

RESEÑA BIOGRAFICA

René-Antoine Ferchault de Réaumur Desde las abejas hasta los grados

Jaime Wisniak

Department of Chemical Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel 34105,
wisniak@bgumail.bgu.ac.il.

Recibido: 11 de febrero del 2001. Aceptado: 4 de abril del 2001.

Palabras clave: René-Antoine Ferchault de Réaumur, termómetro, geometría, animales testáceos, hierro, acero, hojalata, porcelana, insectos, abejas.
Key words: René-Antoine Ferchault de Réaumur, thermometer, geometry, testaceous animals, iron, steel, tinplate, porcelain, insects, bees.

RESUMEN. René-Antoine Ferchault de Réaumur es un ejemplo de aquellos científicos que contribuyeron en muchas áreas, pero solo se les recuerda por una sola. Hoy día, se menciona a Réaumur solo por su termómetro, aún cuando durante su vida fue uno de los más prominentes científicos franceses. Desde el momento en que fue designado miembro de la *Académie des Sciences* y hasta su muerte, Réaumur contribuyó en forma significativa a la geometría, la resistencia de las cuerdas, el desarrollo de la concha en los animales testáceos, el material colorante de la turquesa, la fabricación del hierro, acero, hojalata y porcelana, la fabricación de termómetros, los instintos y hábitos de los insectos en general y de las abejas, en particular, y el proceso de la digestión.

ABSTRACT. René-Antoine Ferchault de Réaumur is an example of those scientists that made important contributions in many subjects but are remembered by only one. Nowadays Réaumur is remembered almost exclusively by his thermometer, although during his life he was one of the most prominent French scientists. From the time he became a member of the *Académie des Sciences* until his death, he made significant contributions in the areas of geometry, the strength of cordage, the development of the shells of testaceous animals, the coloring matter of turquoise gems, the manufacture of iron, steel, tinplate, and porcelain, the manufacture of thermometers, the instincts and habits of insects in general, and bees in particular, and the digestion process.

INTRODUCCIÓN

Réaumur es uno de los últimos científicos eclécticos y autodidactas del siglo XVIII. Sin tener una formación científica llegó a ser uno de los miembros más prestigiosos de la Academia de Ciencias de Francia. Es muy probable que sus primeros años como "aprendiz" en la Academia fueron el catalizador que despertó una curiosidad ilimitada que maduró en una contribución extraordinaria en áreas tales como la entomología, fisiología, metalurgia, física y la termodinámica.

Un científico experimental de nuestros días, con acceso fácil a instrumentos de gran precisión, sonreiría y tal vez miraría a menos los esfuerzos de Réaumur para construir

un termómetro confiable. Sin embargo, el enfoque de Réaumur y sus técnicas experimentales deben servir de ejemplo de cómo un científico brillante del siglo XVIII enfocó y resolvió el problema, usando la poca teoría científica disponible en aquella época.

VIDA Y CARRERA^{1,4}

Réaumur nació en La Rochelle, Francia, el 28 de febrero de 1683, en el seno de una familia de fortuna. Su padre, René Ferchault, que era abogado y consejero de la magistratura de La Rochelle, falleció cuando René-Antoine tenía dos años de edad. Su madre, Geneviève Bouchel, provenía de una familia de prósperos comerciantes domiciliados en

Calais. René-Antoine comenzó su educación en La Rochelle y fue enviado posteriormente a la escuela jesuita de Poitiers. El lenguaje oficial de la escuela era el latín y tenía por metas principales enseñar a sus alumnos la elocuencia y la oratoria. El currículo no incluía la enseñanza de las ciencias, excepto un poco de física teórica.¹ Según Grandjean de Fouchy,² el tío de Réaumur lo sacó de la escuela en 1699 para enviarlo a Bourges a estudiar leyes. Al cabo de tres años, Réaumur abandonó estos estudios y se trasladó a París para dedicarse a las matemáticas y la física. Torlais¹ ha puesto en duda esta afirmación de Grandjean de Fouchy basado en el hecho de que el nombre de Réaumur no aparece en los registros de la Facultad de Leyes de Bourges.

