en algunos casos, solamente en algunos casos. No faltan quienes, como John Harris, ponen en venta incluso ámbitos que parecían no poder estar sujetos a intercambios basados en un precio. Para este pensador no hay principios en la bioética, ni hay por qué recurrir a ellos.

LA DIGNIDAD HUMANA, UN VALOR FUNDAMENTAL. DEFINICIÓN Y CONTENIDOS

Podemos repasar cualquier texto relacionado con la bioética, entre ellos los que dan contenido a declaraciones o tratados internacionales, como el Código de Nuremberg, la Declaración de Helsinki, el Convenio sobre la Biomedicina y los Derechos Humanos (Convenio de Oviedo), la Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos del Hombre, etc. En todos ellos aparece la dignidad humana, su respeto, su reconocimiento, su promoción, como el principal argumento. Se proclama con gran nitidez y claridad de tal manera que se podría afirmar que la bioética nace para promover la dignidad humana. Sin el reconocimiento de la dignidad, ciertamente cobra realidad esa paradoja, ese conflicto irresoluble al que hacen referencia los pensadores aludidos.

Los lacerantes ejemplos de conculcación del valor de la dignidad son los que han instado a actuar. Regímenes totalitarios (nazismo, estalinismo) han merecido condenas muy contundentes, como ocurrió con el proceso de Nuremberg tras enjuiciar a médicos por crímenes contra la humanidad. Pero, incluso tenemos ejemplos, más próximos en el tiempo, en los que se ha experimentado con seres humanos sin su consentimiento atentando contra su dignidad. En Estados Unidos se sigue actualmente revisando la experimentación con seres humanos que llevaron a cabo en Guatemala, durante los cuarenta; o los experimentos de Tuskegee (Alabama) en que se llevó a cabo la infección experimental de afroamericanos o de excombatientes de la Segunda Guerra Mundial; incluso en los sesenta en Willowbrook (NY) y en el New York City's Jewish Chronic Disease Hospital se trató a enfermos de cáncer sin la menor observancia de cualquier norma sobre su consentimiento y demás protocolos que deben emplearse.

Surgió de todo ello algo tan elemental como el otorgamiento del consentimiento informado, que se habría de incorporar a todas las propuestas y tratados, culminando en 1997 con el "Convenio para la protección de los Derechos

Humanos y la dignidad del ser humano con respecto a las aplicaciones de la Biología y la Biomedicina” (Convenio de Oviedo).

La vida humana (por tanto, su dignidad) constituye el elemento esencial de referencia para la bioética

Aunque algunos intenten ignorarlo, la vida humana representa la referencia esencial, el ser humano no puede dejar nunca de asumir sus obligaciones con sus semejantes. Ello no significa, más bien todo lo contrario, que se pueda eximir de una responsabilidad con la naturaleza en su conjunto. Pero, descartada la valoración del semejante, de sus derechos y su dignidad, cualquier propuesta podría encontrar justificación. La descalificación que algunos plantean de esta propuesta, tratando de señalar que se trata exclusivamente en una visión religiosa (cristiana, desde luego) se sostiene mal. Un científico como Sydney Brenner, Premio Nobel de Medicina o Fisiología en 2002, tras reiterar que en estos tiempos la religión no es una opción confiable, escribía en 2003⁶²: *“Hace poco me preguntaba un estudiante cuáles eran las normas de ética que debe adoptar un científico de la Biología. Enseguida me vinieron a la mente dos prescripciones. La primera, común para todo científico, decir la verdad. La segunda comprometerse con toda la humanidad”*. Son palabras que sencillamente, tal vez sin pretenderlo, redescubren el mensaje cristiano planteando una propuesta que para el autor se deriva del nuevo conocimiento sobre la vida (biológica) del ser humano.

Con parecida contundencia afirma Leszek Kolakowski⁶³. *Resulta difícil definir lo que es la dignidad humana. No se trata de un órgano de nuestro cuerpo por descubrir, ni de una noción empírica, pero, sin esta idea sería imposible responder a un pregunta muy simple: ¿qué tiene de malo la esclavitud?*

Sin embargo, asistimos a un continuo cuestionamiento del concepto de dignidad humana, como referencia y como valor para bioética

La afirmación de la dignidad humana como referencia fundamental para la bioética ha de enfrentarse al continuo cuestionamiento del propio concepto de dignidad humana, ya sea para negar esa dignidad al propio ser humano, al menos

⁶² S. Brenner. “Humanity as the model system”. *Science* 302, 533. 2003

⁶³ L. Kolakowski. *What is left of socialism*. 2002.

en determinadas etapas, o para cuestionar lo específico y fundamental de nuestra especie en el relación con los comportamientos éticos. En el fondo, sin duda late un intento de deconstrucción de ideas y conceptos que, en última instancia, acaba conduciendo a propugnar un dominio sobre el ser humano, por parte de quienes tratan de justificar esa propuesta.

La larga cita de Ruth Macklin⁶⁴ que sigue ilustra la tendencia de algunos que plantean un verdadero vaciamiento de la idea de dignidad humana: *Por tanto, ¿por qué se apela en numerosos textos e informes a la dignidad humana como si significara algo más que el respeto por las personas y su autonomía? Una explicación posible está en la referencia a la dignidad humana desde numerosos ámbitos religiosos, especialmente aunque no únicamente desde la Iglesia Católica. Sin embargo, esta referencia religiosa no es suficiente para explicar cómo y por qué este término ha penetrado en la literatura secular sobre ética médica. Como tampoco explica la relevancia del concepto en los textos sobre derechos humanos, ya que solo una pequeña parte de la literatura de ética médica se ocupa de la relación entre salud y derechos humanos. Aunque la etiología siga siendo un misterio, el diagnóstico está claro. La dignidad es un concepto inútil para la ética médica y puede ser suprimido sin que se pierda contenido.*

Cabe entonces preguntar en qué se basa y a dónde conduce el vaciamiento del concepto de dignidad humana. En primer lugar, en una interminable búsqueda de otras referencias (autonomía, en especial) pero que en cada caso puede ser adaptable a las diferentes situaciones. A los proponentes de esta formulación en el fondo les molesta una proclamación tan contundente a favor del ser humano, en todo tiempo y circunstancia. Aunque sea muy necesario definir con claridad el concepto y el contenido de la dignidad humana, no podemos olvidar que muchas veces esconde la pretensión de redefinir los contornos de la vida humana, sobre la base de argumentos (pretendidamente) científicos. Para Dennett⁶⁵ *“la cuestión de cuándo comienza y termina la vida (humana) y qué posibles variantes deben tomarse como vida humana (sagrada), para empezar, son para la Ciencia, como la cuestión de cuál es el área de una montaña, más que cuál es su altura sobre*

⁶⁴ R. Macklin. British Medical Journal. 327:20-27. 2003

⁶⁵ D. Dennett. How to Protect Human Dignity from Science. En Human Dignity and Bioethics. President's Council on Bioethics. 2003. <http://bioethics.georgetown.edu/pcbe/reports/index.html>

el nivel del mar: todo depende de la definición convencional que aceptemos sobre las condiciones de entorno. La ciencia promete –o amenaza con– reemplazar los valores absolutos tradicionales por un conjunto de complicaciones relativistas que niegan la existencia de fronteras claramente establecidas sobre las que anclar la visión tradicional.

