

Instituto de España
Real Academia Nacional de Farmacia

LECTURAS SINGULARES

1



Del Corazón y la Mente

por el

Excmo. Sr. D. Manuel Losada Villasante

Madrid 2005

Depósito legal: M. 19.708-2005
Impreso en Realigraf, S. A.
Pedro Tezano, 26
28039 Madrid

PRÓLOGO

JUAN MANUEL REOL REJADA

Presidente de la Real Academia Nacional de Farmacia

Manuel Losada, Catedrático de la Universidad de Sevilla, Dr. en Farmacia, es uno de los científicos españoles más brillantes. Premio Príncipe de Asturias de las Ciencias, escribe, desde la juventud lúcida de sus setenta y cinco años y por ello desde la cima de su vida, sobre el gran misterio de la existencia, la razón, la ciencia, la trascendencia, y los sentimientos, en suma **«Del Corazón y la Mente»**.

Reflexiona el Prof. Losada sobre los mecanismos moleculares y las grandes leyes de la física, y las emociones. Dios está permanentemente presente en su reflexión sin ir más allá de lo que la ciencia permite, incapaz de demostrar su existencia. Pone, sin embargo, ante nuestros ojos el testimonio personal de los sabios y las emociones de los poetas.

Una línea de pensamiento actual reduce la mente al cerebro, es decir traduce nuestros actos a las leyes de la mecánica cuántica y la herencia genética.

En los años cincuenta y sesenta, las gentes que se interrogaban sobre las preguntas que no tienen respuesta, pasaban de la esperanza al nihilismo según leyese las difíciles páginas de Teilhard du Chardin, el paleontólogo cristiano o de Jean Paul Sartre, el filósofo ateo.

Teilhard en la escala de la evolución y la hominización encontraba una flecha que iba de alfa a omega. La Ley de la complejidad → consciencia intentaba el salto de la ciencia a la fe.

Sartre fue uno de los más grandes filósofos del siglo XX y uno de los más equivocados en sus opiniones políticas. Él y su escuela existen-

cialista afirmaban que el hombre es un ser para la nada, un ser para la muerte, una pasión inútil. Ello lleva, en el mejor de los casos, al nihilismo redentor de Albert Camus: es preciso que Sísifo acometa una vez más la tarea porque, en sí misma, esa tarea construye la dignidad humana. La otra posición es destructiva conduce al suicidio y la desesperanza absoluta que es el peor de los males.

Sartre y Theilhard son los dos polos de aquella dialéctica: de la nada al «pan-teísmo» cristiano, «Dios todo en todos»

Si la vida tiene un sentido, la fe descubre la esperanza. La fe es irracional pero es razonable, afirman los estudiosos de la Teología.

Manuel Losada ha hecho en su intervención un canto a la vida. La vida es algo tan fuerte que doblega a la muerte. La muerte no pasa de ser el acto más importante de la vida. Toda la intervención del Prof. Losada es la expresión de su amor infinito a la vida en general, un canto a la vida humana especialmente, y a la esperanza «razonable» de su trascendencia.

Al término de su conferencia en la Real Academia Nacional de Farmacia se produjo un coloquio en el que muchos intervinientes se felicitaron del hecho de que en una Academia científica se hubiese oído una conferencia tan rica en ciencia como pletórica de humanismo. Ese debe ser uno de los objetivos de las Academias, propiciar el diálogo entre las ciencias y las humanidades.

El cuidadosísimo trabajo del Prof. Losada, su extraordinaria hilazón científica y su contrapunto humanístico, poniendo de manifiesto el ansia de eternidad del ser humano, a través de los testimonios de los sabios y la emoción de los poetas, sin acercarse nunca al dogmatismo, constituye un valiosísimo documento que merecía una especial publicación.

El trabajo del Prof. Losada inaugura una colección que incluirá temas abiertos a la dimensión humanística de nuestra Academia y que llamaremos «**Lecturas Singulares**». El lector tiene hoy en sus manos un texto que le descubrirá los senderos de la ciencia escrutando la naturaleza, desde el «big-bang», la gran estampida, a la biología molecular, la electrofisiología **y la mente**. A la vez encontrará el latido del corazón, los sentimientos, lo indefinible y el horizonte de la esperanza humana.

DEL CORAZÓN Y LA MENTE

MANUEL LOSADA VILLASANTE

Recuerde el alma dormida,
avive el seso y despierte
contemplando
como se pasa la vida,
como se viene la muerte
tan callando....

Jorge MANRIQUE (1440-1478)

INTRODUCCIÓN

Quiero en primer lugar expresar mi profunda gratitud a nuestro activo y eficiente Presidente, don Juan Manuel Reol Tejada, por la amable invitación que me hizo el verano pasado para que pronunciase en el presente curso de esta Real Academia Nacional de Farmacia una conferencia sobre un tema de mi libre elección. Se da la circunstancia de que acabo de cumplir 75 años y me despido definitivamente de mis dos grandes amores: la Universidad, particularmente la de Sevilla, fundada hace ahora quinientos años por el canónigo arcediano carmonense maese Rodrigo FERNÁNDEZ DE SANTAELLA (1444-1509), y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, creado hace algo más de cincuenta por mi maestro José María ALBAREDA (1902-1966). Pongo así punto final a la intensa y fecunda carrera docente e investigadora que durante estos últimos años he podido coronar gracias a Dios como profesor emérito en el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis del Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja de Sevilla y entro en una nueva fase, serena y amable, de la vida, la de la

jubilación temporal, que no se me oculta es prelude cercano e inapelable de la eterna.

Es quizás esta última etapa de la vida —vencidas y apagadas ya en gran parte las pasiones— la más sosegada, reflexiva y expectante de la existencia, y hay muchos hombres de mente clara y corazón limpio, cultos o sencillos, que creen que mientras todavía viven en este mundo y antes de separarse definitivamente de él deben esperar confiadamente en otra vida perdurable, distinta y mejor. Así de magistralmente lo hizo Miguel de CERVANTES (1547-1616) y así lo dejó escrito en la «Dedicatoria y Prólogo de El Persiles» puesto ya el pié en el estribo, con las ansias de la muerte: «¡Adiós gracias, adiós donaires, adiós regocijados amigos; que yo me voy muriendo, y deseando veros prestos contentos en la otra vida!». Entrañable y esperanzadora despedida para recordarla con júbilo en el IV Centenario de su inmortal *Quijote*. Precisamente la bondad y el arte derrochados por CERVANTES en esta novela tan humana y universal han enseñado a los pueblos con humor y esperanza que en esta vida hay que ser realistas y tener los pies en el suelo como Sancho e idealistas con la mirada puesta en el cielo como don Quijote. El gran novelista alemán, Thomas MANN (1875-1955), premio Nobel de Literatura en 1929 y conocedor a fondo de la obra de CERVANTES, concluyó que ésta sólo puede ser entendida como «producto de la cultura cristiana, de la psicología y humanidad cristianas, y de lo que el cristianismo significa eternamente para el mundo del alma».

Decía el profundo pensador alemán Arthur SCHOPENHAUER (1788-1860), gran admirador del escritor jesuita aragonés Baltasar GRACIÁN (1601-1658) y cuya filosofía es fundamentalmente pesimista, que «hay que haber vivido mucho para darse cuenta de lo corta que es la vida»; su doctrina considera que es indispensable la piedad para salvar a los hombres del egoísmo y permitirles superar el sufrimiento que éste engendra. Desde otro ángulo, el caballero sevillano Miguel MAÑARA (1626-1679), autor del *Discurso de la Verdad*, terminaba su soneto sobre la vida y la muerte bendiciendo a ésta: «Luego el vivir es una amarga muerte; Luego el morir es una dulce vida». Por su parte, el exquisito y sensible poeta, también sevillano, Manuel MACHADO (1874-1947) concluía el terceto final de su soneto *De profundis* con una hermosa reflexión, plena de cristiana confianza: «Que es la vida el camino de la Muerte, y la Muerte el camino de la Vida». En otro soneto,

Alfa y Omega, rebosante de gracia y fina filosofía andaluza, Manuel MACHADO expresó con clara sencillez lo que es ciertamente el devenir humano en su corta andadura:

Cabe la vida entera en un soneto
empezado con lánguido descuido,
y, apenas iniciado, ha transcurrido
la infancia, imagen del primer cuarteto.

Llega la juventud con el secreto
de la vida, que pasa inadvertido,
y que se va también, que ya se ha ido,
antes de entrar en el primer terceto.

Maduros, a mirar a ayer tornamos
añorantes y, ansiosos, a mañana,
y así el primer terceto malgastamos.

Y, cuando en el terceto último entramos,
es para ver con experiencia vana
que se acaba el soneto... Y que nos vamos.

El título elegido para mi conferencia, *Del corazón y la mente*, engloba temas muy diversos de enorme relevancia y trascendencia para la ciencia y el hombre de nuestro tiempo. Con estupefacción y agrado voy a tratar de desarrollarlos desde mi perspectiva de bioquímico y biólogo molecular y celular como científico y humanista que ha dedicado con pasión y devoción su vida a estudiar la vida misma y sus misterios a la luz de Dios y del Sol radiante, entreverando el desarrollo histórico de nuestros conocimientos fisicoquímicos y biológicos con lo que sabemos, ignoramos y creemos sobre el origen y la evolución del Universo y de la vida hasta culminar en lo que ha sido sin duda la obra maestra de la Creación: la mente y el corazón del hombre. El milagro de la Creación del Universo y del hombre ha permitido a la mente atisbar en lontananza la luz del Creador, y al corazón sentir en sus entrañas el divino palpito del misterio impenetrable y sublime de la existencia humana. Es fundamental distinguir claramente desde el principio lo que sabemos de lo que creemos, pues como ya puntualizó con perspicacia San AGUSTÍN (354-430) «no todo lo que creemos lo sabemos», y la historia del Uni-

verso, de la humanidad y de la ciencia está llena de ejemplos a este respecto, algunos muy importantes todavía por aclarar. ¡Cuántos malentendidos podrían haberse evitado y podrán evitarse en el futuro si se distingue responsable y cuidadosamente entre el saber de la mente y el creer del corazón!

En esta solemne ocasión quisiera tener un recuerdo especial para don José CASARES GIL (1866-1961), figura excelsa y venerable de la Farmacia española, a quién me introdujo don José María ALBAREDA allá por los años cuarenta durante mi época de estudiante de Licenciatura en la Facultad de la Ciudad Universitaria. Tanto él como Antonio MADINAVEITIA (1890-1974) habían trabajado en los años diez con el profesor Richard WILLSTÄTTER (1872-1942), premio Nobel de Química en 1915 por sus investigaciones sobre los pigmentos vegetales y especialmente sobre la clorofila. Yo fui a Alemania enviado por ALBAREDA en 1954 para estudiar la estructura de los cloroplastos, utilizando fundamentalmente la fluorescencia de este pigmento verde de las hojas en el microscopio de luz ultravioleta. La clorofila, aislada un siglo antes por los farmacéuticos franceses Pierre-Joseph PELLETIER (1788-1842) y Joseph-Bienaimé CAVENTOU (1795-1877) en 1817, constituye el sistema transductor de la energía luminosa del Sol en energía química más importante de la Biología. Por haber determinado la estructura y conseguido la síntesis de esta magnesioporfirina, así como de la hemina y otras moléculas orgánicas, fueron también premiados con el premio Nobel de Química el alemán Hans FISCHER (1881-1945) en 1930 y el americano Robert WOODWARD (1917-1970) en 1965.

EL MILAGRO DE LA VIDA

Al ser introducidos en el estudio de las Ciencias Biológicas nos quedamos atónitos al conocer el sorprendente número de tipos diferentes de organismos vivos que existen en nuestro mundo, pero esta prodigalidad de la naturaleza en cuanto a formas de organización y número de especies y de individuos no tiene en absoluto paralelo con lo reducido de la maquinaria fisicoquímica y de las estructuras atómicas, moleculares y celulares que emplea. Lo que en definitiva hace comprensibles a la Química biológica y a la Biología molecular y celular y las salva de una confusión agobiante y sin remedio es que aunque la vida sea complicada no lo es

tanto como pudiera serlo, pues la materia viva presenta una unidad de composición, estructura y función realmente admirables, junto con un origen común y una evolución química y biológica racional cada vez mejor conocidos. Esta realidad llevó a afirmar al ingenioso bioquímico Albert SZENT-GYÖRGYI (1893-1986), premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1937: «No hay diferencias esenciales entre coles y reyes; todos somos hojas recientes del viejo árbol de la vida».

Desde el siglo pasado, el perfeccionamiento de las modernas técnicas de la Física, la Química y la Biología ha permitido estudiar los más recónditos detalles del origen y la evolución de la materia y de la materia viva hasta llegar a los límites de la mente y quizás del corazón que estamos ya viviendo. Asimismo, la Biofísica, la Bioquímica, la Genética molecular y la Biología celular han conseguido desvelar, tanto a nivel de genoma como de proteoma, los mecanismos de muchos de los procesos básicos vitales, poniendo de manifiesto que las diversas expresiones de la vida, tanto vírica y bacteriana como vegetal y animal e incluso humana, tienen principios y modelos fisicoquímicos y celulares únicos y comunes. Estas disciplinas están ejerciendo además su amplio y enorme poderío en las Ciencias Biológicas, así como en el progreso y desarrollo científico y tecnológico de la Agricultura, Maricultura, Ganadería, Farmacia y Medicina.

La materia viva existe en una jerarquía de estados de organización fisicoquímica y biológica creciente: partículas elementales, átomos, iones, moléculas, sillares moleculares, macromoléculas, agregados supramoleculares, orgánulos, células, tejidos, sistemas, órganos, aparatos, organismos, sociedades vegetales y animales. Cada paso —dirigido o espontáneo en la más amplia y profunda acepción de la palabra— introduce en esta escala evolutiva ascendente nuevos grados de complejidad y cooperatividad estructural y funcional y, en consecuencia, nuevas cualidades y leyes que no son observables a niveles de organización más inferiores. Sabemos que las células procariótica y eucariótica y sobre todo la célula nerviosa han sido las grandes conquistas de la increíble aventura de la Biología, pero todavía no sabemos con certeza científica si la mente está gobernada en último término por leyes que superan a las fisicoquímicas propias de la materia y de la materia viva, ni si hay una espiritualidad sobre la materialidad o ni siquiera una neuroinformática o una neurofilosofía sobre la neurofisiología.

La complejidad del cerebro se debe en gran parte a la magnitud de sus parámetros estructurales y funcionales —cerca de un billón de neuronas (10^{11}) con un millón de sinapsis (10^5) cada una— y a la perfecta integración de la abrumadora y polifacética información que procesa. Desde los originales descubrimientos del electrofisiólogo GALVANI, el físico y fisiólogo Von HELMHOLTZ y el histólogo CAJAL, el progresivo conocimiento de los mecanismos fisicoquímicos de la comunicación intercelular en el sistema nervioso ha constituido uno de los avances más espectaculares de la ciencia.

Los científicos estadounidenses Richard AXEL (1946-) y Linda BURK (1947-) fueron galardonados en 2004 con el premio Nobel de Fisiología o Medicina por haber revelado los secretos biológicos del olfato, el más enigmático de nuestros sentidos durante mucho tiempo y el de mayor capacidad evocadora. Estos investigadores descubrieron en 1991 la existencia de una familia de unos 1.000 genes codificantes de las proteínas receptoras olfativas que permiten mediante señales eléctricas reconocer y memorizar en el cerebro hacia 10.000 olores. Por otro lado, una vez secuenciado el genoma humano ha resultado que su número de genes es relativamente bajo (alrededor de 25.000), comparado, por ejemplo, con los del ratón y la planta emblemática *Arabidopsis thaliana* (del orden de 30.000), el pollo y el gusano (hacia 20.000), la mosca del vinagre (hacia 15.000) o la levadura de cerveza (hacia 5.000). Datos preliminares indican que la diferencia entre el hombre y el chimpancé es de tan sólo el 1,3 %. Yo tuve la venturosa oportunidad, que aproveché con creces, de poder realizar los trabajos de mi tesis doctoral sobre Genética–Bioquímica de levaduras en el laboratorio Carlsberg de Copenhague, adonde fui enviado en 1955 también por ALBAREDA.

