



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

## **EL CALOR. DEL MITO A LA MEDIDA**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

**ILMO. SR. D.**  
**PEDRO LUIS MATEO ALARCÓN**

GRANADA, 2009



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

**EL CALOR. DEL MITO A LA MEDIDA**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO NUMERARIO POR EL

**ILMO. SR. D.**

**PEDRO LUIS MATEO ALARCÓN**

GRANADA, 2009

**EL CALOR.**  
**DEL MITO A LA**  
**MEDIDA**

## **EL CALOR. DEL MITO A LA MEDIDA**

**PEDRO LUIS MATEO ALARCÓN**

*A la memoria de mis padres  
A mis hijos*

*Si comenzáis por tratar las ideas científicas de siglos anteriores como mitos, terminaréis por tratar vuestras propias ideas científicas como dogmas.*

*Toulmin y Goodfield, 1963*

Excelentísimo Señor Presidente  
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores Académicos  
Señoras y Señores

Quiero en primer lugar manifestar mi agradecimiento por el honor recibido, así como mi satisfacción personal y profesional por la distinción que supone el haber sido propuesto como miembro de esta ilustre Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada. Academia a la que desde este momento me ofrezco, con entusiasmo e ilusión, para todo aquello en lo que modestamente pueda contribuir en sus futuras actividades.

Como profesor universitario, desde hace ya bastantes años, he defendido siempre que la valía y el prestigio de un profesor deben basarse fundamentalmente en la calidad y excelencia de su investigación, el conocimiento amplio de la materia que imparte y su capacidad para la transmisión de la misma en la formación de futuros licenciados y doctores (quienes, por cierto, son los únicos que justifican nuestra etiqueta de profesor). Todo ello algo obvio, si se quiere, pero en lo que en tiempos de crisis, cambios y mudanzas, y de cierta confusión, conviene insistir. Por eso, los variopintos contenidos de los baremos, con los que en los últimos tiempos nos amenazan desde diversos foros y agencias con evaluaciones varias, me recuerdan la ironía del propio Severo Ochoa cuando decía que en los curricula, como en el cuerpo humano, el 70% era agua.

En mi docencia he procurado que el alumno, además de adquirir una visión crítica de la materia en curso, recibiera al menos una mínima noción de qué ha sido y es aquello de lo que hablamos, es decir, la Ciencia. Por ello, a la hora de definir y organizar el contenido de este discurso, he creído casi obligado mencionar algún aspecto relacionado con mi actividad investigadora, pero añadiéndole, y aquí entran las querencias, una cierta perspectiva histórica relacionada con el tema. De esta forma, aparte de unas disquisiciones finales sobre biotermodinámica y microcalorimetría, algo de lo que se supone que debo saber, haya añadido algunas pinceladas personales acerca de lo que se ha pensado sobre el calor a lo largo de los tiempos, aunque sea esto algo de lo que, por pertenecer a otros ámbitos del conocimiento, no tenga por qué saber. Parece que debo, por tanto, y así lo

hago, reconocer mi osadía y solicitar de antemano la benevolencia de la ilustre audiencia, aunque, por otra parte, me declare aquí también en total acuerdo con el eminente físico Richard P. Feynman, cuando escribe que son nuestras mentes las que, por pura conveniencia, dividen el universo, la naturaleza y el propio conocimiento en parcelas, de forma que no vendría mal recordar que, en último extremo, la naturaleza no sabe nada de tales etiquetas. Cuánto más en el mundo actual, añadiría yo, tan repleto hoy de información transversal, interdisciplinar y multidisciplinar, en el que la rigidez de esas etiquetas bien pudiera impedirnos vislumbrar ese bosque del Saber siempre por descubrir.

En cualquier caso, y afortunadamente, la inevitable limitación del discurso maquilla los también limitados conocimientos de quien lo suscribe, porque, en cuanto a las dificultades, me remito a las palabras de un gran termodinámico, Maxwell L. McGlashan, cuando escribe: *“La historia de la termodinámica es, de hecho, un tema mucho más difícil que la termodinámica misma, y algo que se entiende mucho menos”*. No puedo, pues, llamarme a engaño y avisados quedan, por tanto, de lo que sigue.

## Calor y fuego

Si en un principio fue el mito, habría que remontarse al titán Prometeo, que robó el fuego a los dioses y en castigo su siempre renovado hígado fue durante mucho tiempo devorado por un águila en alguna montaña perdida del Cáucaso. Pero si la ciencia es también una invención griega (de acuerdo con John Burnet, Alexander Koyré, Thomas S. Kuhn y otros historiadores y filósofos de la ciencia, así como con el propio Erwin Schrödinger), el primer hombre de ciencia sería Tales de Mileto (ca. 625-550 a. C.). Es decir, con él, en un principio, fue el agua. Pronto, sin embargo, su discípulo Anaximandro (ca. 610-547 a. C.), y luego Anaxímenes (ca. 550-480 a. C.), mencionarán el fuego y la primitiva separación de calor y frío. Es con otro presocrático, el oscuro Heráclito de Éfeso (ca. 535-484 a. C.), con quien el fuego adquiere protagonismo como elemento cósmico primordial (*“el mundo es uno y no ha sido creado por ningún dios y ningún hombre, sino que ha sido, es y será un fuego eternamente vivo que arde y se apaga conforme a una ley”*) y en cuyos textos encontramos resonancias de evolución y dialéctica (el todo cambia como una confrontación de contrarios) y de determinismo (el predecible comportamiento del fuego siempre que se conozcan las leyes que lo gobiernan). Parece casi obligado mencionar aquí al materialista Demócrito de Abdera (ca. 460-370 a. C.), el siempre citado como precursor del atomismo, el azar y el vacío, aunque olvidadas sus propuestas por la larga sombra posterior de Aristóteles, y quién en sus diálogos afirma que *“...lo caliente es por conven-*

*ción, lo frío por convención, el color por convención; en verdad, no hay más que átomos y vacío”*.

En los diálogos del *Timeo*, y como heredero de la tradición pitagórica, Platón (427-347 a. C.) propone una cosmogonía según la cual el Demiurgo añade aire y agua al caos primigenio original de fuego y tierra [como vemos, los cuatro elementos clásicos de Empédocles de Agrigento (492-432 a. C.)], creando el mejor de los mundos posibles con materiales tan limitados. Ese mundo ordenado cuyas formas reales no son tan fácilmente accesibles, como ilustra el conocido mito de la caverna. En el esquema platónico, en el que cada elemento está asociado a un poliedro regular o perfecto, el tetraédrico fuego sería el elemento más sencillo y ligero. Será, sin embargo, Aristóteles (384-322 a. C.) el que, entre tantas otras cosas en su magna obra, oficialice esos cuatro elementos clásicos, a los que en su aparato conceptual añade las cualidades elementales (caliente, frío, seco y húmedo) que, aunque no puedan existir por sí solas, informan a la materia para la formación de aquéllos. Así, el fuego, que en su movimiento natural se aleja en línea recta del centro del universo, viene informado por la cualidad dominante de lo caliente y la secundaria de lo seco. A estos cuatro elementos presentes en el mundo sublunar en el que todo cambio es posible, Aristóteles añade un quinto elemento, el éter celeste, formador de astros y orbes, único existente en ese mundo supralunar inmutable y eterno, sometido a leyes perfectas. Quizás convenga recordar aquí la permanencia y trascendencia de la Filosofía Natural, el corpus aristotélico, del que, por cierto, y como ocurre con las obras de todos los ilustres sabios de la Grecia Clásica, no existen originales, sino textos atribui-

dos a estos filósofos y que han llegado hasta nosotros a través de innumerables copias, correcciones, restauraciones, ordenaciones y naturalmente traducciones, con el inevitable coste entrópico que eso conlleva, y perdónese el fácil comentario en el contexto de la temática del discurso. Decía así que, por ejemplo, si las ideas cosmológicas y el geocentrismo aristotélico dominaron la concepción del mundo hasta la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII [con la destacable excepción heliocéntrica de Aristarco de Samos (310-230 a. C.)], la vigencia de los cuatro elementos alcanza hasta la también denominada revolución química de Lavoisier a finales del XVIII, la aceptación del propio éter cósmico (aunque no el conceptualmente aristotélico) se mantiene hasta finales del XIX, y su teorización de la vida, sus concepciones biológicas finalistas, perduran en nuestros días, como fácilmente puede comprobarse ojeando algunos libros o más simplemente leyendo los periódicos. Como decíamos antes, la larga sombra aristotélica.

De los sabios posteriores, cuando Alejandría va transformándose en la nueva Atenas como centro del conocimiento y la ciencia helenística, poco puede comparativamente añadirse en lo que aquí nos concierne, el calor. Así, desde el matemático Euclides (ca. 325-265 a. C.) con sus *Elementos* o el considerado como mayor “físico” de la antigüedad, Arquímedes de Siracusa (ca. 287-212 a. C.), que tanto influiría en Galileo, hasta el gran astrónomo Claudio Ptolomeo (90-170) con su *Almagesto*, poco se añadió al más ligero de los elementos aristotélicos o sus posibles efectos térmicos. Quizás, en otro contexto, podríamos citar aquí a Galeno (130-200), el grecorromano de Pérgamo, príncipe de los médicos según Andrés

Vesalio (1514-1564) y cumbre de la antigua medicina junto a Hipócrates (ca. 460-370 a. C.), que incluía la necesidad de un *calor innato* con sede en el corazón y cuatro grados posibles de calor y otros tantos de frío. De acuerdo con el historiador René Taton, ésta habría sido la primera escala de temperaturas que, aunque obviamente subjetiva, se mantendría hasta bien entrado el siglo XVI.

Durante el largo milenio de la Edad Media el fuego y el calor se utilizaron de forma técnica y operativa en multitud de quehaceres y aplicaciones: la cerámica y el vidrio, la minería y la metalurgia, la medicina y el medicamento, las propias aplicaciones domésticas y las mal llamadas artes de la guerra, desde el fuego griego y la pólvora al desarrollo de la artillería. Claro que algunas de ellas, salvando los obvios grados de desarrollo, se daban ya en la prehistoria, pongamos el paleolítico medio, con la aparición de los guardianes del fuego, personajes de cierto rango por su capacidad para dominar la naturaleza y precedentes claros de chamanes, brujos y magos, de los propios alquimistas y de posteriores iniciados e iluminados varios. No obstante, en la primera mitad de este periodo, o Alta Edad Media, poco o nada se avanzó con respecto al aspecto científico del calor. Algo no sorprendente, recordando que hasta la esfericidad de la tierra, propuesta ya por Pitágoras (ca. 570-497 a. C.), se puso en duda cuando no se rechazó [véanse, por ejemplo, los textos de los apologistas cristianos Tertuliano (155-230) o Lactancio (ca. 245-325), o los del propio Agustín de Hipona (354-430)]. Es ya a partir del siglo X, con el Aristóteles cristianizado, cuando se producen ciertos tímidos avances, por ejemplo, en los campos de la mecánica y la cosmología, aunque no deje nunca de sorprender

el nivel de sutileza y gimnasia intelectual de ilustres escolásticos parisinos, como Nicolás de Oresme (ca. 1320-1382) o Juan Buridán (ca. 1295-1358), para intentar conjugar fe y razón, en una época en la que ésta, con el pensamiento y la propia ciencia, aunque ya no recluidas, sí estaban al menos en libertad condicional.