En las líneas anteriores hay una reivindicación de una visión materialista del hombre. Aunque el universo no tenga sentido, el hombre sí que es capaz de tener un propósito moral, no hay relativismo moral en el hombre, claramente diferenciable de los animales. Dennett se distancia también de la sociobiología de Wilson y de los conductistas, el hombre es capaz de elevarse por encima de sus propios genes. Dennett ha sido acusado de procurar una elevada moral del ser humano, con un fundamento imposible: exclusivamente su naturaleza evolutiva que dejaría su moral simplemente en una darwiniana supervivencia del más apto.

La filosofía de Peter Singer que supone acabar lisa y llanamente con cualquier concepción tradicional del hombre lleva inmediatamente a una conclusión: la vida humana no es sagrada, ni presenta una especial diferencia cualitativa con la vida de los animales. Hay otros criterios de valor, como la capacidad de sentir o la capacidad de sufrir, que son los que han de contar para establecer categorías de valor. Para Singer, más que diferencias entre humanos y animales, habría que hablar de diferencias entre los propios humanos. Las propuestas de Singer con frecuencia se enmarcan en el empleo de argumentos científicos, tomados de una forma reduccionista y muy parcial. Las conclusiones acaban siendo tan extremas como que los primates tienen derechos humanos (Proyecto Gran Simio) mientras que determinados deficientes humanos podrían ser eliminados. Son planteamientos tan nihilistas que pueden desembocar en la propuesta de la autoinmolación de la especie. Cuando se asume que, a determinadas especies de simios se les deben reconocer derechos humanos, ya que su genoma puede tener más de un 98% de homología con el genoma humano, se incurre en una notable simplificación argumental. En muchos casos, cabe dudar de que quienes lo proponen sepan tan si quiera lo que significa la homología genética ¿Acaso tendría sentido señalar que el ratón es un ser humano al 90%, porque su genoma muestra ese porcentaje de homología con el nuestro? Y, ¿qué hacer con muchos microbios que pueden llegar al 30% de homología con el genoma humano, tal vez reclamar para ellos el 30% de los derechos humanos?

Como señala Francesc Torralba⁶⁶ se plantean diversas formas de revisar el concepto de persona, dejando fuera a individuos de la especie o a etapas de su vida. Es el caso del concepto de persona en Singer (ser capaz de tener consciencia del yo), Harris (capaz de valorar su propia existencia), Engelhardt (ser autónomo). Casi siempre el resultado es excluir etapas del ser humano del carácter de persona, lo que pasa es que se introducen en un laberinto reduccionista del que se sale como se puede, en especial acuñando conceptos como pre-personas, ex-personas, etc.

La dignidad humana constituye el fundamento de la bioética

En la reflexión más tradicional sobre el ser humano, su existencia en la Tierra y su naturaleza, podemos encontrar la base que nos permite formular una propuesta, basada en el rigor científico, a favor de la dignidad humana. Es sin duda una propuesta de futuro, a favor del futuro del hombre. La afirmación de Popper, a mi juicio, resulta definitiva: *“El hecho de que la ciencia no pueda hacer ningún pronunciamiento sobre principios éticos ha sido mal interpretado, como una indicación de que no existen tales principios, mientras que, de hecho, la búsqueda de la verdad presupone la ética”*. Se alinea con las propuestas de unos fundamentos éticos anteriores a la propia búsqueda del conocimiento, que además la inspiran y la impulsan. Frente a ello, el pensamiento débil y el relativismo señalan caminos con un recorrido que ciertamente no sabemos adónde puede conducir.

Por eso, una aproximación esencial hacia la verdad del hombre tiene que basarse en el rigor científico. Algunos campos de investigación biomédica, desarrollados en los últimos años, están plagados de ejemplos en los que el rigor científico ha sido absolutamente sacrificado, precisamente para justificar determinadas propuestas éticas. Siglos de reflexión filosófica han alimentado debates, incluso controversias enconadas, sobre el inicio de la existencia de cada ser humano. Desde una visión aristotélica, tan dominante durante mucho tiempo, se hizo inevitable fundamentar nuestra propia naturaleza biológica para transitar a otros ámbitos del pensamiento en los que apoyar el valor de la vida humana. La dignidad es un atributo que expresa esa valoración de la que es acreedor cada ser humano. Pero es en los últimos meandros del recorrido histórico cuando la ciencia sale al paso de la reflexión filosófica para objetivar cuestiones esenciales

⁶⁶ F. Torralba. *¿Qué es la dignidad humana? Ensayo sobre Peter Singer, Tristram Herder Engelhardt y John Harris*. Herder. Barcelona 2005.

sobre el inicio y desarrollo de nuestra peripecia vital. La dignidad humana no es parcelable, no puede estar sujeta a una gradación ni a condicionantes temporales. Durante mucho tiempo, el conocimiento de cómo tiene lugar el inicio de la vida de cada individuo no era evidente como lo es hoy, gracias a las respuestas que la ciencia biológica nos ofrece a preguntas que antaño no podían ser respondidas sino desde la intuición.

Cierto es que la tecnología médica ha hecho posible hace cuatro décadas el que la vida humana pueda comenzar fuera del seno materno. La reproducción humana asistida mediante fecundación *in vitro* (FIV) significa que el ser humano puede ser concebido fuera del seno materno. El embrión temprano generado mediante FIV podrá ser gestado gracias a su transferencia al útero de una mujer, para dar lugar a un nuevo individuo de la especie que nacerá si no hay nada que lo obstaculice o defecto natural que impida su normal desarrollo. Estas tecnologías han abierto un número de posibilidades imprevistas hasta entonces. A ellas se refiere Carl Djerassi⁶⁷ cuando afirma “*Los últimos avances en tecnologías contraceptivas y reproductivas han suscitado claramente multitud de problemas inquietantes que muchos quisiéramos apartar de nosotros. Pero eso ya no es posible: el genio ha escapado de la botella*”.

Cada ser humano es único e irrepetible, toda vida humana comienza con la fecundación de los gametos, el materno y el paterno, que origina un cigoto con la dotación genética propia de cada individuo. El cigoto es una célula altamente organizada, configurada desde el primer momento con asimetrías y gradientes. La prestigiosa revista *Nature*⁶⁸, hace pocos años, analizaba los resultados científicos que la biología del desarrollo aporta sobre el inicio de la vida de los mamíferos. “Tu destino desde el primer día” era el título del comentario referente a los hallazgos sobre los ejes que definirán el cuerpo, que se comienzan a organizar desde la primera división celular. Guardamos memoria física de nuestro primer día de vida como cigotos, precisamente tras la primera división celular, que marca el carácter de las dos primeras células y su diferencia.

La comunicación del nuevo ser con la madre gestante se produce desde el primer día, mediante señales a las que el cuerpo de la madre responde aportando

⁶⁷ C. Djerassi. “Technology and human reproduction: 1950-2050”. *Journal of Molecular Biology* 319, 979. 2002.