La vida, y más concretamente la vida humana, es el milagro más grande y fabuloso de nuestro mundo. En ella ha culminado de manera portentosa la complejidad natural de composición, estructura y función con una precisión tan fina, una adaptabilidad tan vasta y una perfección tan consumada que sobrepasa todas las maravillas de la moderna tecnología. ¡Basta comparar el águila con el «Concorde» o un tiburón con el «Titanic»! Desde un punto de vista mecanicista, la vida es un equilibrio dinámico abierto e inestable de infinidad de reacciones fisicoquímicas perfectamente reguladas y controladas que se acoplan y concatenan en perfecto orden y armonía. En concreto, los organismos vivos están cons-

tantemente sintetizando y destruyendo sus proteínas, proceso este último en el que juegan un papel fundamental la ubicuitina —la molécula que da «el beso de la muerte»— y los proteosomas —los vaciaderos de desguace—. Este descubrimiento —realizado en 1980 por el científico estadounidense Irwin ROSE (1926-) y los israelíes Aarón CIECHANOVER (1947-) y Abraham HERSHKO (1937)— ha sido avalado el pasado año con la concesión a estos investigadores del premio Nobel de Química.

Hasta tal punto es característico de la vida el delicadísimo equilibrio de reacciones biofísicas y bioquímicas que la definen que su alteración es causa de malestar y enfermedad, y su interrupción la más segura evidencia de la muerte. Los trastornos genéticos y del equilibrio fisicoquímico de la vida afectan no sólo a la salud del cuerpo sino a la de la mente y el corazón. Estamos ya en el umbral de una época en que la neuropsicofarmacología, apoyada en bases científicas muy sólidas, está suministrando medicamentos que actúan sobre el Sistema Nervioso Central y pueden remediar hasta cierto grado los desequilibrios y enfermedades de la mente y el corazón, así como los dolores y angustias del alma, si es que puede hablarse en sentido estricto del alma en términos fisicoquímicos. El Diccionario de la Lengua de la Real Academia Española define a la mente como «potencia intelectual del alma», y a ésta como «sustancia espiritual e inmortal, capaz de entender, querer y sentir que informa al cuerpo humano y constituye con él la esencia del hombre». Uno de los atributos más admirables del alma es su sed insaciable de Verdad y Amor. De una persona bondadosa y sencilla se dice que es un «alma de Dios», y «confía su alma a Dios» el que se siente próximo a morir.

Desde el punto de vista anatómico y fisiológico el corazón es el órgano muscular situado en la cavidad torácica encargado de impulsar la sangre a través del sistema vascular, es decir, el motor del sistema de bombeo continuo en circuito cerrado del sistema circulatorio. Pero el corazón es también en sentido figurado la sede de la sensibilidad afectiva, idealizada como lugar privilegiado del encuentro entre el hombre y Dios y quien sabe si con el mismísimo demonio. ¿Se puede pensar entonces que el corazón y el alma tengan bases fisicoquímicas, si son entes anímicos que no poseen siquiera los materiales propios de las sustancias corpóreas? En el corazón anidan y tienen especialmente su

asiento la misericordia y la piedad, la fe y la esperanza, el ánimo y el desaliento, la alegría y la tristeza, el perdón y la venganza. En el corazón tienen también sus raíces la franqueza y la sinceridad, así como la verdad sin recovecos ni apaños que brota de las entrañas y no engaña nunca. Nadie dice más verdad que el que habla «con el corazón en la mano», ni espera con más confianza que quien se encomienda a Dios «de todo corazón», como nos dejaron escrito con fiabilidad y lucidez maestros de la talla de CERVANTES y UNAMUNO (1864-1936). Por el contrario, nadie es más insensible e impenetrable al sacrificio y al sufrimiento del prójimo que el «duro de corazón» o el que tiene el «corazón de piedra»; ni nada hay más inhumano y cruel que no tener compasión ni caridad, que «no tener corazón», que «estar enteramente poseído de envidia».

Paradójicamente se puede tener buena cabeza y ser malvado, y al revés, tener poco seso y buen corazón. En su clásica novela *Of mice and men*, el californiano John STEINBECK (1902-1968), premio Nobel de Literatura en 1962, describe así al muchacho simplón y grandote Lennie por boca del carretero Skinner: «He's a nice fella. Guy don't need no sense to be a nice fella. Seems to me sometimes it just works the other way around. Take a real smart guy and he ain't hardly ever a nice fella». «Bienaventurados los limpios de corazón, porque ellos verán a Dios», predicó con amorosa ternura divina y humana Jesucristo en el Sermón de la Montaña, y reconfortante es la locución latina que recitan en la Misa los celebrantes al comienzo del Prefacio para fortalecer y elevar sus pensamientos y sentimientos: «Sursum corda», ¡Arriba los corazones!

Por ser el dinamismo condición inseparable de la vida, los seres vivos han de consumir continuamente energía fisiológica y nutrientes para realizar sus múltiples actividades vitales, crecer y multiplicarse; entre ellas, y por lo que ahora más específicamente nos concierne, las funciones propias de la mente y del corazón. Los organismos vivos son máquinas biológicas perfectas que en nada contradicen los principios de la termodinámica. Su fuente de energía más remota es la fusión nuclear que tiene lugar en el Sol, y la más inmediata, la bellísima luz que éste envía a la Tierra, unos 100 vatios por metro cuadrado, o sea, casi un trillón de vatios ($\sim 10^{17}$ W) en total. Con singular eficiencia planetaria ($\sim 10^{14}$ W) la clorofila del mundo vegetal capta y transforma la luz en

electricidad para energizar últimamente a su costa el vulgar fosfato de la tierra, la más simple, eficaz y polifacética de las herramientas químicas de la bioenergética. Todo lo hace y todo lo puede esta insólita energía química vital cuantizada, esta moneda energética universal del mundo vivo, de sólo 1/3 eV de energía por cuanto, verdadera maravilla de la biotecnología, desde ionizar el agua, bombear sangre e iones contracorriente y desalar y depurar aguas residuales hasta fabricar moléculas, producir luz y electricidad, transmitir mensajes, cumplir órdenes, contraer músculos, levantar pesas y erigir pirámides y torres.

Puesto que la energía es clave para la vida, ésta se hubiera quedado en un esbozo muy primitivo de no haber sido por la aparición de oxígeno en nuestra atmósfera gracias al proceso de fotosíntesis del tipo que realizan las cianobacterias, algas y plantas superiores; de hecho, a la fotosíntesis oxigénica siguió después la respiración de los organismos aeróbicos. Por otro lado, en la vida sin oxígeno molecular, el papel de este elemento en el metabolismo energético no podía obviamente ser redox y hubiera quedado esencialmente limitado al no menos importante ácido-base que desempeña en los procesos puramente anaeróbicos (glucólisis, gluconeogénesis, ciclo oxidativo de las pentosas-fosfato, ciclo de Calvin, ciclo de Krebs, biosíntesis de proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos, etc.).

Es inconcebible que a estas alturas las publicaciones científicas más avanzadas, así como los libros de texto más universalmente reconocidos, ignoren el hecho crucial de que en estos procesos anaeróbicos el oxígeno reducido, O^{2-} , actúa como anión óxido en las reacciones ácido-base propias de la fosforilación a ellas acopladas. Desde el origen de la vida en nuestro planeta la moneda energética que ha movido y mueve a todos los organismos, desde la bacteria al elefante pasando por la pulga, es el fosfato en su forma energizada de metafosfato, resultante de la deshidratación por remoción de un anión óxido y dos protones del ortofosfato. Puesto que el metafosfato es una forma no sólo termodinámica sino cinéticamente inestable, en las células se estabiliza cinéticamente uniéndose por un enlace anhídrido a otras moléculas inorgánicas, como el pirofosfato o los polifosfatos, u orgánicas, como el difosfato y trifosfato de adenosina (o de otras bases nucleotídicas), acil-fosfato, etc.

El CO_2 que se desprende en la fermentación alcohólica o en la respiración tiene su origen en las reacciones de deshidrogenación y

descarboxilación que preceden a las de la respiración propiamente dicha. Por ello, aunque cause sorpresa o incluso escándalo a la mayoría de las personas, sin excluir a los propios bioquímicos, es un hecho que uno de los átomos de oxígeno de la molécula de CO_2 que espiramos por los pulmones al respirar los hidratos de carbono (CH_2O) que ingerimos procede en casi su totalidad del que pierde la molécula de ortofosfato al energizarse a metafosfato. Irreflexivamente todos pensamos que, puesto que la respiración es una oxidación lenta de los alimentos similar a la combustión de la madera o de la gasolina, los átomos de oxígeno del CO_2 producido deben proceder igualmente del oxígeno atmosférico, O_2 . La clave del metabolismo energético consiste precisamente en acoplar las reacciones exergónicas del metabolismo con las endergónicas de energización del ortofosfato, y fue precisamente Otto MEYERHOF (1884-1951), premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1922 y maestro de OCHOA, quien introdujo el término «energy coupling».

El ortofosfato energizado es paradójicamente la «fuerza vital»; algo que puede ser hoy piedra de escándalo para muchos que creían desterrado para siempre el vitalismo. ¿Serán algún día capaces los ingenieros de aplicar la nanotecnología para —imitando a lo que ocurre en nuestros músculos, riñones, corazón, cerebro— usar el fosfato para mover silenciosa y eficazmente las máquinas inventadas por ellos mismos? Si esto se lograra y si, como hacen los organismos vivos, se utilizaran como fuentes últimas de energía la luz del Sol o los alimentos y el oxígeno, el éxito sería increíble. Es más, puesto que el fosfato rico en energía en forma de pirofosfato o polifosfatos se obtiene simplemente calentando a unos cientos de grados el ortofosfato, cabe pensar que hasta el vilipendiado calor —y no muy caliente— pueda usarse en el futuro como fuente de energía universal.

Cada ser humano —y somos 6.000 millones los que poblamos la Tierra— consume lo que una bombilla de 100 W gracias a los alimentos que respira —medio kilo de pan seco, es decir, 10.000 kJ al día— y así energiza, en continuo recambio, del orden de 10 kg, o sea, 100 moles de fosfato ($\sim 10^{26}$ moléculas), para vivir y actuar; por ejemplo, para que un adulto bien fornido suba rampas arriba a lo alto de la Giralda cada cuarto de hora durante un día. En condiciones normales, casi una cuarta parte de esta energía es utilizada por las llamadas bombas de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ para el transporte de estos iones a través de las membranas celulares. El

corazón humano bombea alrededor de 1.000 litros, o sea, 1 m³ de sangre por hora y para ello consume hacia una décima parte de la energía total del organismo, es decir, del orden de 1 kg de fosfato energizado al día. Algunas células, como las cerebrales y también las renales, gastan hasta tres cuartas partes de su energía de fosfato en el bombeo de los iones Na⁺ y K⁺ para mantener el gradiente electroquímico y el potencial de membrana, esencial para la transmisión del impulso nervioso como potencial de acción.

Impresiona constatar que el número de iones que pasa en un segundo por un solo conducto iónico de la membrana de la neurona equivale a lo que sería el paso de toda la población humana por un solo puesto de control, y que la humanidad purifica diariamente merced a la energía del fosfato y al ingenio de sus riñones alrededor de un billón de litros de agua, es decir, 1 km³. También alcanza proporciones ingentes en la biosfera la mineralización de la materia orgánica acumulada en la biomasa y la eliminación al medio ambiente de los productos de desecho tanto domésticos como industriales, procesos tan esenciales para el equilibrio ecológico. Y qué no decir del astronómico intercambio de energía que lleva consigo el calentamiento y enfriamiento regulado del planeta a lo largo de los días y las estaciones del año, así como del mantenimiento del ciclo perenne de las aguas oceánicas y continentales. ¿Somos conscientes y responsables los científicos, son conscientes y responsables nuestras autoridades de la potencialidad y eficiencia de la naturaleza y del mundo vivo, de que las Biociencias ya están aquí y de que nos encontramos a las puertas de la Biotecnología?

Al mundo moderno, tan instintivo, lo mueve ante todo, más incluso que las riquezas naturales y el dinero, la potente —aunque frágil—, escrutadora e innovadora mente humana, y esperemos con confianza que también su ferviente y no menos potente corazón. España y el mundo deben aprestarse, siguiendo las enseñanzas de los sabios y el ejemplo de los santos, a usar bien su mente y mejor aún su corazón. Sabios de mente clara, sana y equilibrada, y santos de corazón grande, puro y constante son las mayores e inequívocas glorias y referencias de la humanidad. Debemos estar muy agradecidos a los sabios, que con el continuo esfuerzo de sus mentes privilegiadas nos revelan el poder y la verdad de la ciencia y nos acercan a la sabiduría, y venerar a los santos, que con el sacrificio de sus corazones henchidos de amor nos muestran el camino del bien y la perfección de la santidad.

Sujeta a las imperiosas leyes que han marcado su rumbo, la evolución física, química y biológica inició su fabulosa y penosa andadura hace miles de millones de años con la formidable explosión que dio origen al Universo hasta culminar hace decenas de miles de años, después de tantas vicisitudes y luchas por la vida, con la aparición en nuestro planeta del prodigioso cerebro del *Homo sapiens sapiens*, tan fantásticamente prodigioso que ha sido capaz en buena medida de desentrañar en principio los sucesivos eventos de tan inefable y maravillosa historia. Nada hay, en efecto, que sepamos, más admirable sobre la superficie de nuestro planeta que la mente humana, salvo quizás su corazón y su alma; ni siquiera las demás glorias de que están llenos el Cielo y la Tierra.

En sentido etimológico, milagro viene de «miraculum», cosa admirable, y milagroso es todo cuanto ha acontecido desde la Creación del Universo hasta la de la mente y la conciencia del hombre, lo que quiera o quienquiera que haya sido su Autor; esa inconcebible primera y última incógnita tan cercana y evidente como escondida y esquiva. Desde los clásicos griegos sabemos que «la admiración y la duda son el principio de la sabiduría». Decía Miguel De UNAMUNO que «los que no creen en los milagros no se han percatado de que es milagroso todo, absolutamente todo, lo que ocurre» y otro insigne escritor vasco, Pío BAROJA (1872-1956), dejó escrito en su novela *El árbol de la ciencia*: «Se puede decir que en la naturaleza no hay milagros, pero también se puede decir que todo es milagro». ¿O es que no son milagros de la naturaleza y del hombre los quarks, átomos, iones, moléculas, células y tejidos, la energía y belleza de la luz solar, el agua, el aire y la tierra, el verdor de los bosques y los campos, la gestación de una vida, los peces del mar y las aves del cielo, la riqueza de las lenguas, las esculturas de Miguel Ángel, las pinturas de Goya, la música de Mozart? El invento que más llamaba la atención al legendario inventor americano Thomas EDISON (1847-1931), que llegó a registrar más de mil patentes, era «la hierba». Efectivamente ¡qué milagro bioenergético es la clorofila y todo el aparato fotosintético que lleva anejo!