En esa Baja Edad Media podríamos citar al dominico alemán Alberto Magno (ca. 1200-1280), nuestro “*doctor universalis*”, quien defendió la esfericidad de la tierra y la formación de su corteza por enfriamiento del fuego original. Siguió considerando el fuego como principio y elemento y estudió su efecto en meteorología como consecuencia del calentamiento de la tierra por el gran fuego del sol. Contemporáneo y crítico de Alberto Magno fue el franciscano inglés Roger Bacon (ca. 1219-1292), “*doctor mirabilis*”, defensor del experimentalismo y que por sus ideas fue acusado, condenado y encarcelado durante 14 años en París, lo que no sorprendentemente le apartó de la dialéctica escolástica, llevándole a plantear una ciencia eminentemente experimental. Así, por ejemplo, reivindicaba: “*la ciencia experimental no recibe la verdad de manos de ciencias superiores; ella es la dueña y las restantes sus servidoras*”. Con él nace el espíritu experimental que diferenció durante siglos la ciencia de las islas de la continental. Recuérdese a este respecto que en el materialismo y empirismo aristotélico, por su distinción entre lo natural y lo violento, se proponía la observación como medio para el estudio de la naturaleza, pero no la experimentación que supondría actuar violentamente sobre aquella, lo que dio lugar a una tradición antiexperimentalista de gran influencia posterior. En este periodo, el uso creciente de las máquinas mecánicas

(ruedas, pesos, tubos, palancas, poleas, líquidos, imanes,...) impulsó también la búsqueda del motor inagotable, es decir, el “*perpetuum mobile*”; el interés de los artesanos coincidió aquí con el de los astrónomos en su búsqueda del motor cósmico universal impulsor de orbes, planetas y estrellas.

Si hablamos de fuego y calor, es obligado mencionar en algún lugar la alquimia y a los alquimistas, cuya divisa era “*ignis mutat res*”, el fuego cambia las cosas, haciendo que se transmuten, reaccionen, se disuelvan, se dilaten, se fundan, se evaporen o ardan con desprendimiento de llamas y calor. El empleo del fuego como elemento purificador tiene casi tantos oscuros y remotos orígenes como queramos encontrar. Dejando aparte la alquimia oriental, tan vinculada al taoísmo en el caso de China (siglo VI a. C.), y siguiendo con el evidente eurocentrismo del discurso, la alquimia europea parece tener sus orígenes en la Alejandría del siglo I de manos de un personaje de leyenda, Hermes Trimegisto. Éste sería, de acuerdo con la tradición hermética, ocultista y esotérica, uno de los receptores elegidos de la *prisca theologia*, el Saber revelado a contadísimos humanos entre los que se incluirían Adán, Noé, Moisés, Pitágoras, Platón, Giordano Bruno y algún otro afortunado. Uno de los fines de la alquimia consistió, vía la piedra filosofal, en la transmutación en oro de los metales inferiores, como el plomo o el mercurio, y en la preparación de la pánacea universal o elixir de la salud y eterna juventud. Todo esto unido a un concomitante perfeccionamiento personal y evolución temporal que llevara al alquimista al éxtasis taoísta en China o a la salvación del alma en la alquimia europea cristianizada. Dado que el fuego, con

un complejo significado material y espiritual, era el gran agente transformador en el laboratorio del alquimista, éste devino en un experto en las formas de ignición, los diversos grados de calentamiento y el perfeccionamiento del horno alquimista, el atamor, lugar común en la historia de esta actividad. Conocimientos todos ellos de gran importancia práctica, a su vez, para multitud de gremios de artesanos. Ilustres alquimistas fueron, entre otros muchos, los citados Alberto Magno y Roger Bacon, el persa Avicena (ca. 980-1037), el cordobés Maimónides (1135-1204) o el llamado último gran alquimista, el médico suizo Paracelso (1493-1541), defensor de la experimentación y crítico acervo de Galeno y Avicena, quien añadió tres nuevos principios, la sal, el azufre y el mercurio, a los cuatro elementos peripatéticos.

La ciencia, o Filosofía Natural si se prefiere, mantiene en el comienzo de la Edad Moderna, es decir, en el Renacimiento, una línea continuista, con claras influencias neoplatónicas y mágicas en muchos ámbitos. Como conocido arquetipo de humanista, Leonardo da Vinci (1452-1519), el ingeniero italiano y artista universal, propone en sus escritos sobre la llama que cuando ésta se agita lo hace por el aire que acude para llenar el vacío originado, negando así la posibilidad de su existencia de acuerdo con el *horror vacui* aristotélico. Este periodo solapa también con los comienzos de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, cuyos protagonistas, más interesados en la revolución astronómica, cosmológica y física, prestarán menor atención conceptual al fuego y al calor. Elementos centrales fueron aquí, por una parte, la revolución astronómica de Nicolás Copérnico (1473-1543), que con su heliocentrismo puso fin a más

de mil años de astronomía ptolemaica, hazaña intelectual que le supuso, aunque él no lo viviera, la condena en 1616 de su "*De revolutionibus...*" por falso y contrario a las Escrituras, y, por otra, Galileo Galilei (1564-1642), que con su nueva física reemplaza los movimientos y lugares naturales y las causas últimas aristotélicas y quien, como ilustre defensor del heliocentrismo, fue obligado a retractarse, y pese a ello condenado, en uno de los más famosos juicios inquisitoriales de la Historia; juicio benigno, no obstante, si lo comparamos con el del fuego purificador impuesto a Giordano Bruno (1548-1600). Se inició así lo que sería una nueva concepción de la naturaleza regida por leyes matemáticas, la naturaleza estructurada matemáticamente, lo que supuso un nuevo método y una nueva actitud epistemológica para abordar su estudio. Junto a ellos, Tycho Brahe (1546-1601), el afortunado observador de novae y cometas, último reducto del geocentrismo; Johannes Kepler (1571-1630), el neoplatónico que introdujo la fuerza en el cosmos, soñador de elipses divinas aunque con la pesadilla de tener que acabar con la perfección del movimiento circular y uniforme; René Descartes (1596-1650), el hombre del método, vórtices y corpúsculos, del *cogito ergo sum* y padre del mecanicismo; naturalmente, en las islas, Isaac Newton (1643-1727), creador y unificador de la moderna física de cielos y tierra, el último de los sumerios en palabras del economista John M. Keynes (1883-1946), que si veía más lejos era por ir a hombros de gigantes y que como buen baconiano "no hacía hipótesis"; y, nuevamente en el continente, Gottfried M. von Leibniz (1646-1716), cuyas disputas con Newton acerca de la primacía del desarrollo infinitesimal aún resuenan.

Mientras el mecanicismo de la mano de Descartes, Christiaan Huygens (1629-1695) o Leibniz dominaba la ciencia en el continente, en las islas la tradición empírica iniciada por Roger Bacon fue continuada, entre otros, por el apóstol de la filosofía experimental, Francis Bacon (1561-1626), de quien en su *Novum Organum* merece la pena citar que “*la ciencia, más que un lujo intelectual de escogidos, debería trabajar en beneficio de la humanidad*”, y en la que, volviendo a nuestro tema del calor, atribuía ya que la esencia o proceso latente del calor se debía al movimiento de las partículas constituyentes de la naturaleza. Con el inductivismo de Bacon, el deductivismo de Descartes y la matematización de Galileo se sientan las bases de lo que será el método científico, de visión experimentalista y fenomenológica en las islas y más racional y teórica en el continente, inicio de una tradición que distingue al científico experimentalista del teórico<sup>1</sup>. Llega aquí también el tiempo en el que el fuego pasa a un segundo lugar y surgen nuevas concepciones del calor y de su posible medida, un proceso complejo lleno de vicisitudes y relacionado con actividades en diversos ámbitos, como la neumática, la medicina, la metalurgia, la ingeniería, la química y la elaboración de teorías sobre la propia constitución de la materia.

---

<sup>1</sup> Reproduzco aquí lo que el astrónomo estadounidense Harlow Shapley (1885-1972) escribía irónicamente acerca de teorías y experimentos: “*Una teoría es clara, concluyente y positiva, pero algo en lo que nadie cree salvo quien la originó. Los hallazgos experimentales, por otra parte, son confusos e inexactos, aunque todo el mundo cree en ellos, salvo quien los obtuvo.*”

## Calor y temperatura

A finales del siglo XVII las ciencias físicas se dividían en dos grupos diferenciados. Por una parte, la mecánica, óptica o astronomía pertenecían al grupo clásico conocido como matemáticas mixtas, para las que había ya una larga tradición de observaciones cuantitativas, con magnitudes mensurables definidas e instrumentos razonablemente precisos. El otro grupo, más moderno, estaba representado por las llamadas ciencias bacciananas de corte más experimentalista y utilitarista, como el estudio del calor, la electricidad, el magnetismo y la propia química. Aquí eran contados los conceptos teóricos, las observaciones eran fundamentalmente cualitativas y casi se investigaba más sobre el desarrollo de los propios instrumentos que sobre los fenómenos.

En este sentido, Humphry Davy (1778-1829) decía que nada favorece tanto el avance del conocimiento como la aplicación de un nuevo instrumento. En un contexto más amplio y conceptual, el papel de la medida en el desarrollo científico es algo más complejo, cuando no polémico. Así, de acuerdo con Kuhn, la mayor parte de los datos no sirven para confirmar teorías, pues simplemente definen intervalos de concordancia razonable entre aquéllos y éstas, aunque a veces nuevos instrumentos permitan la definición de nuevas áreas sobre las que establecer nuevas concordancias entre datos y teorías. Podríamos tomar así como cierta la afirmación de Davy en el caso del termómetro para el desarrollo cuantitativo de la ciencia del calor y el posterior invento del calorímetro, aún sin conocerse todavía con certeza la naturaleza de lo

que se estaba midiendo, situación, por otra parte, no sorprendente en ciencia. Sin entrar en detalles, quizás la traducción más bien tardía al latín en 1575 de la obra de Filón de Bizancio (ca. 280-220 a. C.) y de Herón de Alejandría (ca. 10-70), con sus termoscopios elementales, pudo iluminar a Galileo para la construcción en 1592 de su termoscopio de aire con escala sin puntos fijos para medir los llamados “grados de calor”. Ulteriores desarrollos incluyeron los termómetros de expansión de líquidos, tales como agua, alcohol o aceite, añadiéndoseles posteriormente uno y, luego, dos puntos fijos, como el propuesto en 1717 en Inglaterra por Daniel G. Fahrenheit (1686-1736) utilizando mercurio, el diseñado por René A. F. de Réaumur (1683-1757) en Francia en 1731, o la escala centígrada debida al sueco Anders Celsius (1701-1744) en 1742, denominada desde 1948 con el nombre oficial de escala de Celsius y ampliamente utilizada en la actualidad.