⁶⁸ H. Pearson. *Nature* 418, 14. 2002

las condiciones para el desarrollo embrionario y fetal. El día 5 el embrión ya es blastocisto, gracias a su desarrollo a través de la Trompas de Falopio. Destaca la comunicación hormonal: el embrión blastocisto (5 días) produce gonadotropina coriónica, con la que alerta a la madre para la preparación del endometrio que permitirá la anidación. El día 16 comienza el desarrollo de las células nerviosas, los vasos, la sangre, y el esbozo de corazón. Se inicia pronto la circulación de la sangre embrionaria (día 20), habrá un esbozo de sistema nervioso (día 22) y se producirá el primer latido (día 21-22).

Son innumerables los detalles que se conocen sobre este desarrollo, y altamente sugerentes sobre la fundamentación biológica del valor que esta etapa de la vida humana merece. En la cuarta semana, el embrión será ya reconocido como embrión de mamífero y de la sexta a la octava semana se producirá la transición de embrión a feto. Un feto en el que se puede apreciar la formación incipiente de los dedos de manos y pies, de los ojos y de los órganos genitales, todo ello a pesar de medir no más de 2 cm. En la semana decimotercera, una etapa en la que según una ministra española (afirmación efectuada en 2009) “un feto es un ser vivo pero no un ser humano”, este ser fetal, al que le negaba la condición de humano, tiene todos sus órganos formados, así como manos y piernas, se le aprecian las uñas, tiene sensibilidad en la piel, las imágenes ecográficas suelen permitir apreciar su sexo.

Hay un *telos*, una finalidad inscrita en la propia naturaleza del cigoto, establecida por su propio programa de desarrollo. Las distintas etapas de este desarrollo supondrán la emergencia de propiedades nuevas; el cigoto llegará a ser un embrión y el embrión un feto que al completarse la gestación dará lugar a un neonato. Nace el ser humano tras nueve meses de gestación, pero se mantiene durante mucho tiempo en situación de dependencia absoluta, aunque distinta de la propia del período anterior. Su madurez tardará en llegar, de hecho se irá completando a lo largo de toda la vida hasta la muerte natural.

Quienes afirman que no es lo mismo un embrión que un feto, ni un feto que un ser humano maduro, formulan una obviedad. No son entidades físicamente idénticas como tampoco somos idénticos –psicológica o incluso físicamente– en distintas etapas de nuestra vida, pero eso no puede utilizarse para rebajar los derechos o la dignidad de la vida humana. No puede hacerse en ningún caso en nombre de la ciencia. Los hechos científicos no aportan valoraciones éticas a modo de demostraciones matemáticas, pero la verdad científica debe perma-

necer como referencia en toda su integridad, cuando en su nombre se efectúan juicios de valor. La vida humana es un proceso continuo, desde la concepción hasta la muerte. Limitar el derecho a vivir a haber superado catorce semanas de desarrollo fetal carece de justificación, ¿por qué no ocho o dieciséis? La evidencia científica también puede fundamentar el imprescindible salto a unos valores, en los que la consideración de los derechos de todos, la igualdad de todos los seres humanos desde el inicio de su existencia, cobra un sentido completo.

INTERVENCIONES EN LA VIDA HUMANA EN SUS ETAPAS EMBRIONARIA Y FETAL

Como señalaba Djerassi, el genio ha escapado de la botella, si tenemos en cuenta el potencial de la tecnología actual para actuar sobre el ser humano en las etapas iniciales de su vida. El hecho de que por algunos se niegue esa dignidad en las etapas iniciales, no excluye el que se haya de tener en cuenta lo que significa el embrión humano. La reproducción mediante FIV puede ir mucho más allá que el procurar descendencia a quienes no pueden procrear por métodos naturales. La modificación genética de la línea germinal, por ejemplo, posibilitaría procesos eugenésicos de todo tipo, cuyas consecuencias habrían de analizarse a la luz de la intervención planteada.

Pero, la generación de embriones mediante FIV y, en especial, su acumulación en estado de congelación en grandes cantidades, ha supuesto iniciativas diversas de empleo de dichos embriones como material de estudio y de posibles terapias. No hay espacio para tratar en detalle la cuestión de las “células madre” o células troncales, de la que me he ocupado recientemente⁶⁹. Después de varios años de intenso debate, así como de iniciativas científicas diversas, la conclusión es clara: las células madre adultas, cuya obtención y manejo no implican la destrucción de embriones humanos, está ya en la clínica humana, al menos en numerosos tratamientos experimentales. En cambio, las células madre de origen embrionario, a pesar de haber sido estudiadas en detalle, muestran notables dificultades para acceder a tratamientos en humanos por diversas razones, en especial la dificultad para su control. Así se puede verificar consultando la página web (www.clinicaltrials.gov) de los National Institutes of Health, que recoge las terapias experi-

⁶⁹ C. Nombela. *Células madre. Encrucijadas biológicas para la Medicina*. EDAF. Madrid. 2007; C. Nombela y C. Simón. *Células madre. Debates científicos CSIC*. Catarata. Madrid. 2010.

mentales que se llevan a cabo en el mundo, en un contexto de exigencia ética y rigor científico. El descubrimiento, por el japonés Yamanaka, de las células madre pluripotenciales inducidas (células iPS) aporta una nueva opción para el manejo de terapias propias de la medicina regenerativa que no plantea actuación alguna sobre la vida humana embrionaria. Con frecuencia el avance científico riguroso puede resolver dilemas éticos que se planteaban como casi insuperables.

LA SELECCIÓN EMBRIONARIA EN SU CONTEXTO ÉTICO

El que la vida humana puede comenzar fuera del seno materno hace posible la selección embrionaria, algo que se plantea y practica con diversos propósitos. La extracción quirúrgica de gametos de mujer permite su fecundación en el laboratorio con semen de hombre, para generar el cigoto, la célula inicial, comienzo de la vida de cualquier ser humano. De esa célula derivará el nuevo ser, incluidas las estructuras placentarias imprescindibles para su desarrollo. Todo ello constituye la técnica de reproducción humana mediante fecundación *in vitro* (FIV).

La tecnología amplía los espacios de dominio que el hombre puede ejercer sobre la vida de los individuos de su especie. Las intervenciones posibles van mucho más allá de la mera utilización de la FIV para procurar descendencia a quienes no pueden procrear de manera natural. La pregunta sobre quién tiene derecho a existir puede tener una respuesta programada deliberadamente, ya que la tecnología hace posible tanto la selección embrionaria, como la propia modificación genética del embrión. Mediante biopsia del embrión temprano, cuando este consta de ocho células, se pueden extraer dos de estas células para proceder a su análisis genético con fines diagnósticos. Es el diagnóstico genético preimplantatorio, no exento de riesgos para el embrión, al que se priva de la cuarta parte de su material celular, con la esperanza de que a pesar de ello se pueda reconstituir y ser gestado para dar lugar a un nuevo ser humano. En cualquier caso, ese diagnóstico genético se practica con finalidades de selección, para decidir si es aceptable o no la transferencia de un embrión concreto al útero materno.