Personalmente creo con sincera honestidad que si hemos sido agraciados tan generosamente con los admirables dones de la mente y el corazón —orgánica y/o anímicamente tan estrechamente entrelazados— estamos no sólo obligados a hacer libre y responsablemente el mejor uso

de nuestras facultades mentales y cordiales, sino que tenemos el deber educativo y moral de proclamar ante toda la sociedad humana las verdades y bondades de la naturaleza y del hombre a medida que vayan siendo conquistadas y constatadas, así como de denunciar sin contemplaciones todos los abusos y falacias, cortando de raíz cualquier brote de fanatismo que promueva y exalte la maldad y la falsedad. La mente es cerebral y debe buscar con ansia y rectitud inflexible la verdad, todas las verdades, y ser implacable contra la mentira y el engaño, irreflexivo o premeditado, sobre todo si es dañino y entraña graves responsabilidades y consecuencias. El corazón es sentimental y anhela practicar afectivamente el bien, pero víctima del desamor y de su carácter voluble e impulsivo puede sufrir desengaños y ser dominado por la tentación del mal, al que sólo puede vencer con el bien. La mente sana es cauta y respetuosa con las creencias, pero no puede aceptar más que la verdad y es consciente de que creer no es saber, sino dudar. Por su parte, el corazón limpio cree con esperanza en lo que confía, simplemente porque es bueno, aunque no lo sepa a ciencia cierta. El ideal se alcanza cuando la mente y el corazón coinciden plenamente en la Verdad y en el Amor y se potencian sus excelsas cualidades. «Santifícalos en la Verdad», pidió Jesucristo al Padre para sus apóstoles.

EL UNIVERSO, LA MENTE Y EL CORAZÓN

En el umbral del tercer milenio, precioso y magnífico libro editado por el Comité de Expertos de Expo-92 de Sevilla, Severo OCHOA (1905-1993), que fue su presidente y a quien me unió una estrecha y profunda amistad, dejó escrita como colofón la siguiente frase llena de contenido científico y filosófico: «La mente humana siempre busca el origen del Universo». Su íntimo amigo y confidente Xavier ZUBIRI (1898-1982), que compartió con él en 1982 el primer premio Ramón y Cajal, creía como sincero y auténtico filósofo cristiano que detrás de la Creación del Universo está Dios, mientras que el bioquímico OCHOA manifestaba su vacilante agnosticismo científico diciendo «no lo sé». Yo he de confesar que, aunque tampoco lo sé con certeza absoluta, tengo la convicción sin apenas dudas de que los argumentos científicos y no científicos acerca de lo que conocemos sobre el origen del Universo y su posterior evolución nos llevan de manera inevitable a concluir

que sólo se puede entender un acontecimiento de tanta envergadura, magnificencia y alcance si se admite su autoría por Algo o Alguien infinitamente superior al hombre, a su vez el producto final en la escala evolutiva del milagro de la Creación. Es, sin embargo, verdad que como científicos estamos obligados a afirmar con OCHOA: No lo sabemos todavía todo a ciencia cierta, pero seguiremos buscando con fe. ¿Son la Ciencia y la Moral manifestación de la Mente y del Corazón de Dios y prueba de su Verdad y de su Amor? ¿Son el Universo y la Vida resultado de la acción creadora de su Luz?

Tanto OCHOA como ZUBIRI fueron fervientes admiradores del inquisitivo investigador de la anatomía microscópica del cerebro don Santiago RAMÓN Y CAJAL (1858-1934), que ya había escrito anteriormente con su contundente estilo: «Quién no se preocupa de la constitución del Universo y de los problemas de la vida y de la muerte, no pasa de ser un cuadrúmano con pretensiones». De don Santiago es también la siguiente enjundiosa frase: «Al sabio solamente le ha sido dado desentrañar la maravillosa obra de la Creación para rendir a lo Absoluto el culto más grato y acepto: el de estudiar sus portentosas obras, para con ellas conocerle, amarle y reverenciarle» ¡Cuánto han progresado, gracias al ansia de saber de la mente y de amar del corazón, nuestros conocimientos, pensamientos y sentimientos sobre el Universo y la vida, pero cuántos interrogantes todavía sobre el significado de la Creación y el destino del hombre! Ser o no ser, todo y nada, luz y oscuridad, simplicidad y complejidad, materia y espíritu, cuerpo y alma, corazón y mente, bien y mal, verdad y mentira, amor y odio, dolor y gozo, vida y muerte, temporalidad y eternidad, principio y fin ¡Qué enigmas y qué contrastes y hasta qué contradicciones!

No cabe duda de que las enseñanzas de la naturaleza y de la vida son enormes y fantásticas, pero ¿y las de la muerte? acerca de la que, por otra parte, no sabemos nada o casi nada, salvo que es un hecho biológico banal, siendo probable que la mente humana no pueda nunca por sí sola dar respuesta satisfactoria y convincente a este acuciante hecho. La muerte es ciertamente para el hombre el punto final y definitivo de la vida terrenal, pero ¿acaba todo en el vacío de la nada con la muerte? ¿Es la rápida incineración de nuestros cuerpos en el fúnebre ardor del tanatorio o su lenta mineralización biológica en la oscuridad podrida de la tumba —como con gran realismo pintara tétricamente Juan De VALDÉS LEAL (1622-1699) en la iglesia de la Caridad de

Sevilla donde está enterrado su fundador, el Venerable Miguel MAÑARA— la estación terminal sin objeto ni objetivo de nuestro peregrinar en este mundo o comienza entonces la gloriosa vida anímica iluminada por una resplandeciente luz eterna, como lleno de confianza cantó con esperanza anhelante fray Luis De LEÓN (1527-1591)? A la imaginativa idea de que la vida es sueño de Pedro CALDERÓN De La BARCA (1600-1681) y Miguel De CERVANTES añadió Miguel De UNAMUNO la conclusión consecuente de que la muerte es un despertar, una vela.

Al meditar sobre la vida y la muerte, la privilegiada mente de CAJAL resumió certera: «Terrible enseñanza de la muerte, la más profunda y angustiosa de todas las realidades de la vida. Este temor tan profundamente humano parecen ignorarlo los animales». Como animal racional, el hombre es consciente de que su vida es un viaje agrídulce sin retorno en una sola dirección, con altibajos y sin parada posible, que termina implacablemente con la muerte, la única puerta existente para entrar en la eternidad, si es que ésta efectivamente existe. La misma razón pide e impide al hombre creer en la inmortalidad del alma. Entre ambas actitudes no hay conciliación posible, pero sí la hay entre la mente que sabe y duda y el corazón que confía y espera. El agnosticismo ante la muerte es una exigencia que la inteligencia impone lógicamente ante lo que no sabe con certeza científica y de cuyo pozo sin fondo no puede salir siquiera con ayuda de la ciencia, que se muestra impotente y carente de argumentos válidos. La mente científica del sabio histólogo explorador del cerebro y descubridor de la neurona se enfrentó a este dilema «con el corazón en la mano» concluyendo con franqueza y rotundidad aragonesa: «Verdades tan trascendentales y decisivas como la existencia de Dios y la inmortalidad del alma debieran constituir, al modo de los axiomas matemáticos, indiscutibles postulados de la razón».

La «docta ignorantia» de San AGUSTÍN, «el saber que no sabemos» que también acongojaba a José ORTEGA Y GASSET (1883-1955) y, en definitiva, la impotencia de la razón para dar respuesta concluyente a cuestiones sobrenaturales y sobrehumanas tan trascendentes aconsejan escuchar con confianza y esperanza al corazón. La mente científica tiene un concepto de la naturaleza y de la vida que automáticamente extrapola a la propia vida humana. Pero como proclamaba el «cavilante pensador» y superdotado matemático y físico francés Blaise

PASCAL (1623-1662), inventor de la primera máquina digital de calcular, «el corazón tiene razones que la mente ignora», y son precisamente las razones del corazón las que busca en vano la mente si se autolimita y sólo se atiene a razones científicas. Frente a los que, con comprensible engreimiento, sólo admiten lo que a priori les dicta la diosa razón, hay quienes, como don Francisco de GOYA (1746-1828), sopesan con clarividencia los triunfos, limitaciones y desviaciones de la soberbia humana y objetan que si bien es cierto que «todo se vuelve visiones cuando los hombres no oyen el grito de la razón», también lo es que «el sueño de la razón produce monstruos». Los sabios y el pueblo nos dicen que hay mentes sanas y mentes maliciosas, hombres sensatos y hombres mentecatos.

La verdad de la ciencia es un baluarte formidable, pero no basta; es preciso creer. Y creer en el bien y en la felicidad, no sólo terrena sino eterna, es una gracia para la mente y el corazón de quienes aceptan con esperanza estas realidades y utopías. Creer en la verdad y en lo que es bueno no es saber con certeza científica, ni mucho menos ignorar la ciencia o ir en su contra, sino buscar afanosamente con la mente todas las verdades y seguir fielmente y con confianza al corazón ¡Qué importante para no andar desorientados es conocer toda la verdad sobre la naturaleza y el hombre, más que nada los hechos de nuestro origen e historia y de nuestras fundadas esperanzas, así como reconocer, con justificada complacencia pero también con profundo dolor, la bondad y maldad de que ha sido y es capaz la humanidad!

Para encontrar respuesta a las incógnitas de la vida y de la muerte no sólo debemos escuchar a los sabios y a los santos, sino también enriquecernos con la contemplación de la naturaleza y de las obras de los artistas, que nos muestran la belleza natural y humana en todas sus manifestaciones, y asimismo recrearnos con la lectura de los grandes escritores, que nos describen con la magia de su palabra las realidades y fantasías de su mundo interior y de cuanto observan y acontece a su alrededor y, en fin, fortalecernos con las enseñanzas y el conocimiento profundo, que no enciclopédico, de los hitos de la historia, de la verdadera historia de todas las épocas, razas, culturas y civilizaciones ¿Y por qué no deleitarnos y aprender también de los niños, que aparentemente nada saben, y con los deliciosos monigotes y viñetas de los hábiles dibujantes y las ingeniosas ocurrencias de los payasos y bufones, que no sólo nos hacen reír, sino que con sus punzantes dardos nos asaetean para

herir nuestras vanidades, despertarnos de nuestro letargo y liberarnos de la indolencia? Las cavilaciones de Charlot en algunas de sus aparentemente desenfadadas películas cómicas no son ni mucho menos bromas improvisadas de payaso dichas a la ligera, sino granadas y profundas reflexiones sobre la vida, fruto de sus vivencias, poderosa inteligencia y exquisita sensibilidad humana.

El poeta sevillano Gustavo Adolfo BÉCQUER (1836-1870), en quien alcanza el romanticismo español su más alto grado de innovación formal y de quien decía Antonio MACHADO (1893-1936), otro de los más grandes poetas sevillanos, que era «el ángel de la verdadera poesía», se preguntó a sí mismo muchas veces en sus rimas, poemas y leyendas sobre la razón y la inspiración, sobre la chispa divina inflamada de amor que anida prisionera y dormida en el fondo del alma como las notas del arpa en sus cuerdas:

Locura que el espíritu
exalta y enardece;
embriaguez divina
del genio creador...
¡Tal es la inspiración!

Gigante voz que el caos
ordena en el cerebro,
y entre las sombras hace
la luz aparecer
¡Tal es nuestra razón!

¿Supera el espíritu a la materia, el corazón a la razón, el ideal a la realidad, la ley divina a las leyes humanas? ¿Puede o podrá el alma liberarse, remontar su vuelo y contemplar la verdad desnuda, pura y sin velo, por encima de las leyes fisicoquímicas que tan sabiamente gobiernan el cuerpo y la mente y dan solidez y rigor científico a nuestras ideas? ¿De dónde nacen la poesía y el amor en el interior del hombre y a quién o a qué leyes, si las hay, obedecen? ¿Habrá siempre luz divina y poesía en la vida humana o estamos condenados a que nuestro destino sea in aeternum vil materia, podredumbre y cieno? Como ángel que era de la verdadera poesía, BÉCQUER, su más pura esencia, lo sintió, entendió y expresó con celestial luminosidad y belleza:

Mientras la ciencia a descubrir no alcance
las fuentes de la vida...
Mientras la Humanidad, siempre avanzando,
no sepa a do camina...
Mientras haya un misterio para el hombre...
Mientras sintamos que se alegra el alma...
Mientras se lllore sin que el llanto acuda
a nublar la pupila...
Mientras el corazón y la cabeza
batallando prosigan...
Mientras haya esperanzas y recuerdos...
Mientras sentirse puedan en un beso
dos almas confundidas;
Mientras exista una mujer hermosa,
¡habrá poesía!

Estos y otros muchos pensamientos de BÉCQUER y de infinidad de pensadores más, anteriores y posteriores a él, deben elevarnos y movernos a profunda reflexión, porque es cierto que nuestras vidas oscilan entre la realidad de los hechos y la fantasía de los sueños y se asientan sobre un trípode cuyos pilares fundamentales son, junto a lo que somos, lo que sabemos, lo que ignoramos y lo que creemos. Por desgracia es mucho lo que todavía ignoramos, y tanto la grandiosidad del Universo como el portento de ser hombres, el deseo de vivir eternamente como el nihilismo de que todo sea vana ilusión y de que, después de todo, todo quede en nada, no han sido tesis ajenas a los corazones y a las mentes más sensibles y penetrantes. El poeta sevillano Vicente ALEIXANDRE (1898-1984), iluminada y receptiva criatura cósmica, cantó «la grandeza del hombre en la armonía del Universo y a la luz desde la conciencia de la oscuridad». Juan Ramón JIMÉNEZ (1881-1958), amante como ninguno de su pueblo blanco y luminoso, que se puso por nombre «el andaluz universal, a ver si podía llenar de contenido su continente», se rebeló contra la idea de convertirse en polvo y sólo en polvo, pasto de gusanos, y trató de conseguir la verdad y aferrarse a ella e ir libre por el mundo de la mano de Dios sin importarle luchar eternamente:

Tú, Señor, que de tierra me has formado,
¿por qué me has de volver de nuevo tierra?
¿por qué me has de matar? Yo amo la guerra,
no quiero ser creado y desechado.

Mi pensamiento busca el ignorado
palacio donde la verdad se encierra,
y a conseguir esa verdad se aferra
y lucha y se revuelve encadenado.

Yo creo en ti; mas abre mis prisiones,
deja que libre vaya por el mundo,
deja que sola vuele al fin mi frente...

¿Han de servir tan blancas ilusiones
para comida de un gusano inmundo?
¡No me importa luchar eternamente!

El magnífico soneto *Vida* del gran poeta cántabro contemporáneo José HIERRO (1922-2002) es un poema vibrante entre el «Todo» y la «Nada», la «Nada y el «Todo». ¡Qué contradicciones, qué frustración y qué desesperanza el que, después de tanto, todo para nada!

Después de todo, todo ha sido nada,
a pesar de que un día lo fue todo.
Después de nada, o después de todo
supe que todo no era más que nada.

Grito «¡Todo!», y el eco dice «¡Nada!».
Grito ¡Nada!», y el eco dice «¡Todo!».
Ahora sé que la nada lo era todo,
y todo era ceniza de la nada.

No queda nada de lo que fue nada.
(Era ilusión lo que creía todo
y que, en definitiva, era la nada.)

Qué más da que la nada fuera nada
si más nada será, después de todo,
después de tanto todo para nada.