El termómetro abrió a su vez la posibilidad para la medida del calor, cuya cronología estuvo unida, entre otras actividades, al desarrollo de la química como ciencia. En cuanto a su naturaleza, surgieron fundamentalmente dos teorías para el fuego y, por ende, el calor: la tradición química que lo consideraba como algo material, una sustancia sutil formada por infinidad de ligeras partículas capaces de penetrar la materia ordinaria y manifestar así su actividad, y la interpretación basada en causas mecánicas como la fricción, es decir, la tradición de los físicos mecanicistas. Robert Boyle (1627-1691), “el más escéptico de los químicos” y más conocido por su ley de los gases, optó por una teoría mixta, aunque más inclinado a las ideas sustancialistas que explicaban el aumento

de peso de los metales en la calcinación, mientras que Newton se decantaba más por un movimiento vibratorio de las partículas de los cuerpos.

El desarrollo de la química estuvo centrado en una reacción genérica, la combustión, unido al análisis de los gases que surgían y se consumían en dicho proceso. Parece obligado mencionar aquí la teoría del *flogisto*, criticada en tantos textos por errónea, pero que, sin embargo, resultó útil y versátil hasta su abandono con la química ilustrada de Lavoisier. Como estamos trazando pinceladas históricas de un tema científico, no está de más recordar aquí, como a veces señalo en clase a mis alumnos, que difícilmente entenderemos algo del pasado si nos empeñamos en observarlo desde nuestro presente, nuestras convenciones y prejuicios; deberíamos verlo más bien “desde atrás hacia delante”, desde su historia previa hasta su contexto temporal que es en donde cobra verdadero sentido. Mal comprenderíamos así a Galileo si nos empeñáramos en ver cuánto anticipó de Newton, o lo que ambos anticiparon de la física actual. Es decir, una dosis mínima de empatía, que no necesariamente simpatía, con acontecimientos y personajes

La teoría del flogisto fue propuesta por el químico y médico alemán George E. Stahl (1660-1734) para explicar la corrosión y la combustión, aunque tomó el término de la *imflammable terra pinguis* del también alemán Joachim Becher (1635-1682), un alquimista seguidor de Paracelso. Se pensaba que el flogisto estaba en los cuerpos combustibles y era responsable de su combustión, liberándose entonces y uniéndose al aire, es decir, podía pasar de un cuerpo a otro como una sustancia invisible, aunque no era aislable en forma pura y tenía

además peso negativo para que los experimentos cuadrasen con la teoría. Así, un óxido metálico sería un cuerpo simple, mientras que el metal sería cal más flogisto, de forma que en la calcinación habría pérdida de flogisto, con una explicación análoga para la combustión. Debe recordarse que en la tradición química, el papel del aire no se tenía en cuenta en las reacciones químicas y cuando resultó evidente que sí lo tenía en la combustión, calcinación y en la propia respiración, su efecto no se atribuyó al aire sino al propio flogisto liberado o absorbido por dicho aire. Incluso pasada la mitad del siglo XVIII, cuando ya se sabía controlar y analizar los productos gaseosos de las reacciones químicas, los grandes químicos contemporáneos de Lavoisier utilizaron todavía la teoría del flogisto. Por ejemplo, Henry Cavendish (1731-1810) aisló el “aire inflamable” (hidrógeno) y comprobó que su combustión en aire producía agua, identificando al gas con el propio flogisto. Como buen inglés seguidor de Newton, rechazó la naturaleza material del calor, entendiéndolo como debido al movimiento interno de las partículas corporales. Dentro de la corriente neumática inglesa Joseph Priestley (1733-1804) aisló “nuevos aires”, publicando en 1774 la obtención del “aire desflogisticado” u oxígeno, gas que aparentemente fue pionero en respirar. No obstante, parece ser que fue el sueco Carl W. Scheele (1742-1786) quien primero descubrió el oxígeno, al que llamó “aire de fuego”, aunque al publicar el hecho en 1777 dio la prioridad del descubrimiento a su colega inglés. En sus escritos el calor aparece como resultado de la combinación de este aire de fuego con flogisto. El éxito y aceptación de la hipótesis del flogisto estuvo en que no entraba en conflicto con ninguna de las grandes meta-

físicas de la materia y permitía explicar numerosas transformaciones; era, en esencia, un práctico cajón de sastre al que se le podían achacar numerosos fenómenos.

Mención aparte merece aquí el fundador de la escuela neumática, el escocés Joseph Black (1728-1799), el primero que contribuyó a distinguir entre los grados de calor o temperatura y la cantidad de calor, mostrando que esta última era una magnitud física mensurable. Estudió y midió con métodos ingeniosos los calores latentes que se liberaban o absorbían en los cambios de estado, mientras que la temperatura permanecía constante, por lo que la existencia aquí del termómetro fue crucial. También introdujo otro importante concepto: el de la diferente “capacidad para el calor” de las distintas sustancias, magnitud que resultaba independiente de su densidad y era característica de cada material, con lo que adelantaba ya los conceptos de capacidad calorífica y calor específico. Conjuntamente con su discípulo William Irving (1743-1787), Black planteó que todo cuerpo contenía una cantidad absoluta de calor determinada por su capacidad calorífica y su temperatura, convirtiendo así al calor en función de estado como diríamos hoy. Por otra parte, Black no se decantó públicamente por una u otra doctrina sobre la naturaleza del calor, pues pensaba que ambas, la mecánica y la sustancialista eran insuficientes, aunque privadamente se inclinara por esta última, la materia del calor, o *calórico* como luego la denominaría Lavoisier: un fluido elástico e imponderable, cuyas partículas se repelen entre sí aunque son atraídas por las partículas de materia, y que no es creable ni destructible, lo que no sería sino un principio de conservación del citado calórico. En este contexto, lo que el termómetro medía era la densidad

de tal fluido y no la cantidad del mismo; o bien, desde un punto de vista mecánico, la temperatura sería una medida de la intensidad de la causa cinética del calor.

Pero volvamos a Black, quien nunca publicó sus descubrimientos, aunque afortunadamente éstos se reunieron y publicaron tras su muerte a partir de sus propias notas y los apuntes de clase de sus afortunados estudiantes, pues Black, profesor en Glasgow y Edimburgo, enseñaba no sólo lo que ya sabía, sino lo que descubría día a día en sus investigaciones. En otro campo, pero en la misma tierra, Escocia, James Watt (1736-1819), quien con toda seguridad entró en contacto con Black en Glasgow, patentó en 1769 lo que sería la máquina térmica definitiva. A partir de lo que se denominaba “máquina atmosférica” de Thomas Newcomen (1663-1729), un dispositivo que empleaba vapor de agua para achicar inundaciones especialmente en las galerías de las minas, mejoró su funcionamiento y rendimiento especialmente al proponer el empleo de dos cilindros independientes, uno siempre caliente y otro siempre frío, es decir, añadió una fuente fría al sistema originando así la máquina cíclica. El efecto de la divulgación y comercialización de la máquina de vapor de Watt en la revolución industrial es bien conocido.

Siguiendo la línea argumental, convendría hablar ahora del ilustrado Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), principal protagonista de la denominada revolución química. Efectivamente, si aceptamos con Kuhn que la “ciencia revolucionaria” se convierte en “ciencia normal” cuando llega a los libros de texto para la formación de nuevos estudiantes, no cabe duda de que el *Tratado elemental de química*, publicado por Lavoisier en 1789,

un año a su vez particularmente revolucionario, cumplió a la perfección los requisitos de texto normalizador de una revolución. Con Lavoisier acaba la vigencia de la teoría del flogisto tras su demostración de que era el oxígeno el responsable de calcinaciones, combustiones, respiración y otros procesos, se abandonan definitivamente los cuatro elementos clásicos con la propuesta de una definición operativa de elemento, aunque incluyendo al citado calórico como tal, se normaliza el lenguaje y la nomenclatura química, y se generaliza la ley de conservación de la masa. En 1783, Lavoisier presenta conjuntamente con Pierre S. de Laplace (1749-1827) su *Memoria sobre el calor*, en la que sin entrar en la naturaleza del calor (de hecho, Laplace no era partidario del calórico) y tras una crítica al método de las mezclas, describen lo que sería el primer calorímetro, que los propios autores utilizaron para determinar calores específicos y calores asociados a procesos tales como la combustión o la respiración. Nació así la calorimetría, que ha posibilitado la medida del calor de tantas reacciones y del calor específico de tantas sustancias, todo ello de gran importancia en el desarrollo de la nueva ciencia, la química, independientemente de que el concepto de calórico se mantuviera hasta la segunda mitad del siglo XIX. Posteriores calorimetrías fueron, por ejemplo, Germain H. Hess (1802-1850) en la Universidad de San Petersburgo, que estableció la ley que lleva su nombre, o Pierre E. M. Berthelot (1827-1909) en La Sorbona, que propuso un calorímetro estándar y la bomba calorimétrica para medidas de calores de combustión.

Un conocido experimento que puso en dificultades la naturaleza material del calórico fue el de Benjamín

Thompson (1753-1814), conde de Rumford, quien, después de verificar su carácter imponderable, observó en 1798, durante su etapa como Director del Arsenal Militar de Munich, la gran cantidad de calor que se desprendía al perforar un cañón y que parecía inagotable en tanto el taladro siguiera funcionando. Aunque fueron experimentos cualitativos, concluyó que el calor no podía ser una sustancia sino que debía entenderse como “movimiento”. En la misma línea y un año después, el ya citado Humphry Davy expuso, también ante la Real Sociedad de Londres, sus resultados sobre la fusión del hielo por rozamiento realizado a temperatura constante, lo que le hizo concluir que “*el calor se debe a un movimiento peculiar de las partículas de los cuerpos*”. En este sentido, el gran científico y humanista ruso Mijail Lomonosov (1711-1765) rechazaba ya en 1774 la teoría del calórico, atribuyendo también el calor al movimiento de partículas microscópicas. La idea del calor radiante devino a su vez en argumento “anti-calórico”, dadas las numerosas experiencias realizadas para entender la analogía entre luz y calor radiante que apuntaban a una identificación entre la naturaleza de ambos fenómenos. No obstante, la edición de 1856 de la *Enciclopedia Británica* todavía mostraba su preferencia por el calórico frente a una concepción mecánica del calor.