La sociedad, en cuyo nombre los poderes públicos deciden la validez de estas actuaciones, debe conocer el alcance y las consecuencias de una tecnología que va directamente a la raíz de la cuestión de quién tiene derecho a existir, en función de su diseño biológico. La inmensa mayoría de los seres humanos somos portadores de un programa genético, propio y único, derivado del de nuestros dos progenitores –padre y madre– pero establecido por la propia naturaleza y

no por voluntad de terceros. En cambio, la selección embrionaria en función de un diagnóstico genético previo, puede dar lugar a individuos con una constitución genética predeterminada, de entre las posibles para la descendencia de los progenitores concretos.

La legislación española permite la selección embrionaria, bien para evitar deficiencias genéticas conocidas, o para beneficio de terceros. En este último caso se pretende el nacimiento de los llamados bebé-medicamento, que sean histocompatibles con el posible beneficiario a efectos de trasplante. Para ser precisos, hay que puntualizar que la ley no abre esta práctica con carácter general, sino que establece la posibilidad de autorizarla caso por caso. De cualquier forma, la selección de un embrión, en función de una característica genética concreta, no implica seleccionar solamente esa característica. Se está seleccionando un embrión que, unidas a esa característica analizada, tiene todas las demás que le confiere su dotación genética completa y que no son objeto del análisis selectivo. La selección embrionaria supone, por tanto, predeterminar la totalidad de su dotación genética de quien nace, por decisión de tercero. Toda su trayectoria biológica, en lo que depende de su genética, será fruto de esa decisión selectiva, tanto para lo que pueda considerarse como bueno o como malo. El alcance de la selección solamente es conocido en un aspecto, no en su globalidad.

Habermas⁷⁰ ha acuñado la expresión “persona programada genéticamente”, al señalar el impacto que todo ello tiene en la autocomprensión de la propia existencia. En nuestra libertad puede estar el cambiar de opinión pero no el cambiar de genes. En definitiva, el individuo seleccionado, puede percibir muchas circunstancias de su existencia como algo condicionado por una decisión externa, lo que no ocurre con los demás seres humanos. Se impone el llamar la atención sobre el significado de algunas actuaciones sobre la vida humana embrionaria. Muchas se pretenden justificar en función de posibles aplicaciones médicas derivadas de la nueva tecnología. Sin cuestionar el avance biomédico, me parece imprescindible referirlo al principio fundamental, establecido en todo tipo de iniciativas y convenios internacionales: el respeto a la dignidad humana. Se proclama en estas normas que nunca los intereses de nadie, ni tampoco de la propia ciencia, pueden prevalecer sobre los de la persona humana afectada. La selección

⁷⁰ J. Habermas. *El futuro de la naturaleza humana. ¿Hacia una eugenesia liberal?* Paidós. Barcelona 2002.

embrionaria, así como cualquier otra actuación que determine la dotación genética de quienes vayan a nacer, solo puede ser juzgada a la luz de las consecuencias que pueda tener para quien es el sujeto directo de esa actuación. El respeto a la dignidad humana, la consideración de la igualdad radical de todos los seres humanos, comienza desde el inicio de la vida de cada individuo. Nadie está facultado para decidir quién tiene derecho a existir.

A mi juicio hay dos premisas que deben plantearse como base para el diálogo y debate social que permite discernir sobre la legitimidad de ciertas intervenciones: la protección y salvaguarda de los derechos y la dignidad de toda persona, incluidos quienes vayan a nacer; y, la consideración global de las consecuencias de las intervenciones biotecnológicas para el futuro de la especie humana.

Me gustaría concluir estas consideraciones con la propuesta de Holmes Rolston⁷¹, una base excelente para la reflexión fundamental que puede dotar de sentido a la práctica de la bioética: *La ciencia y la consciencia tienen una relación compleja, difícil de acotar. La ciencia necesita de la consciencia pero no la puede justificar. El ser-deber continua siendo válido en el pasado, el presente y el futuro. Los humanos dieron ese salto en su proceso evolutivo y ahora viven en el territorio de la moralidad. En eso consiste la dignidad que es herencia y patrimonio. Pero ese patrimonio constituye un potencial que ha de actualizarse generación tras generación, en cada nueva era, en cada vida humana, para que no perdamos nuestra dignidad. Tras cuatrocientos años de ciencia e ilustración la cuestión de los valores permanece en el siglo XXI, tan aguda y tan dolorosa como siempre. El reconocimiento y respeto de la dignidad humana no es algo trivial. De ello depende en buena medida nuestro futuro.*

⁷¹ H. Rolston. "Human uniqueness and human dignity: persons in nature and the nature of persons". En *Human Dignity and Bioethics. President's Council on Bioethics*. 2003. <http://bioethics.georgetown.edu/pcbe/reports/index.html>

TEMAS ÉTICOS EN EL COMIENZO Y FIN DE LA VIDA

John Wyatt

Profesor emérito de Pediatría Neonatal, University College London, Reino Unido

Breve CV

John Wyatt es profesor emérito de Pediatría Neonatal, University College London, Reino Unido. Ha trabajado durante más de 25 años como neonatólogo y ha liderado un equipo de investigación multidisciplinar sobre los mecanismos y la prevención del daño cerebral al inicio de la vida. Durante muchos años ha trabajado en temas éticos, filosóficos y teológicos relacionados con el avance de la medicina y ha publicado varios libros sobre estos temas, principalmente su obra: *Matters of Life and Death*, publicada por InterVarsity Press.

Abstract

Advances in biomedical technology have led to new and troubling issues at the beginning and end of life. This chapter will briefly review how developments in reproductive technology, prenatal screening, embryology and neonatal intensive care have changed our attitudes to parenthood and brought new urgency to long-standing debates about the value and significance of developing human life. Similarly at the end of life the rise of interest in euthanasia and physician assisted suicide is driven in part by technological and interventionist medical care. A central issue in contemporary ethical debates is the nature of personhood and the talk will contrast contemporary naturalistic and Christian perspectives and draw out the practical implications of these differing perspectives for medical and social care.

Palabras clave

Respeto a la vida, dignidad humana, eutanasia, aborto.

CUESTIONES ÉTICAS EN EL INICIO DE LA VIDA HUMANA

Mi ponencia tiene por objeto plantear una serie de problemas éticos que pueden presentarse a los facultativos como consecuencia de los avances en la tecnología médica, y analizar cómo en realidad se derivan de las distintas concepciones de lo que significa ser humano.

La mayor parte de mi carrera profesional se ha desarrollado en el campo de la neonatología, esto es, del cuidado médico de los recién nacidos. Trabajo en una importante unidad de cuidados intensivos neonatales en el centro de Londres, donde atendemos a recién nacidos que requieren cuidados intensivos por diversos motivos, incluidos los bebés tan prematuros que llegan a rozar los límites de lo posible para la supervivencia, como los que nacen en las semanas 23 y 24 de gestación y pesan tan solo 500 gramos. En esta rama de la medicina se emplean los últimos avances tecnológicos y las técnicas de soporte vital más modernas para maximizar las posibilidades de supervivencia y reducir al mínimo los daños, sobre todo los cerebrales.