Para salir de este círculo vicioso no podemos ignorar los hechos ni debemos ser víctimas de la desesperanza o el nihilismo. Parece ya probado que antes de la Creación del Universo no hubo nada de todo lo que ahora existe; fue necesario Todo el Poder para crear todo de la Nada. También es un hecho científico demostrado millones y millones de veces

que los seres humanos somos todo nada antes de la concepción natural en el vientre de nuestra madre o asistida en el tubo de ensayo y que desde ese instante somos cada uno una célula diploide nueva, toda una vida en potencia; después crecemos, nos desarrollamos y realizamos como seres nuevos y somos toda una vida cambiante hasta que morimos. Pero ¿qué somos tras la muerte? ¿todo nada para el cuerpo y para el alma? ¿todo vida sólo para el alma? Esta es la gran y única esperanza de la vida humana: que no quede todo en nada, sino que así como nacemos a la vida terrena en la concepción sin que antes seamos nada, renazcan nuestras almas a toda una nueva vida eterna tras la muerte corporal.

Es indudable que para el científicismo no hay más razón que la razón científica, pero como hombres no podemos sustraernos a otras verdades igualmente válidas, entre ellas, y muy por encima de todas, la razón moral. La Verdad y el Amor están profundamente enraizados en la mente y el corazón del hombre y son los pilares en que sustentan su fe los hombres de buen juicio y de bien. De hecho, para los cristianos, Dios es Luz, Verdad, Amor y Vida. Una gran parte de la humanidad cree no sólo en la trascendencia de la vida, sino que valora los nobles sentimientos de bondad, paz, felicidad, justicia y solidaridad incluso por encima de la inteligencia y la sapiencia, y considera que la ciencia y la técnica —fuentes indiscutibles e invaluable de conocimiento, bienestar, progreso y poder— no bastan si en su arrogancia y prepotencia ignoran o desprecian los derechos humanos. Con razón afirmaba el endocrinólogo Bernardo HOUSSAY (1887-1971), premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1947, promotor de la educación y de la investigación en Argentina y gran amigo de Severo y Carmen OCHOA, que «nada es más temible que la ciencia sin conciencia». En una de las últimas entrevistas que le hicieron al final de su vida, OCHOA sorprendió a todos al afirmar que quería que lo recordasen, más que como investigador, como hombre tolerante y bueno, que es lo que creía haber sido.

El vertiginoso avance de la ciencia y de la técnica —formidable y digno de todo encomio— ha tenido por desgracia también efectos negativos y ha ido acompañado en épocas recientes de un impresionante incremento de su capacidad destructiva para hacer el mal y acabar con la vida, degeneración a la que sólo podrá poner freno la esperanza en el hombre y en sus valores éticos y espirituales. ¿Por qué no creer que estamos hechos para ser libres, buenos y felices y para la eternidad?

Queramos o no queramos, la idea inaccesible de principio y fin es en fin de cuentas, valga la redundancia, lo que en último término interesa y da sentido a nuestras vidas y marca nuestro destino. Nuestra naturaleza no acepta que todo sea efímero, frívolo y sin trascendencia, y se rebela contra el absurdo de que una evolución que tuvo su origen en la Creación del Universo y ha llegado a desarrollar una mente y un corazón humanos casi divinos —y no sabemos si también un alma eterna— se aferre en hacer el mal y tenga como meta su aniquilación en la nada y el vacío.

Crear con confianza en el hombre, buscar sinceramente la verdad por encima de todo, incluso de las propias creencias, ideologías e intereses, y practicar el bien a ultranza, siguiendo la enseñanza de los sabios y el ejemplo de los santos, parecen ser —como hemos señalado repetidamente— las más seguras,preciadas y preciosas guías para que la inteligencia y la conciencia, la mente y el corazón no pierdan el norte y encuentren y sigan el verdadero camino en la vida. Sólo se podrá vencer la ignorancia con sabiduría, la soberbia con humildad, el egoísmo con altruismo, la malevolencia con benevolencia, como lo hacen equilibrándose entre sí las fuerzas centrípeta y centrífuga, el freno y el acelerador. La Verdad y el Amor mueven la mente y el corazón de los hombres más que ninguna otra fuerza. Para el escritor Aldous HUXLEY (1894-1963), autor de *Un mundo feliz*, «el único progreso verdadero es el progreso en caridad». Como el biólogo Julian (1887-1975) —primer director de la UNESCO— y el neurofisiólogo y premio Nobel Andrew (1917-), Aldous fue también nieto de Thomas HUXLEY (1825-1895), el principal defensor del darwinismo.

El evolucionismo biológico y en concreto el darwinismo, así como el conocimiento más tarde del origen y la evolución fisicoquímica del Universo y bioquímica de la vida, han representado un gran triunfo para la ciencia y para la humanidad y han demostrado una vez más cuán pronto las cañas se tornan lanzas y cómo la soberbia puede salir severamente herida cuando está más encumbrada. La moraleja es clara y simple para todos: no alardear en ningún sentido y ser nobles y humildes; no engrairnos nunca como dioses, buscar afanosamente la verdad y la práctica del bien y combatir sin tregua la ignorancia, los complejos de superioridad y la falsedad. Nadie mejor que el propio DARWIN para cerrar con reconocimiento y admiración sus ideas sobre la Creación y la evolución en la conclusión de su libro *El origen de las especies* (1859):

«There is grandeur in this view of life, with its several powers, having being originally breathed by the Creator into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been and are being evolved».

En el hombre existe una innegable e indomable inclinación a conocer la verdad y a no ser engañado; no hay poder en el mundo capaz de frenar a la Verdad. A este respecto, la fiabilidad incuestionable de la ciencia, basada en hechos indiscutibles, ha puesto y seguirá poniendo punto final a un sinnúmero de mitos, supersticiones, extrapolaciones, especulaciones y deformaciones para bien de la humanidad. La ciencia es imparabile y la civilización humana será cada vez más científica, pero el hombre será también cada vez más consciente de que ha de practicar el Bien y combatir el Mal a toda costa y sacrificar su amor propio, ambición y codicia, y de que no le basta con la ciencia a secas, a pesar de su enorme poderío y de un sinfín de conquistas. Ya presagió el premio Nobel de Fisiología o Medicina Alexis CARREL (1873-1944) en su famoso libro *La incógnita del hombre* (1935) que «la atención de la Humanidad debe volverse, de las máquinas y la materia inanimada, al cuerpo y al alma del hombre. Realmente el hombre está por encima de todas las cosas». En nuestra época el reflexivo escritor Miguel DELIBES (1911-), conocedor a fondo del alma profunda y mística de Castilla, ha advertido que «el progreso mecánico material calienta el estómago, pero enfría el corazón».

¿ES LA NATURALEZA CONSCIENTE?

«La naturaleza es la mayor maestra de la verdad», escribió en el siglo IV el sabio arzobispo de Milán y padre de la Iglesia San AMBROSIO (340-397), que convirtió al también padre de la Iglesia y obispo de Hipona San AGUSTÍN. Después de los grandes descubrimientos de la ciencia, esta afirmación ha visto ratificada absolutamente su verdad. En nuestro Sistema solar, la vida sobre la Tierra depende de la luz del Sol y es impensable sin ella como motor y fuente de estímulos. Gracias a la luz vemos y gracias a la luz vivimos. «Bendita sea la luz y El que nos la envía» era el comienzo de la oración que tras las tenebrosas penumbras de la noche entonaban al amanecer entusiasmados y henchidos de

confianza en Dios y de buena esperanza los marineros que hacían la «Carrera de Indias». Pero ¿es el Sol, que cumple a la perfección su tarea, consciente de que nuestra vida depende de manera tan absoluta de la luz que nos envía?

El gran físico y astrónomo italiano GALILEO (1564-1642) —descubridor de que la «Vía Láctea», nuestra galaxia, se resolvía al ser examinada con el telescopio en miríadas de estrellas indistinguibles entre sí a simple vista y de que Júpiter era un sistema planetario en miniatura con sus propias lunas girando a su alrededor, lo que permitiría poco después la medida de la velocidad de la luz— quedó tan impresionado por haber realizado estos descubrimientos cósmicos que escribió extasiado: «Doy infinitas gracias a Dios por haber sido tan generoso conmigo y haberme elegido como primer testigo de estas maravillas escondidas en la oscuridad durante siglos». GALILEO, uno de los primeros en iniciar la Revolución científica, era providencialista y reflexionaba con admiración y veneración sobre el orden y las dependencias existentes en el Universo. En otra ocasión comentó con gracia y desenfado: «El Sol, a cuyo alrededor giran tantos planetas, todos dependientes de él, no se olvida de madurar un racimo de uvas, como si no tuviera otra cosa que hacer en el Universo».

Pero nosotros, hombres del siglo XXI, que casi creemos que ya conocemos las leyes fisicoquímicas que gobiernan no sólo el Universo y la naturaleza, sino el cuerpo, la mente y el corazón ¿qué pensamos de nuestros astros y de sus capacidades y cometidos? ¿Es el Sol consciente, y como tal responsable, de que los movimientos de los planetas de su Sistema solar dependen de él? ¿Sabe el Sol que las plantas de la Tierra crecen, florecen y fructifican y que nosotros vemos, nos emocionamos, recreamos y vivimos gracias a su luz? ¿Y qué pensamos nosotros de nosotros mismos? ¿Son conscientes, y a partir de cuándo, la luz, partículas, átomos, iones, moléculas, células, tejidos, órganos... de lo que tan prodigiosamente hacen y de cómo, gracias a ellos y a las leyes a que están sometidos, funciona nuestro cerebro? ¿A qué niveles biológicos puede hablarse de inteligencia y de conciencia? Según el diccionario de la Academia, inteligente es el «que tiene capacidad de entender y comprender» y consciente, el que «siente, piensa, quiere y obra con conocimiento de lo que hace» ¡Qué milagros: una mente que piensa, sabe y duda, y un corazón que siente, consiente y cree! Inteligencia y conciencia, confianza y esperanza tienen raíces latinas muy conceptuales y expresivas.

Francis BACON (1561-1626), taimado político e influyente pensador inglés contemporáneo de GALILEO, defensor y propagador como él del Método científico, partió en sus razonamientos filosóficos de la base de que «lo primero que creó Dios fue la luz», evento cuya realidad parece haber demostrado la Ciencia en nuestro tiempo. Para NEWTON (1642-1727) —el genial matemático descubridor de la constante de la gravitación universal y el primero en demostrar la composición de la luz blanca y su posible función energética— era razonable pensar que el Universo nació programado en forma de partículas que después evolucionaron siguiendo las leyes impuestas por el Creador hasta dar lugar a lo que hoy es en su conjunto el Universo. En su *Principia Mathematica* (1687) presentó una nueva visión comprensible y revolucionaria del Universo, cuya estructuración material y capacidad de evolución concibió en toda su grandeza sobre la base de corpúsculos elementales, entre los que, adelantándose en varios siglos a la evidencia experimental, incluyó los de la luz, hoy llamados fotones: «It seems probable to me that God in the beginning formed matter in solid, massy, hard, impenetrable, movable particles, of such sizes and figures and in such proportion to space, as most conduced to the end for which He formed them...». Para el también genial matemático y filósofo alemán Gottfried LEIBNIZ (1646-1716), «lo que pone el colmo a la belleza y a la perfección de las obras divinas es que el Universo marcha sin cesar hacia un orden de cosas más completo».

Durante muchos años NEWTON fue presidente de la «Royal Society», de la que también fue secretario el ingenioso y hábil Robert HOOKE (1635-1703), víctima hasta límites difícilmente comprensibles de la cólera del soberbio gigante inglés. HOOKE, uno de los más brillantes microscopistas de la segunda mitad del siglo XVII, publicó su conocida *Micrographia* en 1665. En esta obra figura por primera vez la palabra *célula* (del latín, «pequeña celda»), haciendo referencia a las celdillas microscópicas, similares a las de un panal de abejas, que constituyen el corcho. No era entonces previsible que este vocablo, ocurrente y apropiado como el de *partícula* (del latín, «pequeña parte»), *átomo* (del griego, «indivisible») y *molécula* («pequeña mole»), fuera a adquirir tan profundo y universal significado estructural y funcional en el futuro, a partir del reconocimiento de la célula, casi dos siglos más tarde, como la unidad morfológica y fisiológica de todos los seres vivos. Tanto el átomo como la célula fueron finalmente desguazados en 1897,

descubrimientos que por su significación merecieron la concesión de los premios Nobel de Física y Química al físico inglés Joseph THOMSON (1856-1940) y al bioquímico alemán Edward BUCHNER (1860-1917) en 1906 y 1907, respectivamente, y abrieron horizontes insospechados para el progreso de la ciencia, gracias a los cuales podemos hoy abordar con fe y esperanza las bases fisicoquímicas de la mente y los confines de la inteligencia y tal vez del corazón y la conciencia.

La *teoría atómica* y la *teoría molecular* fueron firmemente establecidas a comienzos del siglo XIX por el químico y físico británico John DALTON (1766-1844) y el físico italiano Lorenzo AVOGADRO (1776-1856) sobre bases ponderales muy simples y el reconocimiento de las propiedades de los gases. La *teoría celular* —que más que una teoría en el sentido convencional es también la revelación de un hecho biológico fundamental establecido sobre la base de la observación microscópica— fue enunciada en 1838-39 por los biólogos alemanes Mathias SCHLEIDEN (1804-1881) y Theodor SCHWANN (1810-1882), el primero botánico y el segundo zoólogo, y establece que todos los organismos vivos están constituidos por células. La teoría celular constituye —junto con la *teoría de la evolución* y la *teoría de la herencia*, propuestas a mediados del siglo XIX por el biólogo inglés Charles DARWIN (1809-1882) y el monje agustino checo-austriaco Gregor MENDEL (1822-1884), respectivamente— uno de los pilares básicos sobre los que se asienta la moderna Biología y fue el primero de los principios unificadores que permitió vislumbrar a morfólogos y fisiólogos que las estructuras y funciones de los diversos organismos están mucho más relacionadas de lo que en un principio se había creído. La aparición de la célula, con relativa autonomía alimentaria y energética y provista de genoma y proteoma propios, ha sido uno de los eslabones claves en la historia de la evolución biológica hasta llegar a la neurona y a sus metas: la mente y el corazón.

Enigmas arcanos son ciertamente el corazón y la mente, pero enigmas que empiezan a ser desvelados de manera irrefutable por el propio cerebro humano, el último eslabón de la larga e inimaginable cadena de estadios de la evolución biológica que tuvo su origen en el nacimiento del Universo; un órgano tan simple, organizado y perfecto como la vida misma, pero que sobrepasa a la propia biología y es único en su capacidad intelectual, sentimental y de acción. Toda esta revelación científica de lo que es la vida y de lo que somos nosotros mismos en lo más

íntimo de nuestro ser parece una fantasía increíble; tan increíble que, como Santo Tomás, no la creeríamos si no fuéramos testigos indirectos de lo que ha sucedido en el pasado y testigos directos de lo que estamos viendo con nuestros propios ojos y constatando con la evidencia incontestable de la Ciencia. De nuevo, distintos, distantes y juntos, principio y fin, Universo y hombre, razón y corazón, vida y muerte. Todavía no sabemos hasta que límites podrán las neurociencias explorar los misterios más íntimos del hombre, con sus sentimientos encontrados de amor propio y amor al prójimo, de ambición desmedida y caridad franciscana, y dotado de una voluntad indómita y un deseo sobrehumano de buscar la Verdad y practicar el Bien por encima de todo, de luchar hasta el fin y soportar el sacrificio y sufrimiento espiritual y físico hasta límites heroicos y quedar exánimes. Sigue teniendo indiscutible vigencia la reflexión de Emmanuel KANT (1724-1804) —ejemplo admirable de la abrumadora capacidad racional de la mente y de la conducta moral insobornable del corazón— en su *Crítica de la razón práctica* (1781): «Dos cosas llenan mi espíritu con un sentimiento siempre creciente y nuevo de admiración y temor, en tanto la más seria reflexión se concentra en ellos: el cielo estrellado sobre mi cabeza y la ley moral en mi conciencia» ¡Qué clarividencia para poder resumir en una frase su poderosa filosofía sobre el Universo y el hombre, sobre la mente y el corazón!