En París, Réaumur estudió matemáticas y física en compañía de su primo Charles-Jean-François Hénault (1685-1770), quien más tarde sería un conocido historiador Presidente de la *Chambre aux Enquêtes*. A través de Hénault conoció al obispo Jean-Paul Bignon (1662-1743), hombre de gran influencia que en el período de 1692 a 1733, fue, durante casi cada año, Presidente o Vicepresidente de la Academia Real de Ciencias. Las habilidades matemáticas de Réaumur fueron notadas muy pronto y como consecuencia, en 1708, a la edad de veinticinco años, fue elegido *élève géomètre* (aprendiz de geómetra) por el geómetra Pierre Varignon (1654-1722). Entre 1708 y 1709 Réaumur presentó a la Academia tres memorias que contenían la solución gene-

ral de ciertos problemas geométricos relacionados con curvas conchales.⁵⁻⁷ Con estos trabajos dio por justificada su elección como aprendiz de geometra y trasladó su interés a la historia natural. Sus primeros trabajos en esta área fueron muy originales, demostrando, por ejemplo, que el crecimiento de la concha de los moluscos tenía lugar por adición sucesiva de capas, en vez de por pliegue interno de la capa. Réaumur demostró, asimismo, que el descubrimiento hecho en 1709 por Francois Xavier Bon de Saint-Hilaire's (Presidente de la Chambre des Comptes de Montpellier) de que las arañas podían proveer de una fibra o seda apta para fabricar telas, no tenía ningún valor comercial. Asimismo, probó, contra lo que se creía en aquella época, que la resistencia de una cuerda trenzada era menor que la suma de las resistencias de los hilos que la formaban. Estas memorias constituyeron las primeras publicaciones de un total de setenta y cinco artículos originales que Réaumur publicó en los anuarios de las Memorias de la Academia de Francia, entre los años 1708 y 1763.

Las calificaciones generales de Réaumur fueron reconocidas rápidamente por la Academia y así, en 1711, a la muerte del geómetra Louis Carré (1663-1711), fue promovido de aprendiz a *pensionnaire mécanicien*. Su brillante trabajo fue también la razón por la cual el rey Louis XIV (1638-1715) lo comisionó para recopilar un informe sobre las diversas profesiones e industrias en Francia, *Descriptions des Arts et Métiers*, algo así como una enciclopedia industrial, que el ministro Colbert había decidido editar cuarenta años antes. Esta recopilación demoró muchos años en completarse y resultó un trabajo enorme. Su ejecución permitió a Réaumur no solo familiarizarse con un número importante de tecnologías industriales, sino también, contribuir a ellas. Réaumur mismo recopiló los volúmenes relativos al tiraje del oro y la fabricación de anclas, pernos y hierro fundido.

La falla de formación metalúrgica o ingenieril no fue un obstáculo para que Réaumur estudiara la industria francesa del hierro y del acero, y tampoco para efectuar experimentos con el fin de mejorar sus métodos de producción. Esta fue también su actitud con respecto a otras industrias. Por ejemplo, sus sugerencias a la industria de la porcelana resultaron en la fabricación de un vidrio blanco opaco, que hasta hoy

se conoce con el nombre de porcelana de Réaumur.

Grandjean de Fouchy² ha descrito con gran detalle las actividades que Réaumur desarrolló después que fuera nombrado *pensionnaire mécanicien*. De acuerdo con él, dentro de los muchos descubrimientos realizados por Réaumur se pueden mencionar: un insecto que vive como parásito en el interior de los caracoles, un pez desconocido cuyos huevos, al ser raspados producen una tintura sólida de color amarillo, que en contacto con el aire cambia a púrpura, muy parecida a la púrpura de Tiro, de la época antigua. Asimismo, descubrió un adhesivo que los animales marinos usan para adherirse a las rocas. Réaumur estudió el movimiento de los mariscos, las anémonas y las estrellas de mar.⁸ Asimismo, demostró como cierta la creencia popular de que los cangrejos, las langostas y las jaibas eran capaces de regenerar sus pinzas; estudió las perlas y su falsificación, demostrando que ellas se debían a una enfermedad. Réaumur aportó a la Academia métodos para la fabricación de la mica, de espejos, el tiraje de alambres de oro, el dorado del cuero, etcétera. El respeto general a Réaumur provenía no solo de la manera maestra con la cual afrontaba problemas tanto de las ciencias naturales, como industriales. Dentro de sus éxitos pueden mencionarse sus trabajos sobre el hierro, el acero, la hojalata, los aceites y barnices, y la porcelana. Para entender a fondo la importancia de estos estudios es necesario compararlos con la ignorancia prevalente en su época, así como con las necesidades industriales de ella.