Sin embargo, estos avances tecnológicos plantean también una serie de problemas éticos. Actualmente es posible mantener con vida a bebés con importantes daños cerebrales que tendrán graves consecuencias durante toda su vida y la de sus familias. Cabe plantearse si es correcto apagar la máquina de soporte vital en estos casos; y en caso afirmativo, quién debería tomar este tipo de decisiones: ¿los médicos, los padres o los tribunales? Mis colegas y yo llevamos años debatiéndonos con cuestiones de este tipo, que suscitan reacciones muy intensas desde el punto de vista humano y personal, y que además no se limitan a ser problemas filosóficos y éticos abstractos. En la medicina, la mayoría de las cuestiones éticas tienen su raíz en el sufrimiento humano, en hombres y mujeres que lloran, padecen y sangran. No es posible comprender el alcance de los problemas filosóficos y teológicos sin empatizar antes con el dolor y la angustia humana.

Ni la sociedad ni los profesionales médicos escatimamos medios para cuidar estos bebés tan pequeños y vulnerables. Los cuidados intensivos tienen un coste diario de unas 1.200 libras (1.400 euros), y garantizar la supervivencia de un bebé extremadamente prematuro supone entre 50.000 y 100.000 libras (entre

61.000 y 120.500 euros), que asume íntegramente el National Health Service, la seguridad social británica. En el centro médico en el que trabajo, hay un equipo de profesionales compuesto por unas 120 personas que trabajan en la unidad de cuidados intensivos neonatal. El mensaje que la sociedad transmite es que creemos que estas vidas tan vulnerables poseen un valor intrínseco, incluso cuando existe un riesgo considerable de que se presente alguna forma de discapacidad o dificultad a largo plazo.

Pero en mi hospital, a un piso de la unidad de cuidados intensivos neonatales se encuentra la de medicina fetal, que cuenta también con los más modernos avances tecnológicos y donde se examina y se somete a procedimientos diagnósticos sumamente específicos a embarazadas de todo Londres y el sureste de Inglaterra, como la amniocentesis y la extracción de muestras de las vellosidades coriónicas, para obtener células del feto para realizar un análisis genético. Estas técnicas tan sofisticadas son capaces de identificar aquellos fetos que presentan anomalías congénitas para las que en la mayoría de los casos no existe tratamiento: la única respuesta que la medicina puede ofrecer es el aborto.

La aparición de resultados genéticos anormales es relativamente común. La más frecuente es la trisomía 21, que señala la presencia del síndrome de Down. Actualmente, en el Reino Unido, el 92% de las madres que descubren que su feto presenta síndrome de Down decide abortar. Lo realmente preocupante es que la amniocentesis y la extracción de vellosidades coriónicas presentan un riesgo considerable de muerte fetal; se calcula que entre dos y cuatro fetos sanos morirán accidentalmente por cada feto al que se le detecte síndrome de Down. Está claro que la sociedad prefiere arriesgar la vida de fetos sanos antes que afrontar la posibilidad de que nazca un niño con síndrome de Down por no haberse podido detectar que lo padecía.

La legislación británica en material de aborto es muy permisiva, y permite la interrupción del embarazo hasta justo antes del parto en caso de malformaciones fetales importantes o anomalías genéticas. Esto significa que, en mi propio hospital, se llevan a cabo un pequeño número de abortos tardíos, o “feticidios” durante las semanas 26, 28, 30 y posteriores. En más de una ocasión he tenido que salir de la unidad neonatal en la que luchamos por salvar la vida de un bebé extremadamente prematuro porque me han llamado para que hable con una mujer embarazada que se plantea abortar en una fase avanzada del embarazo después de que al feto se le diagnosticara algún tipo de anomalía. La ironía del

caso es que el bebé que esta mujer lleva en su vientre es mucho más grande y fuerte que el que tratamos de salvar un piso más abajo.

Muchas veces he pensado cómo es posible que estas dos actividades aparentemente contradictorias se den en una misma sociedad, en un mismo sistema sanitario y en un mismo hospital. Esta pregunta no resulta sencilla de responder, pero parte de la explicación es que en nuestra sociedad se da una prioridad casi absoluta a la autonomía personal, al derecho a regirse por unas normas propias, al “yo pongo mis propias normas”. Pero aparcaremos de momento esta cuestión.

El Reino Unido ha puesto en marcha un importante programa de uso de las nuevas tecnologías de evaluación fetal a nivel nacional, y se han establecido una serie de normas de calidad. Aunque los organizadores de la iniciativa dejan claro que la participación en el mismo es completamente voluntaria para las madres y sus parejas, muchas mujeres se sienten indirectamente presionadas a someterse a las pruebas por miedo a que el no hacerlo se considere una irresponsabilidad desde el punto de vista social. Hay incluso quien sostiene que existe el deber implícito de abortar en caso de que al feto se le identifique una anomalía importante. El filósofo estadounidense Glen McGee afirma: “No cabe duda de que una pareja que descubre con certeza que su bebé vaya a sufrir y a morir incurre en una serie de responsabilidades (...). De vez en cuando, las pruebas genéticas apuntan al *deber de abortar*”.

Los avances en las técnicas de evaluación fetal permiten predecir con mayor exactitud el riesgo del feto de padecer determinadas enfermedades a largo plazo. Pero la cuestión clave es qué hacer con esa información. Si alguien sabe que su futuro bebé tiene un 50% de posibilidades de desarrollar un cáncer de mama antes de los 60 años, o un 35% de posibilidades de sufrir Alzheimer, ¿qué se supone que debemos hacer con esta información? La tecnología nos ofrece cada vez más información que hasta el momento se creía reservada a Dios, lo cual implica asumir una responsabilidad análoga a las suyas. La tecnología ha cambiado la naturaleza de la maternidad. Yo soy quien debe decidir si esta persona debe venir al mundo, con las enormes consecuencias que esto conlleva.

Pero la tecnología afecta a otras muchas otras decisiones, y no solo a las relacionadas con la evaluación fetal. Los avances en las técnicas reproductivas han acabado con la vinculación tradicional que existía entre “hacer el amor” y “hacer un bebé”. La tecnología permite ahora crear un bebé a partir de 1) un donante de espermia, 2) una donante de óvulos, 3) una madre de alquiler. De hecho, un

niño podría tener perfectamente tres madres: la genética (la donante del óvulo), la madre portadora del bebé (la gestante) y la social (la que criará al bebé después de nacer).

El diario estadounidense *The New York Times* recogía la historia de Amy, una mujer soltera que deseaba ser madre aunque no tenía pareja ni quería estar embarazada, así que encargó un bebé por internet. Amy seleccionó al donante de esperma cuyas características le parecieron más adecuadas entre los muchos candidatos de los cientos de páginas que ofrecen estos servicios. A continuación eligió una donante de óvulos; obviamente, el precio de las donaciones de óvulos es mucho más elevado que el de las de esperma, dado que la extracción de óvulos es más invasiva y conlleva más riesgos. Sin embargo, parece que algunas universitarias estadounidenses deciden donar óvulos para financiarse los estudios.