El físico y químico británico Michael FARADAY (1791-1867), una de las figuras estelares de la ciencia, defendió con firme convicción que todas las fuerzas de la naturaleza tienen un mismo origen, aunque se manifiesten de distinta forma. El hecho de que la electricidad, el magnetismo y la luz pudieran interactuar hacía muy plausible esta interpretación. Para FARADAY, así como para otros muchos científicos, entre ellos el gran biólogo francés Louis PASTEUR (1822-1895), ir en pos de la Ciencia es esencialmente ir en pos de la Verdad. FARADAY vivió toda su vida en la creencia profunda de que en el Universo y en las leyes de la Ciencia subyace una unidad que tiene a Dios por causa: «The physical laws are the glimmerings we have of the second causes by which the One Great Cause works His wonders and governs the Earth».

También para el físico alemán Max PLANCK (1858-1947), el padre de la teoría cuántica, la búsqueda de las leyes del Universo constituyen el más sublime propósito de la vida del científico, concluyendo con énfasis: «Al científico creyente, Dios no le estorba en su trabajo sino

que le ilumina en la oscuridad. Necesitamos tener fe. Es algo de lo que los científicos no podemos prescindir». Uno de los más grandes sabios y que mejor conoció las leyes que gobiernan el Universo, el físico germano-americano Albert EINSTEIN (1879-1955) hizo el siguiente comentario filosófico-teológico sobre estos temas: «Aunque es cierto que los resultados científicos son enteramente independientes de cualquier tipo de consideraciones morales y religiosas, también es cierto que justamente aquellos hombres a quienes la ciencia debe sus logros más significativamente creativos fueron individuos impregnados de la convicción auténticamente religiosa de que este Universo es algo perfecto y susceptible de ser conocido por medio del esfuerzo humano de comprensión racional».

¿Quién hubiera podido predecir que unos siglos después de GALILEO, NEWTON, COULOMB, VOLTA, FARADAY, PLANCK... y utilizando sus mismos métodos y aparatos —aunque indudablemente renovados y perfeccionados— serían los científicos capaces de detectar directamente el origen del Universo escuchando el eco y viendo el resplandor de la explosión inicial que tuvo lugar hace unos 15.000 millones de años, así como de seguir, paso a paso, su evolución? Uno de los descubrimientos más importantes de nuestro tiempo ha sido sin duda el de la llamada «radiación de fondo», reconocido con la concesión a los astrofísicos norteamericanos Robert WILSON (1936-) y Arno PENZIAS (1933-) del premio Nobel de Física en 1978. Otro descubrimiento impensable, y de igual o mayor trascendencia que el del «big-bang», fue el desciframiento del código genético, premiado con varios Nobel. ¡Quién hubiera podido imaginar que el lenguaje de la vida se basa en traducir el alfabeto de cuatro letras, agrupadas en tripletes, de los ácidos nucleicos en el alfabeto de veinte letras de las proteínas! Y como muestra de la eficiencia fisicoquímica de la maquinaria biológica ¿cabe pensar en algo más simple y eficiente que la deshidratación ácido-base del anión ortofosfato a metafosfato, promovida en último término por las reacciones redox que desencadena la clorofila excitada por la luz, para mover a todo el mundo vivo, incluidos la mente y el corazón? ¡Fugaces cuantos de energía luminosa que son captados y convertidos en totipotentes cuantos de energía bioquímica!

La vida apareció en el Universo, al menos en nuestro planeta, como un fenómeno incomparable y maravilloso de la segunda generación de estrellas hace unos 3.500 millones de años. Si fascinante debió ser la

génesis gloriosa del Universo durante la estampida inicial —quien sea o lo que haya sido su Autor—, mayor asombro supone aún la gradual y ardua evolución dirigida y/o azarosa de partículas, átomos, moléculas, células, tejidos, órganos... hasta llegar al hombre, a su mente y su corazón. Thomas MANN nos legó esta visión sinóptica de la creación y evolución del Universo: «Todo lo que existe comenzó por no existir».

En el Universo todo está hecho, en principio, de luz, de partículas y átomos, siendo uno de los descubrimientos más notables de la Astronomía que las estrellas sean los crisoles donde se generan los elementos químicos —los mismos en todo el Universo— a partir de hidrógeno y helio. Es también un hecho científico que la vida, tal como hoy la concebimos y conocemos, sólo pudo aparecer cuando se habían formado y eran ya abundantes los átomos de los elementos de nuestra actual biosfera, entre ellos los de los bioelementos primordiales, así como los de los que hoy llamamos elementos salinos, como el cloro, sodio, potasio y calcio, y oligoelementos, o elementos traza, como el hierro, cobre, cobalto y yodo. Sobre su constitución, propiedades y reacciones y sobre el origen y la evolución del Universo y de la vida escribí hace unos años con varios de mis colaboradores el libro *Los elementos y moléculas de la vida*, que dedicamos «a las partículas, átomos y moléculas que dan vida a la vida». La materia viva está compuesta en su mayor parte por los elementos no metálicos hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, que en conjunto forman el grupo de los denominados *elementos biogénicos primordiales*, tanto desde el punto de vista plástico como energético. Estos bioelementos constituyen los cuatro tipos fundamentales de sillares moleculares y macromoléculas biológicas, o *biomoléculas*, a saber: aminoácidos y proteínas, nucleótidos y ácidos nucleicos, monosacáridos (azúcares) y polisacáridos —en conjunto, hidratos de carbono—, y lípidos. Los compuestos de la materia viva se clasificaron desde principios del siglo XIX como sustancias orgánicas para distinguirlas de las inorgánicas.

En su fase más temprana, el Universo estuvo formado casi exclusivamente por los elementos más sencillos, que se formaron al condensarse la materia tras el «big bang». La primera generación de estrellas no contenía elementos pesados. Cuando a lo largo de miles de millones de años evolucionaron estas primeras estrellas fusionando el hidrógeno y el helio en reacciones termonucleares se produjeron los demás elementos de la Tabla Periódica. Las grandes estrellas se hicieron inestables explo-

tando en forma de «novas» y «supernovas» y diseminaron los elementos más pesados por el entorno cósmico. Esta materia se condensó de nuevo para formar las estrellas de segunda generación. Hoy sabemos que, al menos en el planeta Tierra de nuestro Sistema solar, que se formó hace unos 4.500 millones de años, existe vida en un estado muy avanzado de evolución, del que la mente y el corazón son sus máximos exponentes de desarrollo. Sobre la superficie de la Tierra sólo la mente es en cierto modo consciente de su trascendencia y de la responsabilidad que le incumbe en el devenir del género humano y en el mantenimiento saludable y bello del entorno en que éste se desenvuelve.

El Universo, la vida y la propia creatividad humana significan hasta límites insospechados de la fantasía el triunfo definitivo y heroico del orden sobre el caos, de la asociación caleidoscópica inteligente y progresiva de piezas preciosas, de la belleza y perfección en el diseño y funcionamiento de todos los tipos de mosaicos imaginables. Para el gigante y sublime poeta de *La Divina Comedia* Dante ALIGHIERI (1265-1321), el orden que reina en el Universo habla de su Creador. De otro genio italiano, Leonardo Da VINCI (1452-1518), artista, científico y tecnólogo adelantado del Renacimiento, es la observación excelsa: «No existe diferencia esencial entre la ciencia y el arte; una y otro son los medios para descubrir el Universo creado por Dios».

Sobre la unidad bioquímica, morfológica y fisiológica del cerebro humano como órgano pensante, sentiente y actuante surge la infinita variedad y riqueza de pensamientos, sentimientos y acciones en la mente y el corazón de todos los hombres que han sido, son y serán. La Creación se inició según el *Génesis* de manera fulgurante cuando dijo Elohim: «¡Haya luz!, y hubo luz». Después de crear las plantas verdes, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, Dios creó finalmente al hombre a su imagen y semejanza para que millones y millones de pequeños dioses pudieran descubrir su obra, recrearse en ella y proseguir ellos mismos creando libremente y glorificándole y santificándole por los siglos de los siglos. ¡Qué poder divino el de la mente humana, que no sólo es capaz de desvelar y venerar los misterios del Universo, para así alabar a su Supremo Hacedor y cantar su grandeza, sino que ella misma es creadora, imaginativa y exploradora de horizontes nuevos!

Hoy podemos preguntarnos y responder, aunque sea sólo a medias ¿quién gobierna científicamente el Universo y la vida, sino las constan-

tes de Newton, Coulomb, Faraday, las de carga y masa del electrón, protón y neutrón, la de Planck, la velocidad de la luz y unas cuantas constantes más que se pueden contar con los dedos de las manos? Y lo que es lógicamente de más importancia y trascendencia todavía ¿quién las ideó e implantó al principio y con qué propósito y qué hay detrás de este insondable poder y de tan inigualable gloria?

ELECTROFISIOLOGÍA Y ELECTROQUÍMICA

En la segunda mitad del siglo XVIII se consiguió llevar a cabo un número de reacciones químicas valiéndose de máquinas de electricidad estática, como la de fricción, o de condensadores, como la botella de Leiden. Así, los grandes químicos ingleses Henry CAVENDISH (1731-1810) y Joseph PRIESTLEY (1733-1804) utilizaron la chispa eléctrica para conseguir la combinación de los gases hidrógeno y oxígeno, recién descubiertos por ellos mismos y bautizados con estos nombres por Antoine LAVOISIER (1743-1794), padre de la Química moderna. La amistad de PRIESTLEY con el norteamericano Benjamín FRANKLIN (1706-1790), al que conoció en 1766 en Londres, atrajo su atención hacia la electricidad, publicando en 1767 su libro *History of electricity*. En aquel entonces, tan lejano y tan cercano, no era todavía posible producir una corriente eléctrica lo suficientemente potente y continua como para permitir el estudio de las reacciones químicas. La situación cambiaría radicalmente a finales del siglo de las Luces y comienzos del XIX.

El anatomista y fisiólogo italiano Luigi GALVANI (1737-1798) inició en la década de 1770 sus notables experimentaciones en electrofisiología al observar que las ancas diseccionadas de rana se contraían por la acción de la chispa de una máquina de electricidad o de un condensador. Respuestas similares tenían lugar cuando tales músculos se colocaban sobre una pieza de metal durante una tormenta o simplemente cuando contactaban con dos metales diferentes, sin que en este caso fuera precisa la aplicación de la corriente eléctrica; en consecuencia, GALVANI concluyó que la fuente de electricidad animal residía en los tejidos vivos y no derivaba del exterior. GALVANI publicó su teoría sobre la electricidad animal en 1791 con el título *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (Comentario sobre el efecto de la electricidad en el movimiento muscular), y su nombre y su gloria han quedado unidos para la

posteridad a métodos como la galvanización y a aparatos como el galvanómetro. También se llama electricidad galvánica a la producida por el contacto de dos metales, en contraste con la estática producida por fricción. El físico y fisiólogo alemán Hermann Von HELMHOLTZ (1821-1894), que en 1847 enunció el principio de la conservación de la energía independientemente de Julius Von MAEYER (1814-1878) y de James JOULE (1818-1889), es también famoso por haber sido el primero en medir la velocidad del impulso nervioso en 1850.

Estimulado por los hallazgos de GALVANI, su admirador y compatriota Alessandro VOLTA (1745-1827) inició una serie de experimentos con el propósito de descubrir la causa de la corriente eléctrica, haciendo en 1794 el gran descubrimiento de que la producción de la corriente tenía su origen en la unión de dos metales y no precisaba del tejido animal, como pensaban GALVANI y sus seguidores. La electrofisiología había sido aparentemente derrotada por la electroquímica, y el *vitalismo* sufría supuestamente, a manos de un físico, una de sus primeras severas derrotas. La famosa «pila voltaica» estaba constituida por una columna, batería o pila de placas alternantes de cinc y cobre, o cinc y plata, unidas entre sí por discos de cartón o piel embebidos en una solución salina. El nombre de «batería» deriva del francés y significa un conjunto de piezas similares que forman una unidad, en tanto que el de «pila» procede del latín y significa un cúmulo de cosas similares dispuestas unas sobre otras.

La *pila de Volta* constituyó un invento revolucionario para el estudio de la electricidad, pues permitió por primera vez producir una corriente continua, tanto más potente cuanto mayor era el número o el tamaño de las placas de metal. En honor de VOLTA la unidad de potencial eléctrico en el sistema *SI* es el *voltio* (V). Puesto que los humanos consumimos 100 W y nuestras centrales energéticas funcionan a una diferencia de potencial del orden de 1 V, por nuestro cuerpo pasa una corriente eléctrica de 100 amperios, es decir, de 100 culombios por segundo ($C s^{-1}$), cuyo origen está en los alimentos que ingerimos y su término en el oxígeno que respiramos. Después del descubrimiento de la pila de Volta, los químicos empezaron de inmediato a usar este instrumento y otros similares para llevar a cabo una serie de reacciones fisicoquímicas, algunas de trascendental importancia en las ciencias biológicas y de inusitada relevancia tecnológica, aún no sabida ni decisivamente explotadas.

A los pocas semanas de comunicar VOLTA a la «Royal Society» el invento de su batería en el año 1800, el químico inglés William NICHOLSON (1753-1815) y el fisiólogo, también inglés, CARLISLE (1760-1840) utilizaron la pila eléctrica para descubrir la *electrolisis* al sumergir en agua los electrodos conectados a sus dos polos y observar que el líquido se descomponía en gas, liberando burbujas de hidrógeno y oxígeno. Ese mismo año, el mancebo de botica y físico alemán RITTER (1776-1810) recogió los gases resultantes de la rotura del agua por la corriente eléctrica y comprobó que estaban en la relación 2:1. Por lo demás, CRUIKSHANK (1745-1800) demostró, también en 1800, que la electrolisis del agua conllevaba su electroionización simultánea y resultaba en la acidificación del medio anódico y en la basificación del medio catiónico. Se acababa de poner de manifiesto la *óxido-reducción e ionización electrolítica del agua*, reacciones químicas redox y ácido-base que siglo y medio después, durante mi estancia en Berkeley en el laboratorio del profesor Daniel ARNON (1910-1994), demostramos ser la reacción básica de la bioenergética promovida por la luz solar y sensibilizada por la clorofila. VOLTA había conseguido convertir la energía química existente entre dos metales en energía eléctrica, y NICHOLSON, RITTER y CRUIKSHANK habían invertido el proceso al electrolizar el agua y convertir la energía eléctrica en la energía química contenida en los elementos hidrógeno y oxígeno y en los iones hidrógeno e hidróxido resultantes de su descomposición. Hoy es ya universalmente sabido que las plantas convierten sencilla y eficientemente en un proceso telúrico la energía luminosa en energía eléctrica y subsiguientemente en energía química redox y ácido-base para generar finalmente energía química de fosfato.

RITTER, que construyó en 1802 la primera *pila seca*, creyó que la combinación química era de naturaleza eléctrica y explicó los efectos galvánicos y voltaicos en términos químicos. RITTER fue el primero en presentar una «serie electroquímica de los elementos», es decir, una serie de su afinidad química relativa basada en sus propiedades electroquímicas. En 1803, Jöns BERZELIUS (1779-1848), el gran químico sueco y patriarca de los químicos de la primera mitad del siglo XIX, y Wilhelm HISINGER (1766-1852) llevaron a cabo la descomposición electroquímica de diversas sales y encontraron que las bases aparecían en el polo negativo y los ácidos en el positivo. Esta observación impresionó profundamente a BERZELIUS, pues indicaba que los ácidos y las

bases eran portadores de cargas opuestas y probablemente le condujo a la formulación de su «teoría electroquímica de la afinidad». Sin embargo, los resultados más espectaculares fueron obtenidos por Humphry DAVY (1778-1829) unos años más tarde en la «Royal Institution» de Londres, donde desempeñaba el puesto de profesor de Química. DAVY construyó inmediatamente después del descubrimiento de VOLTA una batería de cerca de 300 placas metálicas, una de las más potentes fabricadas entonces, y consiguió el aislamiento de los metales alcalinos y alcalino-térreos por electrolisis de sus sales fundidas.