Es interesante mencionar aquí también el enfoque teórico de Joseph Fourier (1768-1830) en su *Teoría analítica del calor* de 1822, en donde describe la transmisión del calor por conducción en términos de ecuaciones diferenciales independientes de cualesquiera hipótesis sobre la naturaleza del mismo. Fourier, aunque destacado representante de la física matemática francesa, como La-

place, Siméon D. Poisson (1781-1840), Joseph L. Gay-Lussac (1778-1850) y otros, rechazaba así los modelos microscópicos buscando describir matemática y operativamente la fenomenología del proceso. Más allá de eso, las ecuaciones de Fourier ponen un límite a la posible descripción de la naturaleza en términos estrictos de mecánica newtoniana, suponiendo la primera descripción matemática de un proceso irreversible, es decir, en donde se produce el flujo de calor entre dos cuerpos siempre desde el de mayor al de menor temperatura.

## Calor y energía

Es en la segunda mitad del siglo XIX cuando se desarrolla plenamente la interpretación dinámica del calor, englobando su concepto en otro más amplio y abstracto: la energía y el principio de conservación de la misma. Naturalmente la idea de tal conservación está asociada a la interconvertibilidad entre sus varias manifestaciones, por lo que la formulación de dicho principio exige el abandono de concepciones sustancialistas. De hecho, comenzada la segunda mitad del siglo XIX diversos factores confluyeron hacia esta idea de conservación, lo que explica que este principio fuese establecido de forma más o menos independiente y simultánea por diversos investigadores.

Puede decirse que hasta entrado el siglo XIX las innovaciones técnicas introducidas en la ingeniería y en la industria no dependieron tanto de la ciencia del momento al persistir la distinción entre técnicos y filósofos, ingenieros y científicos. Así, el desarrollo de la máquina de vapor, que supuso el inicio de la era industrial, fue realizado por técnicos, al margen de los científicos contemporáneos. Algo empieza a cambiar, sin embargo, con la destacada contribución del ingeniero francés Sadi Carnot (1796-1832), cuya labor científica coincidió con la expansión de la máquina de vapor, construida sobre reglas empíricas y cuyos principios básicos quiso estudiar. Publicó así en 1824 un opúsculo de 118 páginas, *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas propias para desarrollar su potencia*, en el que describió lo que sería una máquina cíclica ideal, co-

mo límite de las reales, sin mecanismos ni sustancias concretas, a la que llamó reversible por su capacidad para invertir el ciclo. En la máquina ideal de Carnot el foco caliente representaba la caldera; el foco frío, el condensador introducido por Watt, y la potencia motriz producida era independiente de la naturaleza de la sustancia de trabajo, dependiendo sólo de las temperaturas entre las que se realizaba el flujo de calor. Aunque Carnot aceptaba el calórico, en sus notas privadas se decantaba más por un movimiento molecular que por el fluido sutil de Lavoisier. Escribía además: “*se puede aceptar como tesis general que la potencia motriz es una cantidad invariable en la naturaleza que jamás es producida ni destruida*”, adelantando el principio de conservación que se establecería posteriormente. La obra de Carnot pasó inadvertida en su momento, pues su máquina ideal no resultó muy atractiva para sus colegas ingenieros que buscaban resolver problemas más prácticos e inmediatos, aunque en 1834 el también ingeniero francés Émile Clapeyron (1799-1864) retomó sus ideas, las formuló analíticamente y plasmó su ciclo en el conocido diagrama de coordenadas presión-volumen.

La década de los 40 fue crucial para el establecimiento de lo que serían los principios termodinámicos. Así, el médico alemán Julius R. Mayer (1814-1873) propuso en 1842 la interconvertibilidad entre calor y trabajo, adelantando lo que sería el equivalente mecánico del calor. Éste sería establecido en 1845 por el físico británico James P. Joule (1818-1889) con su conocido experimento de las paletas que calentaban el agua por fricción; previamente, en 1843, había obtenido también la conocida expresión para el calor producido en un conductor eléc-

trico. El principio de conservación de la energía fue establecido en términos matemáticos en 1847 por el médico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894), que luego generalizó a otros campos incluyendo el fisiológico, en donde, desde su posición reduccionista, rechazó la existencia de fuerzas vitales, igualando el calor y el trabajo generados por el organismo a fuerzas de tensión química procedentes de la nutrición. Podríamos cerrar este punto con las palabras del físico y filósofo positivista austriaco Ernst Mach (1839-1916): “*Mayer es el filósofo de la ciencia del calor y de la energía, Joule fundó su desarrollo experimental y Helmholtz estableció la teoría desde un punto de vista físico*”. El estudio del calor pasaba así a formar parte de la física matemática, dando lugar al nacimiento de una nueva “ciencia del fuego”, la Termodinámica.

De forma prácticamente simultánea, se propuso lo que sería el segundo principio de la termodinámica. De hecho, esta segunda ley se estaba ya desarrollando cuando la primera no se comprendía aún completamente. Uno de los protagonistas fue aquí William Thompson (1824-1907), más conocido por lord Kelvin, quien en 1849 publicó un artículo sobre Carnot expresando sus dudas acerca de la cantidad de trabajo producida según la eficiencia de la máquina y el destino final del trabajo no producido (artículo en el que por primera vez apareció la palabra *termodinámica*), todo ello todavía bajo la concepción del calórico; así, escribía: “*el calor es una sustancia invariable en cantidad, no convertible en cualquier otro elemento e incapaz de ser generada por cualquier medio físico*”. Estas dudas fueron disipadas al año siguiente por un segundo protagonista, el físico alemán

Rudolf Clausius (1822-1888) quien, basándose en la concepción dinámica del calor, expuso que en una máquina térmica se genera trabajo gracias a una transferencia de calor entre los dos focos, pero que el trabajo producido equivale a la transformación de una parte del calor transferido, de forma que el principio de Carnot se mantendría, aunque desligado ahora de una conservación del calor. En el caso ideal de Carnot, la máxima producción de trabajo dependería únicamente de las temperaturas de los focos y no de la sustancia en cuestión, lo que se considera una primera formulación del segundo principio. En 1851 Kelvin abandonó la defensa del calórico y publicó una serie de trabajos en los que discutía, por ejemplo, la posibilidad del llamado “móvil perpetuo de segunda especie”, las transformaciones irreversibles en las que, aunque se conserva la energía, existe una disipación de la misma y el cómo esta inevitable degradación implicaba lo que posteriormente se denominaría “la muerte térmica del universo”. Previamente, en 1848, Kelvin había establecido una escala “absoluta” de temperaturas basándose en el ciclo de Carnot, escala que, al ser corregida en trabajos posteriores a sugerencia de Joule, originó la que conocemos hoy como escala Kelvin de temperaturas.

Por su parte, Clausius publicó también una serie de artículos en los que exploraba formas alternativas y complementarias a este segundo principio y posibles consecuencias del mismo. Así, en 1854, en un abordaje matemático de este principio y utilizando nuevamente el ciclo de Carnot, mostró cómo en un ciclo de transformaciones reversibles la integral de  $dQ/T$  era cero, mientras que en el caso de que fueran irreversibles (caso de una

máquina de vapor real) esta integral sería mayor que cero. Extendió el caso a otros procesos cíclicos, concluyendo que el segundo principio podría enunciarse diciendo que en cualquier proceso, cualesquiera que sean sus etapas, la integral anterior ha de ser mayor o igual a cero. Tras otros artículos, publicó en 1865 que para un proceso reversible  $dQ/T$  es una diferencial exacta, es decir, integrable de lo que sería, por tanto, una función del estado del sistema. A esta función la denominó entropía,  $S$ , y siguiendo a Kelvin en su extensión al universo enunció ambos principios como: “la energía del universo es constante”, y “la entropía del universo tiende a un máximo”, los conocidos como principios de conservación y de evolución. Podríamos añadir en este punto, como una de las contribuciones aclaratorias al tema del calor en este siglo XIX, que el término calor no designa ya una cosa, sino que se refiere a un método o mecanismo de transferencia de energía en virtud de un gradiente de temperaturas. En definitiva, es a partir de las aportaciones de Clausius y Kelvin cuando se termina con la idea del calórico.

Tras estos principios fundamentales, y pretendiendo aquí que aunque obviamente no estén todos los que son, sean al menos todos los que están, puede citarse el que fue el primer texto de termodinámica, la *Teoría del calor* (1871), de James C. Maxwell (1831-1879), en el que, entre otras cosas, aparecen las relaciones entre variables termodinámicas que llevan su nombre. Pero, quizás, el mayor innovador y compendiador de la termodinámica fue el estadounidense Josiah W. Gibbs (1839-1903), profesor durante toda su vida en la Universidad de Yale. En tres largos artículos publicados entre 1873 y 1878 desarrolló los principios, estableció un nuevo mé-

todo de trabajo, introdujo la masa como variable termodinámica definiendo el potencial químico, propuso el espacio de fases y la ley de las fases que lleva su nombre, y desarrolló el estudio del equilibrio en sistemas heterogéneos. Gibbs fue el primero en ampliar la tradición de sus ilustres predecesores, fundamentalmente interesados en el estudio de la producción de trabajo en máquinas térmicas, y puede considerársele como referencia obligada en termodinámica química. No obstante, su obra pasó inadvertida durante diez años debido a su publicación en la oscura revista de la Academia de Connecticut y al elevado nivel matemático de sus escritos para el destinatario natural, los químicos de la época.