Amy siguió buscando en internet y encontró también una madre de alquiler. Cada vez son más quienes buscan madres de alquiler en países menos desarrollados, como la India o las antiguas repúblicas soviéticas. El turismo reproductivo se ha convertido en un negocio importante, y en una fuente de ingresos para las mujeres con dificultades económicas, si bien plantea una serie de preguntas incómodas acerca de la explotación y la mercantilización de las mujeres y los niños.

Cuando Amy encargó a su bebé a través de internet, en el proceso participaron varias partes que recibieron importantes sumas de dinero. La madre de alquiler tuvo gemelos, pero se negó a entregárselos a Amy una vez que se descubrió su historial médico, que no había revelado. El caso acabó en una batalla judicial y suscitó gran interés del público.

Obviamente, este es un caso extremo, pero sirve para ilustrar cómo las técnicas de reproducción han cambiado la naturaleza de la maternidad. En lugar de aceptar el bebé que nos ha dado Dios o la naturaleza, el ser humano es ahora capaz de ejercer control y tomar decisiones sobre su propia capacidad reproductiva. El bebé se convierte en un proyecto humano, reflejo de los deseos y preferencias de las personas que quieren ser padres.

Las técnicas de reproducción son solo un ejemplo de cómo se usa actualmente la tecnología para superar las limitaciones de la naturaleza humana. La infertilidad, los embarazos no deseados, la discapacidad, las enfermedades genéticas incurables, la fatiga mental y el deterioro cognitivo, la depresión y la angustia, las enfermedades degenerativas y la vejez han formado parte de la vida desde los

albores mismos de la humanidad. Forman parte de “la condición humana”, de una realidad que debemos aceptar les guste o no.

Sin embargo, la idea de que no tenemos por qué aceptar las limitaciones de la existencia humana parece cada vez más extendida. Por primera vez en la historia, contamos con los conocimientos científicos y la tecnología necesaria para cambiar las cosas. La naturaleza va a dejar de tener la última palabra: al fin tenemos la oportunidad de dominar nuestra propia humanidad.

Hemos visto las consecuencias que tiene esta capacidad de control en relación con el comienzo de la vida; veamos ahora las que se manifiestan a su fin. Los medios de comunicación británicos recogen constantemente historias de individuos que creen que no merece la pena seguir viviendo y deciden suicidarse, muchos de ellos viajando a la clínica suiza Dignitas, que ofrece un servicio de suicidio asistido.

Un caso que generó una gran empatía por parte del público británico fue el de Daniel James.

James era una joven promesa del rugby que había jugado para la selección nacional juvenil, pero en 2007, a los 22 años de edad, sufrió una lesión medular en un partido que le causó una parálisis permanente en brazos, piernas y tronco.

Un año más tarde viajó en compañía de sus padres a la clínica Dignitas donde le asistieron médicamente a suicidarse. La familia declaró que el joven había tratado varias veces de quitarse la vida antes de que “accedieran a su deseo”, y declaró: “No cabe duda de que su muerte le liberó de la ‘prisión’ en la que se había convertido su cuerpo, del miedo y del odio que sentía todos los días por su propia existencia”.

Los medios suelen presentar el suicidio como una forma noble y responsable de morir, como el triunfo último de la autonomía del hombre. Resulta interesante analizar cómo ha cambiado el debate público acerca de la eutanasia y el suicidio asistido. En la década de los noventa del siglo pasado, el debate sobre la legalización de la eutanasia estaba al pie de la calle, pero los argumentos se centraban en las personas que morían padeciendo un dolor y un sufrimiento insoportable, normalmente por algún tipo de cáncer.

Este debate acerca de la legalidad de los homicidios por compasión vuelve a plantearse ahora, pero con otros argumentos. Ahora la cuestión clave es la autonomía, el derecho de una persona a morir cuando lo desea, y normalmente

se refiere a enfermos no de cáncer, sino de condiciones neurológicas como la enfermedad de la neurona motriz, la esclerosis múltiple y las lesiones medulares. Todas estas afecciones no causan un gran dolor, pero limitan enormemente la capacidad del individuo de llevar una vida autónoma y tomar sus propias decisiones. Esto guarda una relación directa con el deseo del hombre moderno de controlar su propia humanidad.

Hay también quien sostiene que el suicidio puede ser una forma responsable de morir, en tanto que alivia a los demás de una carga. La filósofa Mary Warnock declaraba en una entrevista realizada en 2008: “Una persona con demencia destroza la vida de los demás, de sus familias, y resulta carísima para los servicios de salud públicos. Estoy completamente convencida de que si una persona padece un dolor insostenible, alguien debe ayudarlo a morir, pero también considero que si alguien desea fervientemente morir porque considera que es una carga para su familia, o para el Estado, debería poder hacerlo”. Estas declaraciones, aunque reflejan el sentir de muchos, crearon una fuerte polémica y despertaron críticas feroces por parte de la mayoría de los cuidadores de enfermos de Alzheimer.

En 2006 la *UK Voluntary Euthanasia Society* (Sociedad Británica por la Eutanasia Voluntaria) cambió su nombre a *Dignity in Dying* (Dignidad al morir). Su página recoge: “*Dignity in Dying* pretende promover el derecho de toda persona a tener el control sobre el final de su propia vida y acceder a una serie de servicios en ese momento. Creemos que debemos tener una mayor capacidad de decidir cómo, cuándo y dónde morir. Esta capacidad de elegir incluye el hecho de brindar a las personas en pleno uso de sus facultades, con una enfermedad terminal y que padezcan un sufrimiento insostenible, la posibilidad de optar por una muerte asistida con unas estrictas garantías jurídicas”. Resulta interesante que quienes promueven la muerte con asistencia médica evitan deliberadamente emplear términos claros como “eutanasia”, “suicidio” o “muerte por compasión”, y que optan por otros más vagos y eufemísticos como “una muerte digna que entrañe el mínimo sufrimiento”, “derecho a decidir cómo morir”, “asistencia para morir”, y “poder decidir cuándo terminar con el sufrimiento si es insostenible”.

La antropología humana (la forma en la que estamos hechos) conforma la base de la ética humana, esto es, la manera en la que nos corresponde tratar a los demás. Muchos de los debates éticos sobre cuestiones relacionadas con el inicio

y el fin de la vida tienen su origen en las diferencias a la hora de entender qué significa ser humano.

El pensamiento naturalista concibe al ser humano como un producto del azar y la necesidad, una entidad puramente material, y la distinción entre los animales humanos y no humanos no se considera del todo clara ya que los primates u otros animales muestran todas las habilidades, capacidades y funciones que se consideran exclusivamente humanas. Al mismo tiempo, la distinción entre los humanos y las máquinas también se desdibuja. La concepción mecanicista de la psicología humana ha tenido un éxito arrollador. La tecnología del procesamiento de la información puede arrojar luz sobre las funciones del cerebro humano; a fin de cuentas, nuestro cerebro no deja de ser un ordenador hecho con carbono en lugar de con silicio.