Como resultado de su labor científica, Réaumur recibió muchos honores y premios en Francia y en el extranjero. Entre 1713 y 1752 sirvió en la Academia Real de Ciencias, ya sea como Subdirector o Director. Su primer nombramiento como Director tuvo lugar en 1714, cuando apenas tenía treinta y un años. En 1737 fue elegido Comandante e intendente de la orden de San Luis (*Commandeur et intendant de l'ordre de Saint Louis*), y en 1739 fue elegido Académico Asociado de la Academia Real de la Rochelle (*Académicien associé de l'Académie Royale de la Rochelle*). Fue elegido miembro de la *Académie des Sciences de l'Institut de Bologne* (1735), de la *Académie Impériale des Sciences de Saint Pétersbourg* (1736), de la *Royal Society of London* (1738), de la Aca-

demia de Berlín (1744), así como la de Estocolmo (1749).

Réaumur falleció en su castillo de La Bermondière, en Maine, el 17 de octubre de 1757, el cual había heredado de su amigo Jarosson, Secretario del Rey. El castillo fue quemado por los alemanes en 1944 cuando abandonaron un depósito de aviación que habían instalado en él. Unos días antes de fallecer, Réaumur se había recuperado de una congestión cerebral y el 17 de octubre salió a cabalgar. Durante este paseo sufrió un ataque al corazón cayendo sobre una piedra que le produjo un daño fatal (la piedra fue llamada posteriormente "*Pierre de Réaumur*", "la piedra de Réaumur"). Fue enterrado en la Iglesia de Saint-Julien du Terroux Church el 19 de octubre.

En la *Church Pères de l'Oratoire* (Iglesia de los Padres Oratorios) de Mayenne, existe una inscripción que dice: *A la mémoire de René-Antoine Ferchault, seigneur de Réaumur et de la Bermondière, commandeur et intendant de l'ordre de Saint-Louis, membre de l'Académie des Sciences, né à La Rochelle le 28 février 1683, décédé en cette paroisse le 17 octobre 1757* (A la memoria de René-Antoine Ferchault, noble de Réaumur y Bermondière, comandante e intendente de la orden de San Luis, miembro de la Academia de Ciencias, nacido en La Rochelle el 28 de febrero de 1683 y fallecido en esta parroquia el 17 de octubre de 1757).

EL TERMÓMETRO DE RÉAUMUR^{9,12}

Hacia el año 1730, por razones que no están muy claras, Réaumur comenzó a interesarse por el problema de la medición de la temperatura. Aun cuando Fahrenheit ya había comenzado a fabricar termómetros que daban lecturas comparables, no está claro que Réaumur estaba enterado de esto, ya que adoptó el mismo sistema que habían usado Hooke y Newton, esto es, arreglar la escala termométrica de modo que cada uno de sus grados correspondiera a un incremento fraccional estándar (generalmente un milésimo) del volumen del líquido termométrico, comparado con su volumen a la temperatura del hielo fundente. El título de la primera publicación de Réaumur en esta área, "*Règles Pour Construire des Thermomètres dont les Degrés soient Comparables*" (Reglas para Construir Termómetros que dan Lecturas Comparables)⁹ refleja una de las principales dificultades del arte en aquella época. En los primeros párrafos Réaumur hace el co-

mentario de que aun cuando el termómetro era uno de los instrumentos que más había contribuido al avance de la física era, sin embargo, imperfecto porque todos los instrumentos disponibles daban lecturas diferentes. No solo eso, cuando se les exponía a un aire con la misma temperatura, sus fluidos termométricos daban lecturas diferentes y era imposible conocer la razón entre los grados marcados. De acuerdo con Réaumur, la razón de esta discrepancia eran los hechos de que los instrumentos no tenían una sección interna constante y de que la "calidad" del fluido variaba de un aparato al otro. Luego de discutir estos hechos en detalle, Réaumur expresó la importancia de desarrollar un termómetro que diera las mismas lecturas y que pudiera ser utilizado en todos los países. En la parte principal de su informe Réaumur dio una descripción detallada de cómo construir un termómetro que poseyera estas ventajas, su calibración, graduación, método de sellado, así como elegir la calidad del fluido termométrico.

Consideremos ahora los diferentes rasgos del termómetro de Réaumur.