Desde que Lavoisier aclarara la existencia de muchos aires en el aire, es decir, los distintos gases, muchos investigadores, como el citado Davy y su brillante discípulo Michael Faraday (1791-1867), perfeccionaron los métodos para su licuefacción, lo que suponía alcanzar muy bajas temperaturas. Aunque obviando aquí nombres y logros notables, citemos al menos a James Dewar (1842-1923), a quien debemos el vaso que lleva su nombre, o más popularmente “termo”, que consiguió licuar hidrógeno en 1898 y solidificarlo en 1899. De hecho, tras la propuesta de la escala Kelvin se originó una carrera en el desarrollo tecnológico en busca del cero absoluto, aunque en 1906 Walter H. Nernst (1864-1941) basándose en consideraciones puramente termodinámicas proponía el llamado “teorema del calor”, según el cuál no hay cambio de entropía en los procesos realizados en el entorno del cero absoluto, cuya validez confió a la experimentación y del que como corolario estableció la inaccesibilidad del cero absoluto. En 1911 Max Plank, basán-

dose en consideraciones estadísticas de Ludwig Boltzmann (1844-1906), enunció en su libro *Termodinámica* el teorema del calor como: “*en el cero absoluto de temperatura la entropía de todo cuerpo homogéneo tiene un valor cero*”, afirmación que llevó al rango de tercer principio de la termodinámica y que abrió la puerta a la obtención de entropías absolutas. Para dicho cálculo se desarrollaron nuevas y precisas técnicas calorimétricas que permitieron la medida de calores específicos a muy bajas temperaturas

A estas alturas, y hablando del calor, nos encontramos inevitablemente hablando de termodinámica fenomenológica, cuyo interés se centra en las propiedades observables de los sistemas macroscópicos, lo cuál tiene ciertamente sus ventajas. Así, cuando el abordaje mecano-cuántico de átomos y moléculas desplazó al clásico, las leyes de la termodinámica fenomenológica permanecieron obviamente inalteradas. No obstante, resulta naturalmente más que deseable que las teorías fenomenológicas se interpreten y complementen con las corpusculares que, dado el elevado número de partículas en un sistema macroscópico, deberán ser de naturaleza estadística, formando así ese puente metodológico entre la mecánica de átomos y moléculas y el citado abordaje fenomenológico. Por eso, mencionemos, al menos, que si el atomismo se introdujo en la química de la mano de John Dalton (1766-1844) en 1808, fueron luego los citados Clausius, Maxwell y Boltzmann, por citar sólo los principales hitos, quienes desarrollaron la teoría cinética de los gases. A su vez, la termodinámica estadística clásica se debe, por una parte, a los trabajos de Maxwell, quien ya en 1867 sugería que la validez del segundo principio era sólo

estadística, introduciendo su célebre diablillo que adelantaba ya conceptos como azar, imprecisión o irreversibilidad, y, por otra parte, Boltzmann, quien estudiando en 1877 las propiedades de los sistemas en equilibrio introdujo el concepto de probabilidad termodinámica, proponiendo una de las ecuaciones más representativas del siglo XIX:  $S = k \ln W$ . Debe también incluirse aquí la aportación de Gibbs, quien conociendo los trabajos de Maxwell y Boltzmann, publicó en 1902 sus *Principios elementales de mecánica estadística*, donde sentó las bases rigurosas para el estudio estadístico de sistemas materiales, con un formalismo original basado en la definición del colectivo de sistemas e insistiendo en el carácter probabilístico del segundo principio.

La estadística clásica de Maxwell-Boltzmann fue ampliada en 1924 al estudio de los fotones, entendidos como partículas indiscernibles, por Sivas C. Bose (1897-1984) y extendida a su vez por Albert Einstein (1879-1955) a las partículas de espín entero, sin restricciones en la ocupación de estados cuánticos, lo que dio lugar a la primera estadística cuántica o de Bose-Einstein. Para las partículas con espín semientero, como los electrones, y sujetas a la citada restricción, Enrico Fermi (1901-1954) y Paul Dirac (1902-1984), de forma casi simultánea, desarrollaron en 1926 la denominada estadística cuántica de Fermi-Dirac.

Finalmente, la conocida como termodinámica de procesos irreversibles fue desarrollada a mediados del siglo XX, fundamentalmente por el químico físico noruego Lars Onsager (1903-1976) en la Universidad de Yale y por la denominada escuela de Bruselas encabezada

da por el químico y físico ruso Ilya Prigogine (1917-2003).

## Midiendo calores muy pequeños de muy grandes moléculas

Como hemos visto, a finales del siglo XVIII, y al mismo tiempo que la química, surge la calorimetría de las manos de Lavoisier y de Laplace. La necesidad de conocer el calor involucrado en fenómenos de diverso tipo originó durante el siglo XIX y principios del XX el desarrollo de una amplia serie de técnicas calorimétricas. No obstante, es ya en la segunda mitad del siglo XX cuando los avances en nuevos materiales, la electrónica y la informática supusieron el perfeccionamiento de los métodos existentes y el desarrollo de otros más especializados, precisos y novedosos. Sin entrar en clasificaciones académicas o comerciales y más bien desde una perspectiva simple y funcional (de hecho, muy simple, considerando que hay descritos más de cien tipos diferentes de calorímetros en la bibliografía), los calorímetros podrían agruparse en: i) aquéllos que miden isotérmicamente el calor de procesos varios, como serían las reacciones químicas en un sentido amplio (incluyéndose aquí las de disolución, dilución, adsorción, neutralización, formación, descomposición, etc); ii) los que miden la capacidad calorífica de una cierta muestra, bien puntualmente a una temperatura dada o de forma continua siguiendo un barrido de temperaturas; y, finalmente, iii) los utilizados para la medida de calores metabólicos, desde cultivos de microorganismos hasta mamíferos.

Si estamos interesados en la evaluación de pequeños calores de grandes moléculas nos estamos refiriendo, por una parte, a instrumentos capaces de determi-

nar cantidades de calor del orden del microjulio ( $\mu\text{J}$ ), es decir, los llamados microcalorímetros, y, por otra parte, a macromoléculas, fundamentalmente las biológicas como las proteínas y los ácidos nucleicos. Ahora bien, ¿por qué son tan pequeños los calores a determinar cuando se trata de moléculas tan grandes? La respuesta es muy sencilla: en este caso, aparte de trabajar con disoluciones altamente puras y homogéneas, se utilizan células de medida de pequeño volumen, pongamos 1 mL, tanto por razones de disponibilidad de la propia muestra como de la bondad de la medida térmica. Consecuentemente, como la concentración debe ser razonablemente baja, pongamos 1 mg/mL, tanto por razones de solubilidad como para evitar indeseables interacciones intermoleculares, la concentración de una muestra de alto peso molecular, pongamos 100.000 Da, sería de  $10^{-5}$  M, mientras que la cantidad de muestra en célula sería de  $10^{-8}$  moles. Por tanto, si el calor a determinar, por ejemplo, para la interacción de una macromolécula con un ligando, es del orden de 20 kJ/mol, la magnitud térmica del proceso global en célula sería de 0,2 mJ con el consiguiente requerimiento de que la señal a detectar durante la valoración esté en el nivel de los citados  $\mu\text{J}$ .

Prácticamente en cualquier proceso en un sistema no adiabático se desprende o absorbe calor. Aquí radica una ventaja amable de la técnica, pero también una dificultad importante especialmente en el caso de la microcalorimetría. Así, es reconfortante ver siempre una señal experimental neta en la pantalla del monitor asociado a un calorímetro, aunque el problema surja a la hora de asignar, analizar e interpretar esa señal. De ahí la necesidad de pureza y homogeneidad en las muestras y del

buen hacer experimental. De hecho, de las técnicas instrumentales actuales en biofísica molecular, pocas son, en principio, conceptualmente tan sencillas como la calorimetría y, sin embargo, cuántos buenos microcalorímetros, comprados alegremente en tiempos de bonanza, duermen el sueño de los justos en rincones y sótanos de tantos laboratorios. Como en otros métodos y técnicas, aquí vale especialmente eso de dispóngase primero del buen profesional y consígase luego el instrumento. Para luego queda, naturalmente, el análisis de datos, el uso y propuesta de modelos, el desarrollo termodinámico y matemático, la complementariedad del abordaje teórico, el conocimiento molecular que se tenga *a priori* del sistema y, por supuesto, pensar y razonar.

La importancia de la calorimetría en el estudio de las biomoléculas reside en que a poco de acuñarse hace unos cuarenta años la paradigmática correlación estructura-función para dichas especies, ésta quedó insuficiente. La razón estriba en que si bien el conocimiento estructural resulta necesario para racionalizar la función de las biomoléculas, difícilmente puede conseguirse esto sin disponer de su análisis termodinámico, es decir, su caracterización energética, a la que bien podríamos añadir además la descripción de las propiedades dinámicas de esas estructuras. A este complejo y variado abordaje, a la hora de la investigación en el campo, habría que añadir la necesidad de disponer hoy día de las modernas técnicas de biología molecular para la obtención de las muestras a investigar, incluyendo aquellas especies mutantes y químicas que nuestra capacidad para el diseño molecular nos permita establecer. Es decir, bienvenidos a lo multidisciplinar.

Dos son las técnicas microcalorimétricas reseñables aquí en función del tipo de proceso a investigar. La isotérmica de reacción, hoy día en su vertiente instrumental de titulación o valoración (ITC), adecuada para el estudio de la unión de macromoléculas a ligandos varios, desde protones o pequeñas moléculas hasta otras macromoléculas. De hecho, la inmensa mayoría de las proteínas desarrollan su función *in vivo* estableciendo interacciones con multitud de diferentes efectores. Al trabajar a presión constante el observable es la entalpía y el análisis de datos permite la obtención de la constante aparente de equilibrio,  $K$  (en un amplio intervalo entre  $10^{-2}$  y  $10^{12}$   $M^{-1}$ ), la estequiometría y la propia entalpía,  $\Delta H^\circ$ , de la reacción. La ITC es la única técnica capaz de proporcionar tanto  $K$  como  $\Delta H^\circ$ , lo que permite la completa caracterización termodinámica del proceso. Así, la energía de Gibbs se obtiene directamente de la constante ( $\Delta G^\circ = -RT \ln K$ ), mientras que la entropía se calcula a partir de ambas energías [ $\Delta S^\circ = (\Delta H^\circ - \Delta G^\circ)/T$ ], y experimentos a diferentes temperaturas proporcionan la capacidad calorífica del proceso [ $\Delta C_p^\circ = (\partial \Delta H^\circ / \partial T)_P$ ], con información relativa a la dependencia y efecto de la temperatura sobre todas las funciones significativas.

Aparte de la caracterización energética de multitud de procesos de unión biológicamente relevantes, la ITC presenta claras ventajas en aplicaciones biotecnológicas, como, por ejemplo, en el diseño racional de fármacos. La visión clásica ha consistido aquí en optimizar la afinidad del fármaco por su diana molecular en base únicamente a consideraciones estructurales, pero  $\Delta G^\circ$ , que determina dicha afinidad, depende a su vez de  $\Delta H^\circ$  y  $\Delta S^\circ$ , por lo que diseños moleculares que originen varia-

ciones apropiadas en ambas funciones añaden un amplio margen de eficacia. Así, un valor favorable en  $\Delta H^\circ$  surge principalmente de interacciones de van der Waals y enlaces de hidrógeno creadas en el sitio de unión, mientras que las contribuciones al  $\Delta S^\circ$  serían tanto la favorable entropía de solvatación asociada a la liberación de moléculas de disolvente (disminuyendo el contacto de las mismas con los grupos hidrofóbicos tanto del fármaco como del receptor, aparte del efecto debido a los grupos polares) como la desfavorable entropía conformacional que refleja la pérdida de grados de libertad conformacionales en la unión. El trabajo de ingeniería molecular consistiría aquí en optimizar complementariamente aquellas interacciones favorables y disminuir las desfavorables, dentro del conocido y sutil balance entálpico-entrópico, de forma que el apropiado diseño molecular permita mejorar aún más la afinidad y, lo que es tan o más importante, la selectividad de la interacción. Ambos objetivos se consiguen, por citar un ejemplo, al optimizar la cantidad y calidad de las interacciones entálpicas por su carácter estéreo específico. Qué duda cabe de que más allá de la necesaria información estructural de la interfase de unión o del perfil termodinámico de las interacciones no covalentes descritas, el uso de la calorimetría isotérmica, con la previsible variación de los datos termodinámicos en función de las condiciones experimentales y las modificaciones de diseño, sería condición indispensable para el desarrollo de una tal investigación.