El pensamiento actual sobre la naturaleza humana adolece de una notable dispersión y falta de coherencia. Por una parte, se exalta la autonomía personal como bien supremo, como fin último de la vida humana y principio rector de la ética médica. El concepto moderno de autonomía individual resulta de una concepción profundamente dual de la naturaleza humana: yo (la conciencia con capacidad de decisión) tomo las decisiones acerca de lo que debe sucederle a mi cuerpo; la conciencia con capacidad de decisión y el cuerpo son dos entidades esencialmente distintas. Pero al mismo tiempo que esta ética secular exalta la noción del yo que elije, la neurociencia moderna echa por Tierra este concepto: la mayoría de los científicos que estudian el cerebro sostienen un estricto monismo, muy lejos de la dualidad en la que basan el yo que elije. No existe una conciencia independiente con capacidad de decisión: tan solo una serie de mecanismos celulares y procesos físicos que se desarrollan según las leyes científicas básicas. La conciencia con capacidad de decisión es un epifenómeno resultante de la maquinaria neuronal.

Pero, a pesar de escollos filosóficos fundamentales, el concepto de autonomía mantiene su predominancia: nuestra búsqueda de control y dominio sobre la naturaleza implica que se desdibuje la diferencia entre lo natural, lo que nos es dado y que aceptamos, y lo artificial, lo que elegimos y creamos. Este es uno de los objetivos de lo que se ha dado en llamar la Ilustración, el control de la naturaleza a través de la ciencia, la razón y el ingenio humano en aras de un mundo mejor.

La Ilustración concibe la libertad humana como libertad de las restricciones que impone el orden natural: lo natural se considera una limitación claustrofóbica de la que debemos zafarnos si queremos desarrollar todo nuestro potencial

como seres humanos. Varios autores han señalado que el control sobre la naturaleza suele implicar el control del fuerte sobre el débil. Los avances tecnológicos han venido de la mano de la instrumentalización de los seres humanos más vulnerables, tal y como hemos visto anteriormente en relación con las tecnologías de reproducción asistida. Otro ejemplo es el extraordinario éxito de la cirugía de transplante de órganos, que ha generado un tráfico de órganos a nivel mundial. Pero acaso no debiera sorprendernos que órganos humanos como riñones, hígados y córneas viajen por el mundo pasando de los cuerpos pobres a los ricos, de los negros a los blancos, de los de las mujeres a los de los hombres.

Tal y como declaró el autor británico C. S. Lewis: “El poder del ser humano sobre la naturaleza resulta ser el poder que ejercen unos hombres sobre otros”.

Una de las cuestiones más importantes del debate acerca de la identidad humana es la cuestión de qué significa ser humano. La definición de Peter Singer se centra en la capacidad de decisión: “Un ser con conciencia de uno mismo y capacidad suficiente para tomar decisiones, que actúa de acuerdo con las preferencias que profesa sobre seguir viviendo”. El filósofo John Harris propone: “un ser capaz de valorar su propia existencia. (...) El valor de mi vida es, precisamente, el que yo le atribuyo”.

Estas definiciones se centran en un alto nivel de funcionamiento cognitivo, pero, obviamente, muchos seres humanos no cumplen estos criterios. El propio Singer señala que: “existen muchos animales no humanos cuya racionalidad, conciencia propia, capacidad de sentir, etc. es mayor que la de un bebé de una semana, un mes e incluso un año. (...) Un chimpancé adulto responde más a la descripción de “persona” que un recién nacido”.

Singer sostiene que al realizar una distinción con los *homo sapiens* y concederles un trato especial se incurre en el mal moral del “especismo”, pero en mi opinión, lo que Singer ha hecho ha sido sustituir una forma de discriminación por otra. En lugar de discriminar por la pertenencia a una u otra especie, propone una diferenciación en base a la función cortical; quizás podríamos llamar a esta teoría “corticalismo”. Pero ¿por qué una discriminación en base a unos cuantos milímetros de materia gris debería ser preferible a otra que se basa en la pertenencia a una u otra especie?

Uno de los grandes problemas que presenta la definición de la condición humana de Singer es que resulta enormemente vulnerable frente a las contin-

gencias. Mientras que me encuentro aquí sentado escribiendo estas palabras, la actividad de mi corteza cerebral es suficiente como para que yo sea considerado un ser humano; pero si de repente me cae un ladrillo en la cabeza y me provoca un daño cerebral, dejaría de serlo. Si posteriormente me recupero gracias a la ayuda de un especialista en rehabilitación, puede ser que vuelva a serlo de nuevo. Mi condición de persona pende de un hilo, y es vulnerable frente a los acontecimientos.

La definición de Singer conduce también a una división de facto en la sociedad humana entre personas y no personas, entre poseedores y los desposeídos: para ser tratado como una persona como los demás, un individuo debe ganarse ese derecho; para ser admitido en el círculo de seres con capacidad de decisión y de establecer el valor de las cosas, debes demostrar una actividad cortical suficiente. Estas premisas parecen promover más la segregación que la cohesión social.

Esto está en profunda contradicción con la concepción cristiana de la identidad humana, una visión antropológica sumamente influyente en el desarrollo de la sociedad y la cultura occidental. La narrativa de la Creación, en el primer capítulo del Génesis, recoge: “Y creó Dios al hombre a su imagen. A imagen de Dios lo creó”.

El pensamiento cristiano considera que el hombre ha sido creado a la imagen y semejanza de Dios. Los seres humanos somos especiales porque somos los únicos del universo (que sepamos) hechos a su imagen y semejanza. Por lo tanto, la vida humana además de un don, es el reflejo del carácter y la existencia de Dios, Por lo tanto, para el pensamiento cristiano, el ser humano no se puede explicar por sí mismo. Somos el producto de Dios. Nuestro significado deriva de fuera de nosotros mismos, de Dios, ya que hemos sido creados a su imagen y semejanza. No somos individuos autónomos; no nos creamos constantemente a partir de las decisiones que tomamos; muy por el contrario, somos imágenes reflejo de otra realidad.

Imaginemos una población de alienígenas superinteligentes en un planeta lejano que recibe una imagen distorsionada enviada desde el planeta Tierra que muestra un curioso patrón de líneas y colores. Las líneas amarillas tienen un grosor de 6 píxeles y tienden hacia una simetría curva, mientras que las negras presentan un grosor parecido pero son más verticales. Los colores reflejan la capacidad de absorción en intervalos de longitudes de onda de entre los 400 y 700 nm, etc. Sin embargo, por más que las mentes alienígenas estudien y examinen la

imagen, no lograrán entenderla hasta que no descubran que la colección de colores y formas es un mapa, concretamente el del metro de Londres. Las extrañas líneas de colores se refieren a otra realidad, a una serie de estructuras metálicas tubulares que se encuentran en el subsuelo de un planeta determinado y en un lugar concreto del universo.

Del mismo modo, nunca comprenderemos del todo lo que supone ser humano examinando el genoma hasta su más mínimo detalle, ni analizando los miles de millones de conexiones neuronales que suceden dentro del cerebro; los seres humanos reflejan otra forma de realidad, esto es, el carácter y la existencia de Dios. No cabe esperar explicar qué es lo que somos simplemente estudiándonos.