(a) Dimensiones

Los termómetros de Réaumur tenían, en general, dimensiones mucho más grandes que los otros usados en su tiempo. Ellos poseían un bulbo grande, con diámetro de 81 a 108 mm, al cual estaba conectado un tubo largo (1,30 a 1,62 m) de diámetro interno 6,8 a 9,0 mm. Réaumur mismo escribió que no veía ninguna razón por la cual los termómetros no podían tener cualquier dimensión.

(b) Fluido termométrico⁹

Réaumur seleccionó el espíritu de vino como fluido termométrico porque era barato y fácil de conseguir y rechazó usar mercurio porque este tenía un coeficiente de expansión relativamente pequeño. En un comunicado a la Academia de Ciencias⁹ Réaumur justificó su elección diciendo que con excepción del aire, el espíritu de vino (*liqueur des thermomètres*) no solo era el fluido más sensible al frío y al calor, sino que también, se dilataba más que el agua. Hizo notar también que mientras más elevado era el contenido de aceite etéreo (*huile étherée*) en el espíritu de vino, tanto más este se expandía. También acusó a los fabricantes de termómetros populares de

usar una disolución diluida de espíritu de vino.⁹

El prestigio que tenía Réaumur en Francia fue sin duda la causa por la cual se tardó tanto en aceptar al mercurio como el mejor fluido termométrico. En el año 1772 Jean André De Luc (1727-1817) luchó exitosamente por la adopción del mercurio.

(c) Graduación

La idea central de Réaumur era definir el grado como el volumen de una alícuota de espíritu de vino, en equilibrio con hielo fundente. Un termómetro Réaumur típico consistía de un bulbo de vidrio de alrededor de 100 mm de diámetro, al cual estaba fusionado un tubo de vidrio de alrededor de 25 mm de diámetro, inicialmente abierto en su extremo superior.

La graduación del instrumento se realizaba mediante una serie de pipetas y probetas que tenían volúmenes que eran múltiplos de una unidad conveniente (la pipeta más pequeña), a la que se asignaba el volumen unitario. Con la ayuda de esta pipeta, Réaumur llenaba primero el termómetro hasta la parte inferior del tallo, con 1 000 partes por volumen y luego, marcaba como cero el nivel alcanzado por este nivel inicial de agua. En seguida acoplaba el termómetro firmemente a una plancha y le agregaba nuevas marcas de nivel adicionando o retirando volúmenes unitarios de agua o mercurio (este último era preferible, ya que no se adhería al vidrio). Cada marca correspondía a un milésimo del volumen inicial. Una vez que había completado el marcaje, el aparato era vaciado y secado y luego, sumergido en un recipiente metálico lleno con una mezcla congelante. A continuación, se agregaba suficiente espíritu de vino por el extremo abierto hasta alcanzar la marca cero. Posteriormente, el extremo era sellado herméticamente.

De esta descripción, apreciamos que la calibración Réaumur era *volumétrica* y no lineal como la de otros (por ejemplo, los termómetros florentinos). Una posible explicación de porqué Réaumur eligió este método era que conocía bien el problema de construir termómetros de sección constante.

Réaumur describió también las distintas maneras que se podían usar para sellar el tallo de modo de reducir la cantidad de aire retenida por él.⁹ En aquella época, se tenían conocimientos magros acerca de la

propiedades de los vapores, lo que impidió a Réaumur dar instrucciones muy precisas. Sea como sea, discutió en detalle el problema de la cantidad de aire que debía quedar en el tubo sellado y las anomalías que producía en la lectura. Su última recomendación fue que el tallo debía tener una cantidad moderada de aire rarificado, obtenida por su calentamiento antes del sellado.¹⁰

Un punto importante es que Réaumur evitó usar espíritu de vino para el proceso de graduación porque aquel se adhería al vidrio y falsificaba las lecturas. Inicialmente, usó agua, pero pronto se dio cuenta de que el mercurio permitía una manipulación más rápida: "*Le mercure ne s'attache point au verre, & ce pesant liquide descend promptement*" (El mercurio no se adhiere al vidrio y este líquido pesado desciende rápidamente).⁹

(d) Calibración

Réaumur estaba consciente de que sus termómetros serían comparables solo si contenían alcohol de la misma pureza y concentración. Para alcanzar esta meta desarrolló un método engorroso para estandarizar el alcohol a usar como referencia. El procedimiento de calibración comenzaba llenando un recipiente pequeño, dotado de un cuello largo y angosto, con alcohol, sumergiéndolo luego en agua hirviendo y marcando el nivel alcanzado por el alcohol tan pronto como cesaba la ebullición. Réaumur consideró esta altura como el volumen del alcohol a la temperatura de ebullición del agua. Sus resultados indicaron que la expansión era de 1 000 a 1 080 en volumen. El alcohol que daba esta expansión fue considerado como la concentración estándar a ser usada en sus termómetros. La dilución seleccionada era la que daba una dilatación de 80 en 1 000 porque "80 es un número fácil de dividir en partes". Con el tiempo, esta selección hizo creer al público que en la escala Réaumur el agua hierve a 80°.