La segunda técnica microcalorimétrica a reseñar es la diferencial de barrido (DSC), que trabajando también a presión constante proporciona la  $C_p$  aparente de la disolución de muestra en función de la temperatura. A

partir de datos fácilmente accesibles de soluto y disolvente es posible obtener la  $C_p$  aparente específica parcial de la muestra como una función continua de la temperatura. La técnica resulta particularmente apropiada para estudiar cambios de fase o transiciones conformacionales como, por ejemplo, el desplegamiento térmico en proteínas. Así, y sin entrar en detalles, la DSC permite obtener tanto la  $C_p^\circ$  del estado nativo y del desplegado, como los valores de  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$ ,  $\Delta G^\circ$  y  $\Delta C_p^\circ$  del proceso de desplegamiento en un amplio intervalo de temperaturas (aproximadamente desde  $-10^\circ\text{C}$  hasta  $120^\circ\text{C}$ ). Esta caracterización proporciona y describe la estabilidad de una proteína, racionaliza en términos energético-estructurales su cooperatividad intramolecular y contribuye a la comprensión de cómo una secuencia dada origina una cierta conformación nativa funcionalmente activa (la denominada segunda parte del código genético). La propuesta y desarrollo de modelos apropiados ha permitido el estudio no sólo de transiciones tipo dos estados, nativo y desplegado, correspondientes a proteínas con un solo dominio, sino de transiciones multiestado para proteínas con varios dominios cooperativos. Aquí, la posibilidad de obtener la función de partición de la macromolécula en disolución en el intervalo de temperaturas investigado a partir de los datos de  $C_p(T)$ , permite el abordaje mecanoestadístico y la deconvolución de la función  $C_p(T)$  en transiciones individuales correspondientes al desplegamiento de los diversos dominios. Al margen de la importancia académica de estos logros, que únicamente la DSC posibilita, las aplicaciones biotecnológicas son también reseñables en multitud de campos, desde la caracterización, racionalización y optimización de la estabilidad de

proteínas con diversos objetivos, a su utilización en el proceso de diseño *vía* mutaciones selectivas e incluso el diseño *de novo* de nuevas especies moleculares de previsible alto valor añadido.

Ambas técnicas pueden emplearse también complementariamente para, por ejemplo, caracterizar la unión de un ligando a una proteína (a bajas temperaturas por ITC y altas por DSC), así como para analizar la estabilidad y el desplegamiento de la macromolécula tanto en presencia como en ausencia del efector. Por otra parte, el análisis, interpretación y aplicación de los datos de ITC y de DSC se hace, en último extremo, en términos de un conjunto variado de interacciones no covalentes inter e intramoleculares, muchas veces considerando alguna de ellas individualmente, como responsables de la inmensa mayoría de los procesos moleculares *in vivo*. De ahí la importancia de su conocimiento, tanto desde un punto de vista teórico como experimental *vía* el uso de compuestos modelo, y de su sinergia y cooperatividad a la hora de la estabilización de una cierta conformación o del papel que desempeñan en el reconocimiento molecular.

Para finalizar este ya largo discurso, permítanme que entre en algún tipo de comentario personal que, aunque eludible, quisiera incluir aquí por justicia a terceros. He dedicado la mayor parte de mi vida investigadora al estudio calorimétrico y termodinámico de biomoléculas, particularmente proteínas. Esto comenzó tras finalizar mi tesis doctoral en Química Física en la Universidad de Murcia, bajo la dirección de los Dres. Juan B. Vidal Abarca y Juan G. González Hurtado, cuando decidí marchar al extranjero para una especialización posdoctoral, algo, debo añadir, infrecuente en la España de entonces,

una España, entre otras cosas, tan poco proclive al pensamiento, la razón y la ciencia. Lo que me interesaba, con el entusiasmo e idealismo de aquellos años (entusiasmo e idealismo que en la medida de lo posible pretendo conservar), era la vida<sup>2</sup> como objeto final de estudio, dentro de las posibilidades y limitaciones de mi especialidad y formación, por lo que me decidí por lo bioquímico-físico. Decisión afortunada no sólo por el prestigio del centro al que me pude incorporar, la Universidad de Yale, sino especialmente por la calidad personal y profesional del profesor con el que trabajé, el Dr. Julian M. Sturtevant, uno de los mejores biocalorimetristas del mundo en las últimas décadas del pasado siglo, con quien

---

<sup>2</sup> Afortunadamente mi interés científico por la vida fue mucho menos ambicioso que el de Albert Szent-Györgyi (1893-1986), ilustre Premio Nobel de Medicina en 1937, lo que me hizo evitar así la cierta tristeza que él mismo muestra en las bellas palabras de su texto *Personal Reminiscences*: “*En mi búsqueda del secreto de la vida, comencé mi investigación en histología. No satisfecho con la información que la morfología celular me proporcionaba, me dirigí hacia la fisiología. Encontrando la fisiología demasiado compleja, elegí entonces farmacología, que resultó serlo también, por lo que me encaminé entonces hacia la bacteriología. No obstante, puesto que incluso las bacterias fueron demasiado complejas, decidí bajar hasta el nivel molecular y estudiar química y química física. Después de veinte años de trabajo, me vi obligado a concluir que para entender la vida tenía que descender aún más, hasta el nivel electrónico y el mundo de la mecánica ondulatoria. Pero los electrones son simplemente eso, electrones, y no tienen vida en absoluto. Evidentemente a lo largo de mi camino la vida se me había perdido; había desaparecido como agua entre mis manos.*”

comencé mi formación en el campo y a quien siempre admiré por su rigor, honestidad y competencia. Tras esta primera etapa, y ya en la Universidad de Granada, realicé una segunda estancia profesional con otro excelente biotermodinámico, el Dr. Peter L. Privalov, en el Instituto de Investigación de Proteínas de Moscú, invitado por la Academia de Ciencias de la entonces Unión Soviética. Fue en aquellos años, a principios de los ochenta, cuando comenzó su andadura esta línea de investigación microcalorimétrica en la Universidad de Granada, algo que se hizo realidad gracias al entusiasmo, capacidad y apoyo inestimables del entonces catedrático de Química Física, el Dr. Manuel Cortijo.

Desde aquellas fechas, la investigación en este campo, tanto en el departamento como, en particular, en el grupo de investigación que tengo el privilegio de dirigir, ha ido creciendo y se ha desarrollado hasta convertir actualmente a este equipo en clara referencia europea. La variedad de los métodos y técnicas experimentales disponibles, desde las microcalorimétricas a las estructurales, dinámicas, cinéticas, biológicas y funcionales, conjuntamente con el complementario abordaje teórico, así como, lo que es mucho más importante, la calidad profesional de las personas que lo constituyen, hacen que sea realmente muy difícil en la arena internacional encontrar una oferta tan rica, variada y completa. Estoy seguro, además, de que miembros de este grupo superarán, si no lo han hecho ya, la contribución científica del más veterano miembro del mismo. ¡Qué mayor satisfacción para un profesor!

Y quiero ya terminar mi discurso tal y como lo empecé: con mi agradecimiento. Así, aparte de una men-

ción explícita y recuerdo cariñoso a mi extensa e intensa familia, quisiera agradecer a las muchas personas de las que he recibido ayuda, colaboración y enseñanza por haber hecho posible tantas cosas en mi vida profesional; por no ir más lejos, el que aquí y ahora haya tenido el placer y la satisfacción de dirigirme a todos ustedes.

Eso es todo. Muchas gracias.

## Bibliografía

Atkins, P.W. *The second law*. Freeman and Company, New York (1984).

Bazárov, I.P. *Equivocaciones y errores en termodinámica*. Ed. URSS, Moscú (2006).

Beltrán Marí, A. Notas del curso *Orígenes de la Imagen Moderna del Mundo (COIMM)*, Programas AEU, Universidad de Barcelona (2005/06).

Ben, J.B. *Engines, energy and entropy*. Freeman and Company, New York (1982).

Bernard Cohen, I. *Revolución en la ciencia*. Gedisa, Barcelona (2002).

Denbigh, K.G. *The principles of chemical equilibrium*. Cambridge University Press (1981).

Fara, P. *Breve historia de la ciencia*. Ariel, Barcelona (2009).

Feynman, R.P., Leighton, R.B. y Sands, M. *Lectures on physics*. Addison-Wesley, New York (1966).

García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J.R. *La revolución química. Entre la historia y la memoria*. Publicaciones Universidad de Valencia (2006).

Hawking, S. *A hombros de gigantes. Las grandes obras de la física y la astronomía*. Crítica, Barcelona (2005).

de Heer, J. *Phenomenological thermodynamics with applications to chemistry*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1986).

Hemminger, W. y Höhne, G. *Calorimetry. Fundamentals and practice*. Verlag Chemie, Weinheim (Alemania) (1984).

Klein, M.J. *Carnot's contribution to thermodynamics*. *Physics Today* 27, 23-28 (1974).

Kragh, H. *Introducción a la historia de la ciencia*. Crítica, Barcelona (1989).

Kuhn, T.S. *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press (1970).

Mason, S.F. *Historia de las ciencias*. Alianza Editorial, Madrid (2001).

McGlashan, M.L. *The use and misuse of the laws of thermodynamics*. *J. Chem. Educ.*, 43, 226-232 (1966).

Mendelson, K. *La búsqueda del cero absoluto*. Guadarrama, Madrid (1965).

Mendoza, E. *A sketch for a history of early thermodynamics*. *Physics Today* 14, 32-44 (1961).

Nye, Mary Jo. *From chemical philosophy to theoretical chemistry*. University of California Press (1993).

Ordoñez, J., Navarro, V. y Sánchez Ron, J.M. *Historia de la ciencia*. Colección Austral, Espasa Calpe (2004).

Partington, J.R. *A short history of chemistry*. Dover, New York (1989).

Read, J. *From alchemy to chemistry*. Dover, New York (1995).

Roller, D. *The early development of the concepts of temperature and heat*, en *Harvard case histories in experimental science*, Vol. 1. Harvard University Press, Cambridge, Massachussets (1957).

Sánchez Ron, J.M. *El canon científico*. Crítica, Barcelona (2005).

Schrödinger, E. *What is life? & Mind and matter*. Cambridge University Press (1974).