Por otra parte, el Génesis mantiene que Dios hizo al hombre con polvo de la Tierra (Génesis 2:7). La palabra hebrea Adam se deriva de *adamah*, suelo, Tierra. Todos estamos hechos de la misma materia, la misma que forma todos los objetos del universo, y presentamos las limitaciones propias de la materia. Los humanos somos seres físicos, dependientes, débiles y vulnerables, y el Génesis deja claro que esto no es una consecuencia de nuestra naturaleza material, sino la esencia de cómo hemos sido diseñados. En el Libro de los Salmos, el Creador recuerda lo frágil de nuestra naturaleza: “Como un padre cariñoso con sus hijos, así es cariñoso el Señor con sus fieles; él conoce de qué estamos hechos, sabe muy bien que no somos más que polvo” (Salmo 103:13-14).

En tercer lugar, el Génesis inscribe a creación humana dentro el marco de la familia. Resulta interesante ver como la genética de poblaciones reciente apunta a que esta idea no es simplemente una imagen poética, sino también una realidad física; todos los seres humanos del planeta comparten unos ancestros, hombres y mujeres, comunes: todos formamos parte de una única familia humana. Donde quiera que te encuentres, la persona que tienes al lado es un pariente lejano con el que, a pesar de las diferencias superficiales, compartes un parecido. Por eso estamos llamados a tratar a los extraños, a los inmigrantes, con amor y respeto: porque somos familia, y en las familias los fuertes tienen el deber de proteger y cuidar de los débiles, por lo que es perfectamente natural que unos seamos una carga para otros. En palabras del apóstol Pablo: “Sobrellevad los unos las cargas de los otros, y cumplid así la ley de Cristo”.

La dependencia no es algo infrahumano, indigno, impropio de la naturaleza humana, sino parte de ella, desde el principio de la historia.

El teólogo Gilbert Meilaender afirma: “Somos seres dependientes, y pensar lo contrario y hacer de la independencia nuestro proyecto vital, aunque se haga con total convencimiento, es una falacia, es vivir de espaldas a la realidad (...) La máxima expresión humana no está en intentar dirigir y controlar nuestro destino, sino en reconocer y admitir que nuestra vida proviene y está en manos de Dios”.

La concepción cristiana de la condición humana se remite a la doctrina de la Santísima Trinidad, que se formuló en los siglos posteriores a la muerte de Cristo y que sostiene que Dios es simultáneamente uno y trino. Según el pensamiento trinitario, las personas se definen por las relaciones que existen entre ellas; el individuo se constituye en tal en la comunión, en la libertad de entregarse los unos a los otros: en el amor desinteresado. En la cosmovisión clásica no existía el concepto de persona, y el término latino “*persona*” se refería a la imagen social que proyectamos hacia los demás, al papel que desempeñamos en la sociedad. Fueron los teólogos cristianos quienes, más adelante, desarrollaron el concepto: ser una persona era asemejarse a Dios y participar en cierto modo en la vida divina del Creador.

Descartes proclamó: “Pienso, luego existo”, un concepto sumamente influyente que conforma la base de la concepción individualista y secular de la condición humana. Una afirmación alternativa que siguiera los preceptos de la teología trinitaria sería: “Soy amado, luego existo. Soy consciente de que soy amado, lo cual me confiere un significado. En última instancia, Dios mismo me dio la existencia, me conoce y me ama. Aunque tenga dificultades cognitivas y no sea capaz de elegir, pierda el juicio o me ofusque, no perderé nunca la dignidad humana, ya que esta es inalienable. Por lo tanto, mi condición como persona es inmutable.”

La visión cristiana del concepto de humanidad va más allá de la Creación, hasta la Encarnación. Cuando Dios irrumpe en la historia se sirve de la Encarnación para presentarse como un ser humano. La persona de Jesús supone el último voto de confianza de Dios en el ser humano dependiente que Él había creado. Nuestra humanidad no es una barrera que se interpone entre nosotros y Dios, sino la forma en la que Dios se manifiesta. Jesús de Nazaret experimentó todas las fases de la existencia humana. Llegó al mundo en el cuerpo de un ser que dependía por completo del amor y los cuidados de los demás, y al final de su vida humana se vio clavado a una cruz sin poder hacer nada, susurrando con sus

labios abrasados las palabras “Tengo sed”. No hay ninguna experiencia humana que Dios no haya vivido en el cuerpo de Jesús. “Nos acompañó en la oscuridad del vientre materno del mismo modo que lo hará en las tinieblas de la sepultura”.

Por lo tanto, el misterio de la vida de Jesús de Nazaret contiene la experiencia humana de muchos de nosotros. Para que Dios se manifieste con claridad ante nosotros no debemos fijar la vista en la figura del fuerte, del poderoso, de los especímenes humanos más perfectos, en el atleta olímpico ni en el Premio Nobel, sino en los discapacitados, en quienes están destrozados, quienes presentan daños cerebrales; en los débiles. Esto es parte del Misterio Pascual. Dios no se manifiesta a través de la fuerza y el poder, sino a través del cuerpo sangrante y destrozado de un hombre en la cruz.

La antropología cristiana llama al cuidado de los débiles y los dependientes, así como a defender y estimular el florecimiento de su humanidad. La respuesta cristiana a las técnicas de evaluación fetal debería ser, en lugar de aceptar la propuesta de destrucción selectiva de la vida, estar preparados para dar la bienvenida a los que son genéticamente diferentes, y que posiblemente vayan a ser discapacitados o dependientes. Las pruebas de evaluación fetal prenatales envían un mensaje negativo: no queremos niños que no sean normales. Por el contrario, Joseph Pieper se refería al deber de cuidado de este modo: “El amor cristiano es una forma de decir al otro ‘me alegro de que existas, me alegro de que estés en el mundo’”.

En la recta final de la vida, en lugar de promover el derecho a la autodestrucción, deberíamos promover unos cuidados paliativos de calidad en aras del bien común. Los cuidados paliativos modernos emplean técnicas médicas y de enfermería y equipos multidisciplines de profesionales para ofrecer un tratamiento integral a las personas que se enfrentan al “dolor total” de la agonía; es una forma de ayudar a quien está muriendo a aprovechar la vida al máximo. Tal y como reza uno de los lemas del movimiento que promueve estos cuidados: “No solo te ayudaremos a morir dignamente, sino que te ayudaremos a vivir antes de morir”. Se trata de una alternativa positiva y real a la eutanasia. “No es necesario acabar con la vida del paciente para acabar con el dolor”.

De este modo, nos encontramos ante dos visiones antropológicas opuestas. El individualismo secular de Peter Singer contempla una conciencia con capacidad de decisión que lucha por controlar la naturaleza, mientras que la antropología cristiana presenta a un ser maravilloso, creado a la imagen y semejanza de

Dios, pero vulnerable y dependiente, creado a partir del polvo de la Tierra, que debe cuidar de la obra de Dios y promover el florecer humano y el bien común.

Todas las teorías tienen consecuencias, y las distintas concepciones antropológicas influyen en la aplicación de las tecnologías del campo de la biomedicina. La cuestión que se plantea es cuál de estas dos consecuencias de la identidad y el fin humano prevalecerá en el siglo XXI.

www.fundacionareces.es