En su obra cumbre, *Traité elementaire de chimie* (1789), que tanto habría de influir en el desarrollo de la Química moderna, LAVOISIER formuló, en contraste con la antigua idea de «elemento» de los griegos, el concepto moderno de *elemento químico* como sustancia química que no puede descomponerse por ningún método de análisis, es decir, como el último punto que el análisis puede alcanzar. Esta definición era precavida, pues tenía en cuenta que algunas sustancias consideradas elementos podían no serlo: «En tanto no hayamos descubierto todavía los medios para separarlos, actúan como sustancias simples, y no debemos considerarlas como compuestos hasta que los experimentos y la observación demuestren que lo son». En la «Tabla de las sustancias simples» de LAVOISIER, la primera que se publicó en la historia de la Química, figuraban 33 elementos, de los cuales sabemos ahora que sólo 23 son de hecho elementos químicos. Entre los 10 que no son tales aparecían dos elementos imponderables, la «luz» y el «calórico», y cinco «tierras o cales» (cal, magnesia, barita, alúmina y sílice), cuyos elementos alcalino-térreos, alumnio y silicio no se habían aislado aún. LAVOISIER acertó plenamente al no incluir en su Tabla a los álcalis sosa y potasa, pues sospechaba que, como había demostrado Comte BERTHOLLET (1748-1822) para el caso del amoniaco, debían ser compuestos y no elementos.

La palabra «álcali» procede del árabe «al-qali», cenizas de plantas, y originariamente designaba tanto a las cenizas de plantas marinas como terrestres. Fue el agrónomo y tecnólogo francés Henri-Louis DUHAMEL DU MONCEAU (1700-1782) el primero en distinguir entre las sales de sodio y potasio, estableciendo en 1736 en uno de sus más importantes trabajos, *Sur la base du sel marin*, que las cenizas de las plantas marinas contienen el mismo álcali que se encuentra en la sal marina y en los depósitos naturales de sal gema, al que llamó en con-

secuencia *álcali marino* o *mineral*, distinguiéndolo así del *álcali vegetal*, obtenido de las cenizas de las plantas terrestres. El boticario y químico alemán Martin KLAPROTH (1743-1817), uno de los grandes buscadores de elementos de su época, encontró también más tarde el álcali vegetal en ciertos minerales y propuso el nombre de *potasa* (del alemán «pottasche», ceniza de puchero) para este álcali. El término *sosa* procede del de la planta barrilla, o sosa (*Salsola soda*), que crece en suelos salados y cuyas cenizas sirven para obtener el álcali marino o mineral. A su vez, la palabra «soda» es el resultado de la evolución fonética regular y antigua del árabe «sauda», por el color negro de la barrilla.

LAVOISIER se equivocó al considerar a la sosa y la potasa no como óxidos sino, por analogía con el amoníaco, como compuestos de nitrógeno. En cuanto a las «sustancias terrosas» precisó: «Es de presumir que las tierras cesarán pronto de ser consideradas como sustancias simples; son las únicas de todos los elementos que no tienen tendencia alguna a unirse con el oxígeno, y estoy inclinado a creer que se debe a que ya están saturadas por él». Esta sospecha de LAVOISIER y otros químicos de que las cales fueran óxidos metálicos a pesar de su resistencia a ser reducidas por metales o por calentamiento con carbón resultó acertada, pero para aislar los elementos de sus iones (todavía no identificados) había que encontrar reductores más potentes. Éstos, sorprendentemente, resultaron ser los electrones (todavía no descubiertos) suministrados por la pila eléctrica de Volta.

En 1801, DAVY, aprendiz de boticario, cirujano y autodidacta, se trasladó a la «Royal Institution» y dirigió su atención, hasta entonces centrada en el estudio de las propiedades medicinales de los gases, en concreto del óxido nitroso, a la Química agrícola y la Electroquímica. DAVY era un magnífico conferenciante y en su comunicación a la «Royal Society» en 1806 anunció que la electricidad podía descomponer ciertos compuestos en sus elementos; al año siguiente, 1807, comunicó el aislamiento de los metales alcalinos *potasio* y *sodio* por electrolisis de sus correspondientes carbonatos fundidos. En 1808, DAVY repitió con éxito sus experimentos con los metales alcalinotérreos, y de nuevo sorprendió al mundo científico con el aislamiento del *calcio*, *magnesio* y *bario*. El honor de haber descubierto el primer halógeno, el *cloro*, le corresponde al boticario sueco Karl SCHEELE (1742-1786), que en 1774 trató pirolusita (dióxido de manganeso) con «ácido marino» (ácido clorhídrico), obtenido a su vez por acción del ácido sulfúrico

sobre la sal común. En la controversia sobre si el ácido marino contenía o no oxígeno —el elemento «generador de ácidos», según LAVOISIER—, DAVY dio un golpe mortal a la *teoría de Lavoisier sobre los ácidos*, al demostrar en 1810 que era un compuesto de cloro —al que erróneamente consideró el elemento acidificante— e hidrógeno.

Las reacciones químicas promovidas por la corriente eléctrica fueron estudiadas durante las dos primeras décadas del siglo XIX y tuvieron un fuerte impacto sobre los químicos de la época, pero los objetivos perseguidos fueron más cualitativos que cuantitativos. El reconocimiento de los aspectos cuantitativos de la electrolisis y la formulación de sus leyes hubieron de esperar hasta las investigaciones realizadas en los años 1832-1833 por FARADAY. Precisamente, el interés por la ciencia de este excepcional experimentador, hijo de una humilde familia numerosa, parece haber surgido durante la lectura de un artículo sobre electricidad en un tomo de la *Encyclopaedia Britannica* que estaba encuadernando mientras ejercía este oficio en el taller de un librero, lo que le llevó a fabricar una botella de Leiden y a realizar algunos sencillos experimentos. El punto de inflexión en la carrera de FARADAY se produjo en 1812 al escuchar las charlas de DAVY en la «Royal Institution» y ser admitido como su asistente en 1813. FARADAY sucedió a DAVY como director del laboratorio en 1825 y permaneció en la Institución el resto de su vida hasta su retiro en 1861. En 1826 inició las famosas «Christmas lectures to children» en la «Royal Institution», impartiendo él mismo 19 de tales cursos. Estas charlas siguen todavía vigentes y son pronunciadas cada año por eminentes científicos. Por entonces no estaba todavía claro, ni mucho menos, que los diversos tipos de electricidad —estática, galvánica, voltaica, magnética y termoeléctrica— fueran del mismo tipo, y FARADAY dedicó bastante atención a este tema. La aplicación de sus ideas a la determinación de la cantidad de electricidad necesaria para producir una reacción química le llevó al descubrimiento de las famosas *leyes de la electrolisis*, que llevan implícitas el reconocimiento de la unidad elemental o cuanto de electricidad.

Para establecer una terminología precisa y docta para la electroquímica de sus días, FARADAY acudió al físico, historiador de la ciencia y filósofo británico William WHEWELL (1794-1866), que le sugirió los siguientes nombres, que hoy nos resultan tan familiares: *electrodo*, *ánodo* (+), *cátodo* (-), *electrolito*, *ion*, *anión* (A^-), *cación* (C^+). La terminología

de FARADAY parecía indicar que aceptaba que la corriente eléctrica rompía o disociaba en iones al electrolito, o sustancia que sufría la descomposición electrolítica. Sin embargo, la teoría de la *disociación de los electrolitos* había de esperar al fisicoquímico sueco Svante ARRHENIUS (1859-1927), que la anunció en 1883 a la Academia Sueca de Ciencias y la publicó en 1887. En el caso de los electrolitos débiles, éstos se disociaban parcialmente en solución. Pocas generalizaciones en Química han demostrado ser tan fructíferas y de tanta significación como la teoría de la disociación de los electrolitos débiles y fuertes. ARRHENIUS corroboró la teoría de que el hidrógeno, y no el oxígeno, es el elemento esencial de los ácidos, al demostrar que los ácidos se disocian en solución acuosa produciendo el ion hidrógeno, o hidrogenión.

En honor de FARADAY se conoce con su nombre a la unidad molar de electricidad (96485 C). 1 *faraday* (F) = 1 mol de cargas eléctricas elementales (o sea, 1 (F) $\sim 10^{24}$ *e*). De hecho, fue el físico irlandés George STONEY (1826-1911) quien, conocedor de los experimentos de FARADAY, postuló en 1874 que la electricidad debía existir en unidades elementales —hoy decimos que está cuantizada—, a las que dio el nombre de *electrones* (*e*) ante la «Royal Society» de Dublín en 1891. Como hemos indicado, unos años antes, en la década de 1880, ARRHENIUS había desarrollado la teoría de que los electrolitos debían disociarse en solución acuosa en átomos o grupos de átomos cargados eléctricamente y denominados previamente *iones* por FARADAY.

El electrón fue descubierto finalmente en 1897 como partícula subatómica por Joseph THOMSON. Este descubrimiento fue uno de los primeros frutos de los experimentos que los físicos venían realizando sobre las descargas eléctricas de los gases a través de los tubos de alto vacío y sería pronto seguido por el del protón, realizado en 1906 por el propio THOMSON. Al conocimiento de la naturaleza y propiedades del electrón descubierto por THOMSON contribuyeron también decisivamente los posteriores descubrimientos de la radiactividad (rayos β) y de los efectos termoiónico (termoelectrones), fotoeléctrico y fotovoltaico (fotoelectrones), así como la comprensión de la naturaleza de los átomos y moléculas. El *protón* fue reconocido como «partícula primordial» constituyente de los núcleos de todos los átomos por el físico neozelandés Ernest RUTHERFORD (1871-1937), premio Nobel de Química en 1908, que, de acuerdo con su naturaleza primordial, le dio este nombre en 1914. El electrón y el protón son, respectivamente, los cuantos de

electricidad negativa y positiva por excelencia de la Química y de la Bioquímica. El *neutrón*, la otra partícula constitutiva de los núcleos atómicos, fue descubierto tardíamente en 1932 —debido precisamente a su carencia de carga eléctrica— por el físico británico James CHADWICK (1891-1974), discípulo de RUTHERFORD y premio Nobel de Física en 1935.

El premio Nobel de Física del pasado año recayó en los científicos estadounidenses David GROSS (1941-), David POLITZER (1949-) y Frank WILCZEK (1951), que en 1973 describieron la fuerza, o «pegamento», que mantiene unidos a los quarks, los doce tipos de partículas fundamentales que constituyen los protones y neutrones. Esta «interacción fuerte» es una de las cuatro fuerzas fundamentales que, junto con las de la gravedad, electromagnética y de interacción débil, rigen el Universo. Los *quarks* fueron bautizados con este curioso nombre —tomado de una obra del gran escritor irlandés James JOYCE (1882-1941)— por el también físico norteamericano Murray GELL-MANN (1929-), premio Nobel en 1969, que predijo su existencia en 1964.

Según hemos comentado antes, desde principios del siglo XIX, los químicos pudieron distinguir dos clases de sustancias que parecían diferir no sólo en su origen sino en algunas de sus propiedades fundamentales: las más estables, como el agua o las sales, de origen mineral, compuestas por una gran variedad de elementos, y las más lábiles, como las albúminas, los hidratos de carbono y las grasas, de origen vegetal o animal, compuestas principalmente por los bioelementos primordiales. BERZELIUS las clasificó en 1807 como *sustancias inorgánicas y orgánicas*, respectivamente. Otro rasgo característico de las sustancias orgánicas respecto a las inorgánicas que también pudieron apreciar los químicos de esa época es su gran complejidad y dificultad de manipulación y resistencia a los métodos de análisis. En principio, la determinación de la composición elemental y molecular de las sustancias orgánicas parecía una tarea formidable. Una agradable sorpresa que había de simplificar mucho la situación y dar luz en el futuro fue encontrar que las sustancias naturales, como el almidón, la celulosa, las proteínas y los ácidos nucleicos, son en cierto modo moléculas gigantes, formadas por un gran número de unidades relativamente sencillas —hoy llamadas sillares moleculares— de uno o varios tipos. BERZELIUS acuñó dos palabras muy adecuadas para clasificarlas: *polímeros* (del griego, «muchas partes») y *monómeros* (del griego, «una parte»).

La división convencional de los compuestos químicos en orgánicos e inorgánicos llevó a la idea errónea de que estos últimos carecen de significación biológica. Esta división artificial de los compuesto químicos resulta hoy particularmente paradójica, pues son precisamente el agua y los cationes y aniones inorgánicos, en su flujo continuo a través de las bombas de iones y de los conductos moleculares e iónicos, los grandes protagonistas de la bioenergética, de la fisiología y, en concreto, de la neurofisiología, razón por la que dedicamos especial atención a este tema. Debe por lo demás subrayarse que los bioelementos primordiales de la materia viva están continuamente ciclando entre el estado inorgánico y el estado orgánico, gracias a los procesos biológicos de la fotosíntesis y la respiración, así como de la combustión.

En 1857, PASTEUR, en la cumbre de su fama, había aparentemente terminado de manera definitiva con la falacia de la generación espontánea y acababa de ganar otra nueva batalla al demostrar inequívocamente que las fermentaciones son procesos biológicos que resultan de la actividad de microorganismos vivos. Esto ocurría antes de que BUCHNER demostrara en 1897 que los extractos acelulares de levadura fermentan el azúcar, es decir, que ciertas actividades vitales pueden tener lugar fuera de la célula viva. De hecho, el descubrimiento de BUCHNER habría de ser de enorme trascendencia, pues aparte de dar nacimiento a la Enzimología (del griego «enzima», en la levadura), derribaba de nuevo uno de los dogmas vitalistas más firmes de la Biología en aquel periodo, fundado nada menos que en la autoridad de PASTEUR, de que la actividad vital es inseparable de la integridad estructural de la célula viva. La célula seguía, sin embargo, siendo, y lo sigue y seguirá siendo mientras haya vida, la unidad morfológica y fisiológica de los seres vivos.

El descubrimiento de BUCHNER no pudo ser más simple, pero supuso un golpe aún más duro para el vitalismo que el que le había asestado el químico alemán Friedrich WÖHLER (1800-1882) en 1828 al sintetizar la urea —el principal producto de la excreción nitrogenada de los mamíferos— por calentamiento de una sal amónica. Este inesperado éxito, debido al simple cambio estructural de una molécula por reorganización mediante el calor de la disposición espacial de sus átomos, hizo proclamar con júbilo a WÖHLER en una carta dirigida a su maestro BERZELIUS: «Tengo que decirle que puedo preparar la urea sin necesidad de un riñón o de un animal, sea hombre o perro». Las dudas respecto a la necesidad de una «fuerza vital» para la síntesis de los

compuestos orgánicos y de la imposibilidad de fabricarlos por vías puramente químicas habrían de quedar pronto disipadas con la síntesis en 1845 por Adolf KOLBE (1818-1884), discípulo de WÖHLER, del ácido acético, y sobre todo con las proezas del químico francés Pierre BERTHELOT (1827-1907) en la década de 1850 al conseguir la síntesis de una variedad de hidrocarburos acíclicos y cíclicos, alcoholes y grasas. Los químicos, bioquímicos y biólogos moleculares y celulares sintetizan ya hoy todo tipo de sillares moleculares y macromoléculas y tal vez puedan emular la capacidad biosintética de la naturaleza hasta el nivel de orgánulos e incluso de células. A la pregunta de si podrá el propio hombre fabricar algún día una célula, e incluso una célula humana, hay que responder que no lo sabemos, pero lo que si podemos afirmar es que nunca podrá crearla de novo; siempre tendrá que partir de algo ya creado, aunque sea sólo de «luz».