Schrödinger, E. *La naturaleza y los griegos*. Tusquets, Barcelona (2006).

Smorodinski, Ya. *La temperatura*. Mir, Moscú (1983).

Solís, C. y Sellés, M. *Historia de la ciencia*. Espasa Calpe, Madrid (2005).

Taton, R. (ed.). *Historia general de las ciencias*. Destino, Barcelona (1971).

Toulmin, S. y Goodfield, J. *La trama de los cielos*. Eudeba, Buenos Aires (1963).

Zamora Carranza, M. *Fuego, calor y energía*. Abecedario, Badajoz (2007).

CONTESTACIÓN DEL  
ILMO. SR. D. LUIS FERMÍN CAPITÁN VALLVEY

Excelentísimo Sr. Presidente,  
Excmos. e Ilmos. Señores Académicos,  
Señoras y Señores:

### INTRODUCCIÓN

Como miembro reciente de esta Academia me cabe el placer de contestar al discurso de ingreso como Académico de Número del Profesor Pedro Luis Mateo Alarcón con quien comparto no solo materia, en el doble sentido de especialidad y objeto de estudio, pues ambos nos dedicamos a la química, sino también querencias, tratando de entender nuestra materia en el contexto de su devenir histórico y los paradigmas que en cada época la conforman.

Desde hace casi treinta años somos compañeros en el claustro de profesores de Ciencias Químicas, de materias de Química Física el Profesor Mateo y de Química Analítica quién les habla, donde hemos lidiado en algunas batallas, peleado planes de estudio y sobre todo compar-

tido muchas horas de trabajo; él en la primera planta del primer bloque de químicas y yo en la tercera y última, tradicionalmente reservada a los químicos analíticos en muchas universidades para mitigar en lo posible los malos olores del gas sulfhídrico de amplio uso en otra época y que algunos de ustedes recordarán.

Un repaso breve por su biografía nos indica que nuestro nuevo académico nació en Murcia en el seno de una familia amplia en número y en inquietudes. En esa ciudad creció y estudió, bachillerato de ciencias primero y en la universidad después donde cursó químicas, la única opción de ciencias posible en aquella universidad de provincias extrema y buena hasta para acoger represaliados políticos como el Profesor Sierra de feliz memoria.

Sus años de universidad no son solo años de estudio sino de abrir los ojos a la realidad, de aficiones musicales que no abandonará y de teatro universitario con el que recorre media España y algún que otro festival europeo, lo que le permite esa necesaria ojeada a otra forma posible de vivir y de entender la sociedad.

Inicia su formación investigadora en el Departamento de Química Física de Murcia estudiando acerca de la difusión de iones metálicos y sus complejos en medios acuosos y viviendo las acostumbradas penurias presupuestarias de la investigación en aquellos años.

La llegada a Murcia en 1970 del Profesor Cortijo Mérida como Profesor Agregado marcará un hito en su formación y el inicio de una duradera colaboración y de su posterior adscripción granadina. Forma parte entonces de ese numeroso grupo de profesores universitarios no numerarios, los conocidos como PNN, donde recorre como fue habitual diferentes situaciones administrativas: profesor

ayudante, profesor adjunto y profesor agregado interino, cuando aquella universidad rompía ya por todas las costuras y pensábamos en otra posible.

Con una beca de la Fundación Fulbright bajo el brazo, marcha en 1973 a Estados Unidos a hacer una estancia postdoctoral en la Universidad de Yale en el laboratorio del Profesor Julian M. Sturtevant (1908-2005), uno de los principales protagonistas de la termodinámica bioquímica desde los años 30 hasta fin de siglo pasado. Esa estancia con horas interminables de trabajo y estudio marcan su vocación y la orientan hacia la termodinámica y técnicas calorimétricas aplicadas a sistemas biológicos, proteínas y bicapas lipídicas, principalmente.

No termina aquí su actividad norteamericana, algunos conciertos de guitarra por diferentes *colleges* de Nueva Inglaterra o actos de protesta contra la política exterior americana lo atestiguan.

A su regreso a España en 1977 y ya en la Universidad de Granada, dificultades e improvisaciones, conceptos inextricablemente unidos en la universidad española del momento -y no solo de entonces-, para poder continuar con el trabajo de investigación iniciado.

La explosión estudiantil ocurrida en España en la década de los 70, aunque no con igual intensidad en todos los tipos de enseñanza universitaria, provoca un aumento en el número de docentes universitarios. Son años de tensión en los que el reciente cambio político trata de convertir la universidad en una institución al servicio de la sociedad, dejando de ser patrimonio exclusivo de la comunidad académica. Prueba de ello son los diversos proyectos de ley de reforma universitaria intentados vanamente entre 1978 y 1982 y fallidos por la acción de di-

versos grupos universitarios hasta la aprobación en 1983 de la LRU.

En ese contexto comienzan tímidamente a estabilizarse profesores no numerarios por el tradicional sistema de oposiciones centralizadas, logrando el Dr. Mateo Alarcón una plaza de Profesor Adjunto en 1979 siendo adscrito a la universidad de Granada.

Supongo que las graves carencias del Departamento de Química Física en ese momento y su amor por la investigación, fue lo que le llevó a cometer la valentía de aceptar una beca de la Academia de Ciencias de la URSS por un año en el curso 1980-81. Allí trabaja con el Dr. Peter L. Privalov en el Instituto de Investigación de Proteínas de Poustchino, situado en la región de Moscú, sobre la estructura de pepsina y pepsinógeno mediante calorimetría diferencial de barrido. Meses de frío, trabajo y amigos.

Su vuelta a Granada supone el inicio de unos años fructíferos, en colaboración con el Profesor Cortijo inicialmente; de la expansión del Departamento de Química Física donde empiezan nuevas líneas de investigación, se consigue la financiación de proyectos y se dirigen los primeros doctorados; logrando la cátedra en 1984.

Desde entonces ha llovido mucho, bajo la dirección del Profesor Mateo Alarcón se han desarrollado por su grupo de trabajo "Biofísica y Biotecnología Molecular", numerosos proyectos de investigación en el campo de la calorimetría de proteínas financiados tanto por la Comunidad Europea como por nuestro Ministerio encargado de Ciencia en sus sucesivas denominaciones; se ha colaborado con diversos centros de investigación españoles y europeos de la talla de los Institutos Max Plank y Pasteur

o las universidades de Oxford, Cambridge o Johns Hopkins y se ha asesorado a industrias biotecnológicas.

Todo ello ha resultado en la publicación de gran número de trabajos en las revistas de mayor prestigio del área e impartición de conferencias plenarias en congresos de ámbito nacional e internacional, pudiéndose considerar al Profesor Mateo Alarcón como un científico de referencia en biotermodinámica y microcalorimetría.

No quiero olvidar en estas líneas que la esencia del profesor universitario no reside solo en la investigación como resultado de su esfuerzo tanto personal como colectivo -el del grupo en el que se inserta- dirigido hacia la exploración, descripción, explicación y predicción de acontecimientos que tienen lugar en el mundo que nos rodea, al menos en ciencias empíricas, sino en la transmisión organizada de todo ese saber o de los presupuestos básicos del mismo.

En este sentido quiero destacar la faceta docente de nuestro nuevo Académico y aplicarle lo que hace unos minutos nos ha definido como características del profesor universitario: calidad y excelencia de su investigación, conocimiento amplio de su materia y capacidad para la transmisión de la misma.

## **SOBRE EL DISCURSO DE INGRESO**

El tema elegido para el Discurso de Ingreso, el concepto de calor y su evolución histórica, es un buen ejemplo de transversalidad y quiero detenerme brevemente en este concepto aprovechando la cita de Feynman que acabamos de oír relativa a que son nuestras mentes las que di-

viden el conocimiento en parcelas de las que la naturaleza no sabe nada.

Nos quejamos de una excesiva especialización que dificulta, si no impide, la comprensión global del conocimiento y, por tanto, de una percepción integradora de la realidad. Ello deriva de la estructura y organización del conocimiento tradicionalmente utilizada, que, recurriendo a la habitual metáfora botánica, llamamos arborescente; esto es, jerárquica; en la que se estructuran los conocimientos en áreas y subáreas que se ramificaban desde lo general hasta lo particular. Los diferentes aspectos de la realidad o las formas de abordar esos aspectos dan lugar a nuevas disciplinas independientes susceptibles de división a su vez. Las relaciones y retroalimentación se mantienen con el tronco o rama común aunque sin interconexión entre ramas. En esta organización lo que se afirma de los elementos de mayor nivel es necesariamente verdadero de los elementos subordinados, pero no a la inversa.

La pregunta es si el pensamiento y el conocimiento siguen la estructura propuesta por el paradigma arborescente o bien es consecuencia de la forma de organizar el conocimiento para permitir su clasificación y utilización, y que a la postre determina la estructura de los nuevos conocimientos.

Si atendemos a la forma de organizar el conocimiento, las tecnologías del conocimiento, esto es, los mecanismos que el hombre utiliza para examinar aspectos de la realidad y que dan lugar a estilos de pensamiento diferentes, podemos distinguir siguiendo a Pierre Lévy, tres grandes tipos de culturas. Las basadas en la oralidad primaria, cuya cultura descansa casi por completo en la

memoria humana asociada al manejo del lenguaje y cuyo modo de conocimiento es mitológico, originando saberes de tipo narrativo. Las fundamentadas en la escritura, alfabeto primero y más tarde imprenta, que separan saberes de las circunstancias concretas en que se producen, posibilitando la aparición de teorías que a la larga permiten el desarrollo de la Filosofía y de la Ciencia a través de un saber teórico basado en la interpretación. Por último, encontramos las soportadas en la informática y los medios de comunicación, con la información directamente accesible desde cualquier punto y una memoria casi totalmente objetivada en dispositivos técnicos, capaces de ofrecer en un momento el estado del arte de una especialidad o el de un campo de negocio; esto es, de generar conocimiento en tiempo real; permitiendo un saber operacional basado en la modelización.

El conocimiento que se basa en la tecnología de la escritura se caracteriza por la interpretación de la realidad utilizando una racionalidad operativa analítica; esto es, dividiendo el problema en otros menores que se puedan comprender con mayor facilidad; apareciendo como consecuencia la división en disciplinas. Este conocimiento que ha se ha originado de manera compartimentada, genera a su vez nuevos conocimientos compartimentados en ramas ya existentes o bien crea otras nuevas.

La enseñanza de la ciencia exclusivamente basada en disciplinas perpetúa la misma estructura sin interconexión entre especialidades al usar un lenguaje y metodología propios cada uno de ellos.