La lectura de las instrucciones dadas por Réaumur demuestran claramente no solo lo engorroso del proceso de calibración, sino también, que Réaumur seleccionó el punto de ebullición del agua no como un segundo punto fijo, sino como el medio para estandarizar el fluido termométrico. La expansión volumétrica de 80 partes en 100 no correspondía al intervalo de temperatura entre los puntos de congelación y ebullición del agua.

(e) Propiedades del fluido termométrico

Las lecturas de un termómetro calibrado por el método de Réaumur dependían claramente de la pureza del alcohol: mientras más puro el líquido mayor era su coeficiente de expansión.

Esto enfatiza la importancia de estandarizar el espíritu de vino utilizado. La prueba de pureza sugerido por Réaumur tenía la ventaja práctica de que el espíritu comenzaba a hervir a una temperatura substancialmente más baja que la del agua (mezclas de alcohol-agua presentan un azeótropo de punto de ebullición mínimo). Réaumur utilizó el procedimiento que se describe a continuación para determinar el volumen de una muestra de alcohol a la temperatura de ebullición del agua.⁹ Primero, el alcohol era añadido a un recipiente con cuello delgado que posteriormente era sumergido en agua en ebullición. El recipiente era retirado cuando el alcohol comenzaba a hervir, marcando luego el nivel alcanzado por este. El proceso era repetido el número de veces necesario (generalmente 5 a 6 veces) hasta que el nivel no subiera más.

Debemos recordar que en la época de Réaumur se desconocía el alcohol absoluto y que los métodos analíticos eran muy rudimentarios. La especificación dada por Réaumur de la composición a través de una propiedad física representó una contribución importante a la alcoholimetría. Sea como sea, aun cuando Réaumur tomó precauciones extremas para determinar exactamente el volumen del bulbo y del tallo, él ignoró las observaciones de Fahrenheit relativas al efecto de la presión atmosférica en el punto de ebullición y no corrigió por esta variable.¹¹

(f) La escala Réaumur

Podemos resumir el análisis de más arriba como sigue. Réaumur usó el punto de ebullición del agua no para fijar un punto fijo superior en su escala, sino para estandarizar el fluido termométrico. En la llamada "escala Réaumur", tal como fue utilizada en la parte final del siglo XVIII para los termómetros de mercurio, el punto de fusión del hielo fue tomado como 0° y el punto de ebullición del agua como 80°. En otras palabras, la versión original de la escala representó un retorno a las escalas con solo un punto fijo (0° para el punto de fusión del hielo). La expansión volumétrica de una parte en mililitros del fluido termométrico

(alcohol) indicaba una temperatura de un 1° y así sucesivamente. Obviamente que las temperaturas definidas de esta manera dependían de las propiedades de la disolución alcohólica utilizada. Réaumur estaba consciente del problema, pero desgraciadamente las instrucciones que dio para calibrar su termómetro eran tan largas y complicadas que muy pocos fueron capaces de seguirlas.

La mayoría de los fabricantes de termómetros de mercurio en París no tomaron en cuenta la definición del grado dada por Réaumur y procedieron a graduar sus instrumentos usando dos puntos fijos, la temperatura de fusión del hielo y la de ebullición del agua. Ellos no se molestaron en leer los artículos publicados por Réaumur y por eso, fijaron el punto de ebullición del agua en 80°. Sea como sea, a fines del siglo XVIII, la escala Réaumur que originalmente había sido definida con un solo punto fijo se había transformado en una escala con dos puntos fijos (0 y 80° R).¹²

La graduación de Réaumur estuvo vigente en Francia hasta el primero de abril de 1794 cuando el gobierno revolucionario implantó el Sistema Decimal. A pesar de esta decisión, los termómetros de Réaumur siguieron siendo usados en Francia y la Europa central por más de un siglo.