Uno de los grandes descubrimientos de los biólogos celulares y moleculares, bioquímicos y biofísicos de nuestro tiempo ha sido poder explicar a nivel atómico lo que ocurre cuando la mente se pone a pensar: los iones de un puñado de sal atraviesan los refinadísimos conductos de las membranas de nuestros nervios e impulsan una corriente eléctrica. La «compleja» electrofisiología vuelve por sus fueros y vence a la «simple» pero endiosada electroquímica. Es bien sabido que el sodio, potasio y calcio son elementos muy abundantes en la corteza terrestre, presentándose combinados como cloruros, carbonatos, fosfatos... en los enormes depósitos salinos originados por evaporación de los antiguos mares, así como en los suelos oceánicos. En los mares actuales las concentraciones de Na^+ , K^+ y Ca^{2+} son del orden de 0,5 M, 0,01 M y 0,01 M, respectivamente. El sodio y el potasio son dos metales alcalinos muy semejantes entre sí en sus propiedades químicas, pero completamente diferentes en sus actividades biológicas, llegando a ser antagonicos en muchos aspectos.

SABIDURÍA DE LAS BIOMEMBRANAS

Aplicamos a las membranas el calificativo de «sabias» en el sentido que lo hace la Academia de la Lengua de que son «cosas que contienen sabiduría». Las membranas biológicas son uno de los grandes descubrimientos de la vida y constituyen barreras de permeabilidad selectiva que

contienen bombas y conductos para el paso a su través de iones y moléculas. A su vez, ellas mismas generan señales que pueden ser químicas o eléctricas, como en la transmisión del impulso nervioso, y contienen receptores de señales para estímulos externos. Además de la membrana plasmática, que las aísla del medio externo, las células eucarióticas contienen en su interior orgánulos con sistemas de membranas muy especializados. Los dos procesos de transducción de energía más importantes de la biología —la fotosíntesis y la respiración— tienen lugar en las membranas internas de los orgánulos que constituyen las centrales energéticas de los organismos vivos, a saber, cloroplastos y mitocondrias, a cuyo estudio yo he dedicado mi vida.

Entre los rasgos más comunes que caracterizan a las membranas biológicas sobresalen y merecen ser recordados los siguientes: Las membranas son estructuras laminares lipoproteicas de unos 10 nm de espesor que forman compartimentos cerrados. A diferencia de los ácidos nucleicos, proteínas y carbohidratos, los lípidos de las membranas no son polímeros, sino moléculas bipolares, o anfipáticas, más bien sencillas. En los casos más representativos se trata de fosfoglicéridos, es decir, fosfolípidos con una cabeza polar hidrófila de fosfatidilcolina y una doble cola hidrófoba hidrocarbonada de ácidos grasos. Estas moléculas de fosfolípidos se asocian entre sí formando una doble capa con las cabezas hidrófilas de cada capa hacia el exterior y el interior de la membrana y con las cadenas hidrófobas unidas entre sí por fuerzas de Van der Waals y enfrentadas por sus extremos en el plano interlaminaar que forman las dos capas. Las membranas son fluidas y asimétricas, disponiéndose las moléculas proteicas o bien en posición periférica a uno y otro lado de la membrana o bien atravesándola integral y asimétricamente. La mayoría de las membranas están polarizadas eléctricamente debido a la desigual distribución y concentración de sus iones en los espacios intra y extracelulares, con un potencial negativo en su interior del orden de 50 a 100 mV. El *potencial de membrana* desempeña un papel fundamental en la conversión de energía, en el transporte de sustancias y en la excitabilidad. Muchas membranas contienen también glicolípidos y colesterol. Este esteroles está presente en la membrana plasmática de los eucariotas, pero no de los procariotas, y apareció una vez que la atmósfera se hizo aeróbica tras la aparición de los organismos fotosintéticos oxigénicos, que aprendieron a fotooxidar el agua y liberar el «aire vital» en ella contenido. Su presencia influye en el grado de

rigidez de la membrana y su nivel en la sangre es un indicador de creciente interés clínico.

BOMBAS DE IONES

La mayoría de las células mantiene en su interior citoplásmico una concentración elevada de K^+ (~100 mM) y baja de Na^+ (~10 mM), en tanto que las concentraciones extracelulares de uno y otro catión son del orden inverso, es decir, 10 mM para el K^+ y 100 mM para el Na^+ . El establecimiento y mantenimiento de estos desequilibrios, o *potenciales electroquímicos de iones*, determinados por el potencial eléctrico de membrana y el gradiente de concentración, requiere un bombeo constante de K^+ y Na^+ de uno a otro lado de las membranas celulares, lo que corre a cargo de unos enzimas específicos intramembranales que utilizan la energía de fosfato del ATP (adenosín-trifosfato) para sacar Na^+ al exterior e introducir K^+ en el interior de las células. Estas proteínas se denominan *ATPasas de Na^+-K^+* , o *bombas de Na^+-K^+* , y son mecánicamente muy similares a las *ATPasas de Ca^{2+}* , o *bombas de Ca^{2+}* , que utilizan el mismo tipo de energía. Puesto que los cationes Na^+ y K^+ se desplazan en sentido contrario, este sistema de *transporte activo* de cationes recibe el nombre de *antiporte*. En la mayoría de las células, los gradientes iónicos y las diferencias de potencial a través de la membrana plasmática constituyen una fuente de energía de gran importancia en el transporte activo de ciertos sustratos o metabolitos al interior celular. Por ejemplo, el transporte de glucosa al interior de las células del intestino o de los riñones lo realiza una proteína de membrana específica que aprovecha el gradiente de Na^+ y la fuerte tendencia de estos iones a entrar en la célula, denominándose *simporte* a este cotransporte simultáneo y codireccional de iones Na^+ y de moléculas de glucosa. La bomba de Ca^{2+} de las membranas del retículo sarcoplásmico del músculo esquelético bombea el ion Ca^{2+} del citosol (10 mM) al interior del retículo (10 mM) en la fase de relajación, mientras que la excitación de la membrana del retículo por un impulso nervioso determina la liberación instantánea del Ca^{2+} contenido en su interior a través de conductos específicos para este ion y desencadena la contracción muscular.

En 1957, el bioquímico danés Jens SKOU (1918-) descubrió que la hidrólisis del ATP en ADP (adenosín-difosfato) y ortofosfato (P_i) por un

homogenado de nervios de cangrejo requería la presencia simultánea de iones Na^+ y K^+ . Esta actividad hidrolítica se inhibía por la oubaína, conocido glucósido cardiotónico de la *Digital* que inhibe el transporte de Na^+ y K^+ a través de las membranas celulares. SKOU compartió en 1997 el premio Nobel de Química con el norteamericano Paul BOYER (1918-) y el inglés John WALKER (1941-) por sus trabajos estructurales y mecánicos sobre el «complicado complejo» proteico transmembranal de las F_0F_1 *ATP sintasas*, que transducen en energía de fosfato el potencial electroquímico de protones generado por el flujo fotosintético o respiratorio de electrones. Previamente, el bioquímico británico Peter MITCHELL (1920-1992) había recibido en 1978 el premio Nobel por su teoría quimiosmótica sobre el mecanismo de la fosforilación a nivel de membrana propuesta en 1961. Desde hace una década se sabe que además de las bombas de H^+ impulsadas por ATP, o H^+ -*ATPasas*, existen las H^+ -*PP_iasas*, que utilizan la energía del grupo metafosfato del pirofosfato; en la investigación de estas «simples» y originales bombas de hidrogeniones es pionero el grupo de «Bioenergética del fosfato» del Centro de Investigaciones Científicas de la Isla de la Cartuja sevillana.

CONDUCTOS DE LAS BIOMEMBRANAS

Las bicapas lipídicas de las membranas celulares son, en general, impermeables al agua, a los iones y a otras moléculas polares. Sin embargo, en muchos casos, estas sustancias tienen que ser rápida y selectivamente transportadas a través de la membrana, con frecuencia en respuesta a una señal extra o intracelular. Así como el transporte activo contra un gradiente de concentraciones es realizado por bombas, el transporte pasivo a favor de un gradiente de concentraciones tiene lugar a través de conductos específicos.

Los gradientes iónicos transmembranales son importantísimos para la excitabilidad de las células nerviosas y musculares. En el caso particular de las neuronas en reposo el potencial de membrana es de unos -70 mV. La estimulación de una neurona ocasiona el flujo instantáneo de Na^+ hacia el interior celular y va seguido de un flujo menor de K^+ hacia el espacio exterior, lo que se traduce en un cambio local del potencial de membrana que pasa transitoriamente en su interior a ser de $+40$ mV para recuperar de nuevo su valor inicial de -70 mV. Este cambio localizado de

potencial, o *potencial de acción*, se propaga a lo largo del axón de la neurona como si fuera una *onda de despolarización* sobre la membrana.

Para comunicarse con otra neurona en reposo o con una fibra muscular, la neurona debe trasmitirle su estímulo, lo que tiene lugar a través de *neurotransmisores*, como la acetilcolina, mientras que la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ va restableciendo los gradientes iónicos preexistentes. Los fisiólogos-farmacólogos británico Henry DALE (1875-1968) y el germanonorteamericano Otto LOEWI (1873-1961) compartieron en 1936 el premio Nobel de Fisiología o Medicina por el descubrimiento de la sustancia química —acetilcolina— que actúa como transmisora del impulso nervioso. El neurofisiólogo australiano John ECCLES (1903-1997) recibió más tarde (1963) el premio Nobel de Fisiología o Medicina — que compartió con los británicos Alan HODKIN (1914-1998) y Andrew HUXLEY (1917-)— por sus trabajos sobre los mecanismos químicos de la transmisión sináptica.

Durante la transmisión del impulso nervioso tiene lugar un fulminante movimiento de cationes en la *sinapsis*, o zona de contacto entre las neuronas. La llegada del potencial de acción al extremo engrosado de la neurona presináptica provoca la apertura de los conductos de iones Ca^{2+} y la consiguiente entrada de éstos al interior celular con la simultánea liberación de acetilcolina al espacio sináptico. A continuación los receptores de acetilcolina de la membrana de la neurona postsináptica responden a la señal del neurotransmisor modificando la permeabilidad iónica de modo que se produce un flujo masivo de iones Na^+ hacia el interior de la neurona y otro menor de iones K^+ hacia el exterior. Se genera así un nuevo potencial de acción que se transmite a lo largo de la neurona postsináptica.

Los conductos de las membranas biológicas permiten el transporte rápido, selectivo y regulado de agua, iones y pequeños solutos a través de dichas membranas. Estos canales se encuentran en todas las células vivas y son responsables de muchas funciones celulares críticas, como la transmisión de señales neuronales que acabamos de mencionar, contracción muscular, función cardíaca, reabsorción de agua en los riñones, toma de agua en las raíces de las plantas y respuesta al estrés osmótico en los microorganismos. El enorme progreso en nuestros conocimientos sobre la función de los conductos de las membranas que ha tenido lugar en la última década se ha debido en gran parte a descubrimientos fun-

damentales realizados por legiones de investigadores en relación con los conductos de iones y de agua que han hecho posible ver en acción a nivel atómico a estas máquinas de exquisito diseño molecular y celular. El premio Nobel de Química fue concedido en 2003 a Peter AGRE (1949-), profesor de Química Biológica en la Facultad de Medicina de la Universidad John Hopkins de Baltimore, que había descubierto y caracterizado el primer conducto de agua, y a Roderick MACKINNON (1956-), profesor de Neurobiología y Biofísica de la Universidad Rockefeller de Nueva York, que había elucidado la base estructural y mecánica del conducto de K^+ .

Acuaporinas

Los conductos de agua son cruciales para la vida y se encuentran en todos los organismos, desde las bacterias hasta el hombre. Los conductos de agua permiten a las células regular su volumen y presión osmótica interna, y su funcionamiento es obligado cuando ha de recuperarse el agua de los fluidos corporales, como durante la concentración de la orina en el riñón. En los vegetales, los conductos de agua son críticos para la absorción de agua por las raíces y para el mantenimiento del balance hídrico de la planta.

La existencia de conductos para el flujo de agua y de pequeños solutos a través de la pared de la vejiga urinaria y de las membranas celulares fue postulada a mediados del siglo XIX. A finales de la década de 1950 se encontró que el agua es rápidamente transportada por unos conductos selectivos de la membrana celular de los glóbulos rojos que excluyen el paso de iones y otros solutos. Los estudios realizados durante los siguientes treinta años en diversos organismos y tejidos sugirieron que los conductos de agua tienen un estrecho filtro de selectividad que previene el paso de iones hidronio (H_3O^+) en tanto mantiene un alto grado de permeabilidad, de hacia mil millones de moléculas por segundo, para el agua neutra (H_2O). Sin embargo, hasta 1987 nadie había sido capaz de identificar una proteína conductora de agua, y el mismo concepto de conducto específico de agua era objeto de controversia. Los elusivos conductos de agua fueron finalmente descubiertos por AGRE, que a mediados de los 80 estaba investigando los antígenos de los grupos sanguíneos Rh de las membranas de los eritrocitos.

En 1988, AGRE aisló una nueva proteína de membrana de 28 kDa y función desconocida de los glóbulos rojos y de los túbulos renales. Tras determinar su secuencia completa se dio cuenta de que podía tratarse del conducto de agua tan largamente buscado. Poco después lo demostró conclusivamente al verificar que la expresión de la proteína en oocitos de *Xenopus* hacía que las células se hincharan rápidamente al ser colocadas en medios hipotónicos. El mismo fenómeno tenía lugar en liposomas reconstruidos con los conductos de agua. Tanto en uno como en otro caso el hinchamiento era inhibido por iones Hg^{2+} , reactivo que bloquea el transporte de agua a través de la membrana de los eritrocitos.

El descubrimiento de la primera proteína transportadora de agua, que AGRE denominó *acuaporina*, fue decisivo para el estudio posterior en todo el mundo vivo de los conductos de agua: sólo en los seres humanos hay al menos 11 acuaporinas diferentes, muchas de las cuales se han relacionado con diversas enfermedades. Este número es aún mayor en los vegetales, ascendiendo a 35 en la planta de referencia *Arabidopsis thaliana*. La importancia fisiológica de las acuaporinas es quizás especialmente obvia en el riñón, donde se reabsorben cada día alrededor de 200 litros de la orina primaria por acción de las acuaporinas 1 y 2. La expresión de la acuaporina 2 está regulada por la vasopresina, habiéndose asociado sus disminuciones y aumentos de nivel con diabetes insípidas nefrogénicas, así como con varias condiciones relacionadas con la retención de fluido, como la insuficiencia cardiaca congestiva.

En los años 2000 y 2001 se han determinado las primeras estructuras tridimensionales de la acuaporina y de otra proteína bacteriana relacionada con el transporte de la glicerina, lo que ha permitido proponer modelos que expliquen la alta selectividad para el rápido transporte del agua y la exclusión del paso de los iones hidrógeno. En esencia, la arquitectura del conducto permite sólo el paso en fila de moléculas de agua neutras. El campo electrostático generado por la proteína cambia su polaridad en el centro del canal, forzando la rotación de las moléculas de agua de tal manera que sus momentos dipolares se orientan en sentido opuesto en la mitad superior e inferior del conducto. Es precisamente esta reorientación la que previene la formación de una red continua de moléculas de agua unidas por puentes de hidrógeno y bloquea el salto de protones y su consiguiente paso.