Se ha intentado la superación de los problemas de la estructura arborescente por diversos caminos como son las propuestas interdisciplinarias o las multidisciplinarias, en-

tre otras; referidas a la transferencia de métodos de una disciplina a otra en el primer caso y al estudio por varias disciplinas a la vez de un fenómeno objeto de conocimiento, en el segundo. Estas soluciones, sin embargo, son solo parciales pues chocan con el problema antes citado, formación científica en compartimentos estancos lo que alza barreras lingüísticas y metodológicas difíciles de superar para comprender la relación de una especialidad con las demás áreas del saber.

Otra alternativa es el cambio de paradigma, desde el arborescente clásico al rizomático propuesto por Deleuze y Guattari. Modelo basado en el rizoma, tallo radiforme de algunos vegetales, -nuevamente una metáfora botánica- en el que la organización de los elementos ya no sigue la subordinación jerárquica del paradigma arborescente, sino que en él cualquier elemento puede relacionarse, afectar o incidir sobre otro. Aquí cualquier predicado sostenido de un elemento puede facilitar la generación de otros elementos de la estructura, sin importar su posición recíproca; las relaciones entre diferentes elementos no están mediatizadas por la estructura jerárquica; esto es, carece de centro.

En este modelo, las diferentes áreas del conocimiento se entrelazan formando un conjunto complejo en el que la forma de comunicación, de transitar, sería la transversalidad a modo de conexión sináptica entre ciencias.

Este nuevo paradigma puede dar cuenta de anomalías no fácilmente insertables en el paradigma clásico como es el caso de la ecología que surge de la intersección de biología, geografía, química y física, entre otras ciencias, o las más cercanos a este acto como son la biotermodinámica o los sensores. De hecho, si consideramos los temas

de investigación de los diferentes grupos de investigación de los cuatro departamentos de Químicas, por remitirnos a nuestra geografía más cercana, comprobaremos en muchos casos la gran distancia entre el nombre de la disciplina y los temas por los que se interesan sus cultivadores.

Y vuelvo al tema del discurso de ingreso, al que podríamos considerar ejemplo de transversalidad en el sentido arriba citado, pues el concepto de calor transita entre la mayoría de las ciencias empíricas, así, físicas, químicas o biológicas.

El nuevo académico nos ha ido llevando desde el calor en su relación con el fuego, fenómeno primero, concepto más tarde; a su relación con la temperatura después, termómetro y medida; para concluir con su relación con la energía, clarificación de conceptos, unidad de los diferentes tipos de energía, concluyendo con los principios de conservación de la misma.

El calor, uno de los asuntos recurrentes en el desarrollo del ser humano y su dominio, fuego y luz, significó un aumento de las posibilidades de éxito de homínidos del género Homo. Lo encontramos en la base de los esfuerzos del hombre para enfrentarse con su entorno físico y sus intentos para dominar o controlar ese entorno por medio de su imaginación y habilidad para usar los recursos disponibles; esto es, en la base de la tecnología.

Así tenemos la cerámica, metalurgia o la preparación y conservación de alimentos, que dan lugar a rasgos culturales específicos. Es el caso de la cocina –a la que algunos han considerado la primera ciencia- entendida como conjunto de ideas y prácticas referidas a la preparación, sabores, tabúes y consumo de alimentos, características

de un grupo cultural; aunque en el asunto de la cocina, la homogeneización producida por el cambio de hábitos sociales, desarrollos industriales y la globalización, nos lleva a parajes que exceden el breve comentario que aquí me permito.

Elevado a la categoría de dios en diversas culturas para la reconstrucción mitopoética de la experiencia, el fuego es racionalizado en el momento en que las transformaciones de orden social y político lo permiten, originando en la cultura griega nuevas formas de explicación unitarias en las que se sustituyen las entidades hipotéticas –dioses- por principios naturales, a la vez materiales e intangibles, entre los que se encuentra el fuego.

De la confrontación de las teorías griegas de la materia y el cambio, que hemos escuchado con anterioridad, con el conocimiento técnico tradicional y su posterior fusión, surge la alquimia en su triple vertiente: material, medicinal y mística. Concepciones que tienen en común el uso y ennoblecimiento de metales mediante diferentes operaciones en que interviene principalmente calor y fuego, para lograr diferentes objetivos; ennoblecimiento de la materia mediante transmutación de metales; ennoblecimiento del cuerpo mediante el uso farmacológico de los metales; y ennoblecimiento espiritual por uso de los metales para la preparación de elixires de longevidad e inmortalidad.

El desarrollo de la química ha estado muy ligado a las ideas acerca de la naturaleza del calor y su acción sobre la materia. La emancipación de la química del pensamiento medieval ocurre relativamente tarde; así, aún en el siglo XVII es frecuente suponer que la combustión implica la emisión de una forma idealizada o mística del

azufre, considerado constituyente habitual de los metales junto con el mercurio.

La teoría del flogisto, aunque no es la primera teoría química, es universalmente reconocida a partir de 1750 y domina el pensamiento químico hasta la revolución de Lavoisier. Propone un principio de combustión, el flogisto, contenido en todas las sustancias combustibles que es expulsado al aire al quemarse aquellas.

Esta teoría es un ejemplo interesante de aquellas capaces de explicar cualitativamente fenómenos, combustión y calcinación, pero que trata de justificar datos experimentales en contra, el aumento de peso de un metal por combustión, mediante hipótesis que ahora consideramos *ad hoc*; así, que el flogisto posee levedad, esto es peso negativo; que su emisión incrementa la densidad de la sustancia; que la presencia de flogisto debilita la atracción gravitacional de los cuerpos o, como Boyle, que las partículas ponderables de fuego son capaces de atravesar las paredes de cristal donde arde la sustancia.

La revolución química encabezada por Lavoisier y basada tanto en cambios metodológicos –balanza, criterios cuantitativos, balances- como conceptuales –nomenclatura metódica, concepto de elemento- modifica profundamente la química a través de tres teorías particulares; del calor, de la acidez y de la combustión.

La aceptación del calor como sustancia material, denominada calórico por Lavoisier, con dos propiedades básicas: que sus partículas, al contrario que las de la materia ordinaria, se repelen entre sí, pero que son atraídas por los corpúsculos de dicha materia, permite explicar los cambios de estado, el calor originado en reacciones químicas y disoluciones o el calor mecánico. A pesar de la

imponderabilidad del fluido calórico, la teoría es aceptada ya que se puede definir sin ambigüedad a partir de efectos mensurables y explica observaciones experimentales.

Esta revolución química ocurre al mismo tiempo que en España se está aplicando una política científica, décadas de los 70 y 80 del siglo XVIII, encaminada a lograr el acercamiento de España al nivel científico de los países europeos. Para conseguir estos fines se contratan científicos y técnicos extranjeros –Louis Proust o François Chabaneau-; se aplica una política de becas para estudios en el extranjero –hermanos Elhuyar, Juan Manuel de Aréjula o Domingo García-; se establecen nuevas instituciones –cátedras de química de Vergara, Segovia, Madrid o Cádiz- y se alivia la censura. Un momento de esperanza marchitado con rapidez.

La aceptación de la nueva teoría química en España es rápida, tanto por la ausencia de científicos de renombre partidarios de doctrinas flogísticas como por la formación francesa de los químicos jóvenes; y no en las universidades, que fueron incapaces de protagonizar la institucionalización de la química en España, sino en cátedras de sociedades y centros estatales no universitarios.

A modo de ejemplo leemos en la obra del médico José Ponce de León publicada en Granada en 1804, seis años después de la primera traducción española de la obra central de Lavoisier *Tratado Elemental de Química*, que: *El calórico es un fluido muy sutil, elástico y movilísimo, que penetra y se derrama por todos los cuerpos en razón de sus capacidades, los dilata y causa los distintos estados de agregación, y aplicado a los órganos animales produce la sensación que llamamos calor.*

El abandono de esta teoría no es rápido, son necesarias aportaciones desde diferentes campos; las observaciones sobre el rozamiento de Rumford, los estudios de Meyer sobre la conservación de la energía, de Dulong sobre la compresión de gases o los experimentos de Joule sobre el equivalente mecánico del calor; los cuales abren paso a la ampliación del concepto de energía y al desarrollo de la termodinámica.

El discurso del Dr. Mateo Alarcón nos ha ido entrelazando la evolución de los conceptos teóricos sobre el calor con los desarrollos tecnológicos que los retroalimentan. Esto se combina de modo especialmente claro en la última parte del mismo que dedica a la medida de calores muy pequeños de moléculas muy grandes. En ella nos ha mostrado como una instrumentación compleja, combinada con un buen desarrollo experimental en conjunción con un adecuado abordaje teórico permite abrir ventanas a la caracterización de sutiles interacciones en biomoléculas.

Quisiera terminar, señalando como resumen que la obra del Dr. Mateo Alarcón se puede calificar de creadora y entusiasta; habiendo demostrado no solo destreza en el oficio de investigador sino también inventiva, ingenio y valor para abordar temas y técnicas difíciles y todo ello junto con un compromiso con los miembros de su equipo investigador, en colaboración entregada y altruista.

Su apretado curriculum vitae solo lleno de datos sucintos es la prueba de una vida plena dedicada a la universidad; y como nos enseña el maestro Borges “*en los lenguajes humanos no hay proposición que no implique el universo entero; decir el tigre es decir los tigres que lo engendran, los ciervos y tortugas que devoró, el pasto de que se*

*alimentaron los ciervos, la tierra que fue madre del pasto, el cielo que dio luz a la tierra*”.

Por todo ello, es una gran alegría y honor dar la bienvenida en nombre de nuestra Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada al Prof. Pedro Luis Mateo Alarcón como Académico de Número.

## **Bibliografía**

- Bermejo, D. *Posmodernidad: Pluralidad y Transversalidad*. Anthropos Editorial, Barcelona, 2005.
- Borges, J.L. *El Aleph*. Ed. Seix Barral, Buenos Aires, 1983.
- Crothers, D.M. *In memory of Julian Munson Sturtevant*. Biophysical Chemistry 126, 5-8 (2007).
- Deleuze, G. y Guattari, F. *Capitalisme et Schizophrénie. Mille Plateaux*. Les Éditions de Minuit. Paris. 1980.
- Gago Bohorquez, R. *The new chemistry in Spain*. Osiris, 4, 169-192 (1988).
- Gallo, S. *Conocimiento y transversalidad*. Twentieth World Congress of Philosophy, Boston (MA, USA) 1998.
- Holton, G. *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Editorial Reverté, Barcelona, 1989.
- Levi, P. *Les technologies de l'intelligence. L'avenir de la pensée à l'ère informatique*. La Découverte, Paris, 1990.
- Niculescu, B. *La Transdisciplinarité: manifeste*. Ed. Du Rocher, Paris, 1996.
- Ponce de León, J. *Fisiología Química*. Imprenta de las Herederas de Don Nicolás Moreno, Granada, 1804.
- Wartofsky, M.W. *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Alianza Editorial, Madrid, 1973.