RÉAUMUR Y LA ENTOMOLOGÍA

Réaumur fue uno de los grandes naturalistas de su tiempo y un pionero de la investigación entomológica aplicada. A pesar de sus múltiples actividades, Réaumur decidió embarcarse en la que sería su principal contribución científica, el estudio de los insectos, que eventualmente lo convertiría en uno de los fundadores de la entomología. Réaumur publicó los resultados de sus investigaciones en los seis volúmenes de un tratado llamado "Memorias para Servir a la Historia de los Insectos" (*Mémoires pour servir à l'Histoire des Insectes*, 1734-1742), un trabajo monumental que contenía cerca de 4 000 páginas. En él hay una descripción de la apariencia, hábitos y ubicación de todos los insectos conocidos. Este trabajo es un ejemplo de un espíritu observador y minucioso. Por ejemplo, Réaumur observó y describió la extraordinaria capacidad reproductiva de los áfidos. Los cálculos que hizo lo llevaron a concluir que si los descendientes de un solo áfido fueran capaces de sobrevivir un verano y se

les arreglara en formación de cuatro en cuatro, como a los soldados franceses, la línea tendría una extensión de 44 720 km, más que suficientes para cubrir la circunferencia ecuatorial.

La parte más leída del libro de Réaumur sobre la historia natural de los insectos es sin duda sus nueve memorias sobre las abejas. Réaumur dedicó una gran cantidad de tiempo, esfuerzo y experimentación a la observación de estos insectos sociales. Sus descripciones son extremadamente detalladas y precisas e incluyen los experimentos más ingeniosos que realizó en toda su vida. Réaumur trató incluso de determinar los medios de comunicación entre las abejas. La perfección geométrica de las celdas hexagonales le causó tal impresión que incluso llegó a proponer que ellas fueran utilizadas como la unidad ideal de medida.

Réaumur ha sido descrito por Sarton¹³ como uno de los más grandes biólogos y científicos de la primera mitad del siglo XVIII. De acuerdo con Thomas Henry Huxley (1825-1895) "Desde los tiempos de Aristóteles hasta hoy día, yo conozco solamente un hombre que puede ser igualado a Darwin en un campo de la investigación, y ese hombre es Réaumur."

Con seguridad se puede afirmar que Réaumur fue el fundador de la entomología económica y de la etología y que también fue el primer estudioso del instinto. El punto débil de sus trabajos sobre insectos lo constituye la clasificación que hizo de ellos. Aun así, no debemos olvidar que su trabajo fue realizado antes de Linneo y que en su época la clasificación de los animales, especialmente las especies inferiores, era extremadamente caótica. Por ejemplo, para Réaumur y otros naturalistas de su tiempo, la categoría "insectos" incluía no solo los gusanos, pólipos, moluscos, arácnidos, miriápodos y crustáceos, sino también, los reptiles. Así, Réaumur llamó al cocodrilo insecto (!), haciendo el comentario de que era un insecto muy fiero. Réaumur clasificó a los insectos de acuerdo con sus actividades, esto es, su clasificación fue etológica.¹³

RÉAUMUR Y LA FISIOLÓGIA

En sus últimos años Réaumur se dedicó al estudio de la digestión y usando experimentos muy hábiles pudo demostrar la acción disolvente de los jugos gástricos. El proceso

de digestión había estado en discusión por más de un siglo. En la época de Réaumur los científicos se dividían entre aquellos como Giovanni Borelli (1608-1679) que creían que la digestión era un proceso mecánico y los que como Franciscus Sylvius (1614-1672) creían que se trataba de un proceso químico.

Réaumur decidió someter estas teorías a una prueba exoexperimental. En una primera corrida experimental alimentó diversos pájaros con granos de avena encerrados dentro de tubos pequeños de vidrio y encontró que los tubos se quebraban en el aparato digestivo. En una segunda corrida usó los mismos tubos, esta vez vacíos y demostró que su quiebra no se debía al hinchamiento de la avena. La siguiente serie experimental fue realizada con un milano, un pájaro que acostumbra a vomitar todo material que le resulta indigestible. De alguna manera consiguió convencer a estos pájaros de que se tragaran dos tubos metálicos llenos de carne y con los extremos cerrados con malla de alambre. Dado que los pájaros no podían digerir los cilindros, los vomitaban después de un tiempo, lo que permitió a Réaumur examinar su contenido. Réaumur encontró que la carne se había disuelto en forma parcial y que los tubos la habían protegido de un proceso de molienda. Además, el tubo contenía un fluido amarillo amargo y ácido. Para obtener muestras más grandes de jugo gástrico, Réaumur llenó los tubos con pedazos de esponja en vez de carne. El fluido gástrico resultó ácido al papel de litmus y capaz de disolver la carne sin pudrirlo. En comparación, la carne sin este fluido se pudría. En base a estos resultados Réaumur concluyó que el origen de la disolución de la carne era un proceso químico, probablemente causado por los reactivos presentes en el jugo gástrico. Estudios adicionales con jugo gástrico tomado de animales vivos sirvieron para convencer a Réaumur de que estos jugos eran suficientemente potentes para disolver la carne. Sus experimentos con el esófago de pájaros demostraron que la acción mecánica también desempeñaba un papel importante en el mecanismo digestivo de ciertos organismos.