En el corto periodo de unos diez años se ha conseguido explicar el funcionamiento a nivel atómico de los conductos de agua, su papel fisiológico en los organismos procarióticos y eucarióticos y cómo afectan a determinadas enfermedades. El inesperado descubrimiento de las acuaporinas ha revolucionado el estudio del transporte del agua y ha puesto los fundamentos bioquímicos de un área muy importante de la fisiología bacteriana, vegetal, animal y humana y de gran alcance en las ciencias medioambientales, agropecuarias y biomédicas. Hace sólo unos meses un grupo de científicos ha comunicado en la revista *Science* el importante descubrimiento de la arquitectura atómica del conducto de amoniaco.

Conductos iónicos

Los conductos iónicos permiten a las células generar y transmitir señales eléctricas y son las estructuras moleculares fundamentales del sistema nervioso. Los conductos iónicos pueden abrirse y cerrarse en respuesta a diferentes estímulos, como la unión de ligandos, voltaje transmembranal, temperatura, estrés, es decir, se gradúan por compuertas. Muchos de los conductos iónicos son altamente selectivos para un ion particular (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) y pueden alcanzar velocidades de transporte muy elevadas, cercanas a mil millones por segundo. En el hombre, los conductos iónicos están implicados en un conjunto de enfermedades de órganos como el cerebro, el corazón y los músculos.

Hace ya más de un siglo, en 1890, el químico alemán Friedrich OSTWALD (1853-1932), uno de los fundadores de la Fisicoquímica y premio Nobel de Química en 1909 por sus trabajos sobre catálisis, sugirió que las corrientes eléctricas en los tejidos vivos podían estar causadas por el movimiento de iones a través de las membranas celulares. En los primeros años de la década de 1900 se estableció que los potenciales de membrana son de naturaleza electroquímica y en 1925 se propuso la existencia de estrechos conductos iónicos. Los trabajos de los neurofisiólogos HODGKIN y HUXLEY a comienzos de los años 1950 sobre el transporte de iones a través de las membranas del axón gigante del calamar marcaron el comienzo de la era moderna de la neurofisiología y rápidamente condujeron a un modelo muy detallado para el potencial de acción en las células nerviosas basado en la idea de que en

la membrana existen conductos modulados por voltaje para los iones Na^+ y K^+ y a veces Ca^{2+} . Quedó también demostrado que los iones K^+ cruzan la membrana en fila india, lo que corroboraba la idea de estructuras empotradas en la membrana. Aunque los fenómenos de transporte rápido, selectividad iónica, paso por compuertas e inactivación de los conductos se describieron e identificaron claramente en este estadio inicial, los mecanismos moleculares subyacentes siguieron estando totalmente oscuros.

Los trabajos realizados durante los años 60 y 70 sobre el receptor de acetilcolina controlado por ligando del pez raya eléctrico *Torpedo californica* condujeron a la primera identificación bioquímica de la proteína de un canal iónico, cuya resolución estructural mostró que se trataba de un gran embudo extracelular que conducía a un estrecho conducto membranal. En los primeros años 70 se midieron por técnicas biofísicas las dimensiones del «filtro de selectividad» de los conductos de Na^+ y K^+ controlados por voltaje, quedando establecido que la compuerta y el filtro de selectividad son estructuras separadas. La técnica del registro del paso de iones por un solo canal desarrollada en la década de los setenta por el biofísico alemán Erwin NEHER (1944-) y el fisiólogo de la misma nacionalidad Bert SAKMANN (1942-) hizo posible la realización de estudios muy detallados sobre la permeabilidad iónica. Ambos científicos, que compartieron el premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1991, consideraron este problema como «one of the most urgent problems in membrane biophysics». La contribución de NEHER y SAKMANN ha significado una revolución en el campo de la Biología celular y ha contribuido a la comprensión de los mecanismos que subyacen bajo diversas enfermedades, como la fibrosis quística, la epilepsia, varias enfermedades vasovasculares y desórdenes neuromusculares, así como al diseño de drogas que actúan específicamente sobre los canales iónicos.

La combinación de la técnica de NEHER y SAKMANN, denominada de «patch-clamp», con la posibilidad de clonar, mutageneizar y expresar las proteínas de los conductos iónicos en células como los oocitos de *Xenopus* permitió progresar con rapidez en el trazado de los mapas de las diferentes regiones funcionales de varios conductos iónicos. A mediados de la década de 1990 estaba claro que los canales iónicos tienen un estrecho filtro de selectividad cerca del extremo extracelular y una compuerta junto al extremo intracelular. Se propuso que la selec-

tividad se lograba por el posicionamiento apropiado de los átomos de oxígeno en el filtro, de manera que los iones del tamaño correcto eran preferentemente desolvatados al entrar en el mismo. Se había pues identificado el segmento de proteína que forma el filtro de selectividad. Sin embargo, su diseño molecular detallado y el mecanismo de acción de la compuerta permanecían desconocidos. Era obvio que sólo sería posible progresar en estos conocimientos si se conseguían datos estructurales de alta resolución.

Es muy difícil determinar las estructuras tridimensionales de las proteínas de membrana, y los conductos iónicos no son excepción. En particular, las proteínas de las membranas eucarióticas parecen ofrecer más dificultad a este respecto que las de las procarióticas. La clonación y sobreexpresión de un conducto bacteriano de iones K^+ con alta homología con los conductos de K^+ eucarióticos sugirió a algunos investigadores que los canales procarióticos podrían suministrar la clave para el estudio de este tipo de conductos. El decisivo avance tuvo lugar en 1998 cuando Roderick MACKINNON consiguió determinar la primera estructura a alta resolución de un canal de K^+ de la bacteria *Streptomyces lividans*. El diseño del filtro de selectividad de este conducto parecía estar perfectamente adaptado para llevar a cabo la desolvatación de los iones K^+ y al mismo tiempo excluir a los iones Na^+ más pequeños, lo que daba cuenta de la alta selectividad del K^+ y de su alta velocidad de transporte. A resoluciones todavía más altas se podían ver los iones K^+ en posición de espera a uno y otro lado del filtro de selectividad. Quedó también claro que el filtro de selectividad está constituido por un conjunto de sitios de unión para el K^+ que imitan casi exactamente la capa de hidratación que normalmente rodea a este ion.

La estructura del conducto bacteriano de K^+ determinada por MACKINNON correspondía a su conformación en estado cerrado, pero este mismo investigador consiguió la conformación del canal activado por iones Ca^{2+} en su estado abierto. La comparación de ambas estructuras permitió visualizar un mecanismo general para la apertura de la compuerta del conducto en que el dominio del sensor actúa separando las hélices junto al extremo intracelular del conducto. Algunos conductos de K^+ solo transportan los iones en un sentido, por lo que actúan como «moléculas diodos». Estos canales rectificadores se bloquean por iones Mg^{2+} y poliaminas que penetran en el conducto desde su extremo citosólico cuando la membrana está despolarizada. La primera estructura de

un dominio para el proceso de rectificación fue presentada por MACKINNON en el año 2002 y mostraba una estructura alineada con residuos acídicos e hidrofóbicos que penetraban hasta casi 6 nm y suministraban los sitios de unión para las poliaminas.

La base molecular para otro tipo de inactivación de los canales, conocido como inactivación del tipo de «cadena de presidiario», fue esclarecida por análisis mutacional de un conducto eucariótico de K^+ homólogo al de *Streptomyces*. HODGKIN y HUXLEY habían ya demostrado que la apertura inducida por voltaje de los conductos iónicos es el principio central del mecanismo de activación en las células excitables, tales como las células nerviosas, musculares y endocrinas. Utilizando un complejo con fragmentos de un anticuerpo dirigido contra el dominio del sensor de voltaje MACKINNON consiguió muy recientemente resolver la estructura del conducto de K^+ de una arqueobacteria con sensor de voltaje. Los fragmentos del anticuerpo parecían separar los dominios del sensor del propio conducto. Aunque todavía no se conoce la estructura precisa de un conducto de compuerta regulado por voltaje en estado intacto, el trabajo de MACKINNON ha suministrado una primera visión detallada del mecanismo sensor. En resumen, el conducto bacteriano de K^+ está constituido por un filtro de permeabilidad selectiva, en el que los iones de K^+ están coordinados por átomos de oxígeno de la cadena proteínica. En la antecámara y postcámara del canal, los iones K^+ están parcial o totalmente hidratados. En su extremo intracelular la antecámara del conducto está cerrada por una compuerta que puede abrirse por la acción de un dominio sensor.

Durante los últimos años, los trabajos estructurales han comenzado a iluminar la función molecular de los conductos selectivos de iones Cl^- y de iones mecanosensibles. La cristalografía electrónica y de rayos X ha permitido progresar en los modelos estructurales del receptor de acetilcolina. El trabajo estructural y mecanístico de MACKINNON sobre los canales de K^+ ha aclarado los mecanismos moleculares implicados en la selectividad iónica, apertura y cierre e inactivación de estos canales y ha abierto horizontes completamente nuevos para el estudio bioquímico y biofísico detallado de su función. Los descubrimientos de MACKINNON han suministrado asimismo una base muy firme para la comprensión a nivel molecular de muchas enfermedades neurológicas, musculares y cardíacas y han abierto nuevas perspectivas para el diseño de drogas. Estamos pues en los umbrales de saber cómo funcionan bio-

física y bioquímicamente las neuronas y pronto sabremos cómo nuestras mentes graban la información y la retienen en su memoria.

ALFA Y OMEGA

Quizás la ecuación más simple e importante de la Ciencia desde el origen del Universo —descubierta, que no inventada, hace ahora exactamente un siglo por la mente simplificadora y clarividente de EINSTEIN— sea la que establece la equivalencia entre energía y materia por medio del cuadrado de la velocidad de la luz, $E/m=c^2$; nada menos que casi un trillón de unidades de energía (10^{17} J) por unidad de masa (1 kg). En 1935, el físico inglés Patrick BLACKETT (1897-1974) demostró que los rayos gamma desaparecen al pasar a través del plomo y que cada fotón da lugar a un electrón y su antipartícula, el positrón. Estos experimentos fueron las primeras demostraciones obvias de la conversión de la energía en materia. También se demostró el proceso inverso: cuando una partícula se encuentra con su antipartícula se aniquilan ambas entre sí y la materia se transforma en energía. La vida —tal como ocurre en nuestro planeta y probablemente en cualquier otro si la hubiera— no sería posible si no fuera por el proceso físico de conversión de materia en luz por fusión nuclear que tiene lugar en el Sol y por el subsiguiente proceso biológico de conversión de luz en energía química de fosfato que tiene lugar en la biosfera mediante la fotosíntesis y la respiración.

Todo lo que existe en el Universo comenzó por no existir y procede del destello inicial, y todo en él está hecho de partículas y átomos, siendo uno de los descubrimientos más notables de la Astronomía que las radiantes estrellas sean los crisoles donde se generan los átomos de los elementos químicos a partir de hidrógeno y helio. Al acto original de la Creación de ¡hágase la luz! siguió, de acuerdo con las leyes programadas e impuestas de manera implacable por las constantes universales, la evolución fisicoquímica, bioquímica y biológica, cuyo broche de oro han sido las criaturas, la mente y el corazón del hombre ¡Nadie ni Nada más que un Poder omnipotente y un Saber omnisciente ha podido crear el Universo y la mente humana! ¡Y Nadie más que un Amor infinito ha podido poner su nido en el corazón de la humanidad! Para el padre de la teoría de la relatividad, «el saber que existe verdaderamente lo que no puede ser investigado y que ello se nos revela

como la verdad suprema y la belleza más resplandeciente, de las que sólo podemos tener un ligero presentimiento... Ese saber y ese presentimiento son el núcleo de toda verdadera religiosidad».

San Juan De La CRUZ (1540-1591), uno de los mayores poetas líricos de cualquier época o país, en frase del gran hispanófilo inglés Gerald BRENAN (1894-1987), describió en su *Cántico espiritual* la hermosura de la Creación con una altura y finura intelectual y una musicalidad y transparencia de lenguaje difíciles de superar. Dios esparce amor por la Creación, y las criaturas son su rastro maravilloso. San Juan vio la luz divina en la celda oscura de Toledo donde le tuvieron preso y en ella escribió también sus *Romances*, que inicia con sumo candor relatando el misterio insondable del Principio de la Creación:

Él moraba en el principio
y principio no tenía.
Él era el mismo principio;
por eso de él carecía.

Los hombres queremos y deseamos comprender, necesitamos comprender, tenemos que comprender... que buscar y encontrar la Verdad, que saber la Verdad, toda la Verdad. Si existe un Principio creador y eterno y somos sus criaturas, tenemos que confiar con esperanza en que debe haber también un Fin que dé sentido a nuestras vidas. ¡Todo menos caer en el vacío, la oscuridad y el pesimismo de la Nada! San Juan De La CRUZ llegó «a saber no sabiendo», «a entender no entendiendo», «toda ciencia trascendiendo». El humilde fraile carmelita nos dio también con suma sencillez sus normas ascéticas para, partiendo de la «nada», llegar a gustarlo todo, a saberlo todo, a poseerlo todo, a serlo todo. Para San Juan, el alma es una hermosísima y acabada imagen de Dios, que llega más a Él creyendo y amando con el corazón que sabiendo y entendiendo con la mente. Los hombres debemos creer que hemos sido esencialmente creados para amar, para saber y para ser creativos.

Al recordar desde su amado Puerto Rico, la «isla de la simpatía», a tres de sus grandes y admirados amigos —Antonio MACHADO, Miguel de UNAMUNO y Federico GARCÍA LORCA (1898-1936)— Juan Ramón JIMÉNEZ dijo con bellísima imagen poética que «los tres habían ido, cada uno a su manera, a mirarle a Dios la cara». Yo hoy quiero recordar especialmente a dos de mis mejores y queridos maestros, miembros muy destacados de esta Real Academia de Farmacia, don José

María ALBAREDA y don Manuel LORA-TAMAYO (1904-2002). Los dos se han ido ya también, y todos nos iremos más pronto que tarde por el mismo camino a la misma posada. ¿Consistirá realmente la eternidad en verle la cara a Dios, en contemplar el esplendor de su rostro?

Hoy sabemos que la energía de la luz del Sol permite que las pequeñas moléculas inorgánicas del agua, aire y tierra de nuestro planeta se unan entre sí y conviertan en las grandes moléculas y complicadas estructuras de la materia viva y en aire vital, que finalmente las quema. También sabemos que nuestros cuerpos son obviamente materia carnal y que, como tal materia organizada, se desmiembran, deshacen y descomponen tras la muerte biológica en polvo y ceniza durante la respiración y combustión. La materia viva cicla y recicla y pasa continuamente de unos seres vivos a otros y del mundo orgánico al inorgánico, y viceversa. Pero ¿en qué se transforman tras la muerte nuestras almas si realmente existen y son en esencia distintas de la materia y tienen vida eterna? ¿Seremos al morir «cuerpos gloriosos», sin las trabas ni la debilidad de la carne, con sólo la fuerza del espíritu? ¿Nos convertiremos en luz resplandeciente, como presintió el profundo teólogo y poeta Fray Luis De LEÓN y dejó escrito en su hermosísima oda a Felipe Ruiz, tan confiada y llena de esperanza?

¿Cuándo será que pueda
libre de esta prisión volar al cielo
y contemplar la verdad pura sin velo?

Allí a mi vida junto,
en luz resplandeciente convertido,
veré distinto y junto
lo que es y lo que ha sido,
y su principio propio y escondido.

Entonces veré cómo
la soberana mano echó el cimiento
tan a nivel y plomo.