Los resultados de Réaumur publicados en 1752,¹⁴ marcan el primer hito importante en el estudio experimental de la fisiología de la digestión.

Posteriormente, Réaumur trató de probar que la digestión podía te-

ner lugar tanto fuera como dentro del cuerpo, como debiera ser si se trataba de un proceso básicamente químico. Para tales propósitos, mezcló granos molidos o carne con jugo gástrico y los dejó en contacto por varias horas a la temperatura del cuerpo. Repitió estos experimentos varias veces y concluyó que "con respecto a la disolución o digestión fuera del cuerpo vivo, el jugo gástrico no presenta propiedades diferentes de las de la leche, mucílago, u otro fluido blando".¹⁵

RÉAUMUR Y LA METALURGIA¹⁶

Hemos mencionado ya que Réaumur decidió dedicar algunas de las primeras monografías de la enciclopedia *Descriptions des arts et metieres* a las técnicas utilizadas por la industria del hierro, un sector productivo en el cual Francia era totalmente dependiente del extranjero, especialmente, de Alemania cuyos aceros eran de mucha reputación.

Réaumur destacó que los antiguos maestros herreros habían evitado usar temperaturas de horno muy elevadas porque sabían que en esas condiciones el hierro absorbía carbón del que era muy difícil deshacerse después. Si el hierro se fundía durante el proceso de fabricación significaba que la corrida había fallado. Réaumur se dio cuenta de que el hierro era blando porque contenía demasiado poco carbón y que el acero moldeado era frágil porque contenía demasiado carbón. Por otra parte, el acero era una mezcla ideal de los dos materiales, la que podía ser variada para obtener las propiedades deseadas. En 1729 Réaumur realizó una serie de experimentos para determinar la mejor proporción hierro-carbón en el acero.

En 1722 Réaumur publicó su primer gran estudio técnico titulado *L'Art de Convertir le Fer Forgé en Acier, et l'Art d'Adoucir le Fer Fondu, ou de Faire des Ouvrages de Fer Fondu Aussi Finis que le Fer Forgé* (El Arte de Convertir el Hierro Forjado en Acero y el Arte de Fabricar Hierro Dúctil Moldeado o de Fabricar Hierro Moldeado con un Acabado de Hierro Forjado. Una versión inglesa de este libro fue publicada en 1956).¹⁷ Este tratado contenía casi 600 páginas de texto y fue dedicado al Duque de Orléans. El tratado comienza con una descripción de lo poco que se sabía en forma pública de los procedimientos de fabricación del acero moldeado y su conversión al acero, y sigue luego, con el detalle

de los experimentos realizados por Réaumur. De acuerdo con éste, en los tiempos antiguos el hierro era producido calentando una mezcla de mineral con carbón. Terminado este proceso los trozos sólidos resultantes (flores de hierro) eran forjados a la forma deseada. Posteriormente, se descubrió que la inyección de aire en el horno permitía obtener el hierro en forma líquida, el cual podía ser moldeado fácilmente. Con el fin de convertir el hierro forjado en acero (en términos modernos: aumentar el contenido en carbono) hacía falta un proceso de cementación (carburiación). La manera de efectuar la carburación era mezclar los bloques de acero con carbón y luego, calentarlos en recipientes sellados, por dos o tres semanas.

Réaumur realizó un gran número de experimentos empíricos buscando la mejor combinación de material para el proceso de cementación. El resultado final fue que la mejor mezcla estaba constituida de una parte de carbón (*charbon pillé*), dos partes de hollín de chimenea (*suye de cheminée*), una parte de cenizas (*cendre*) y tres cuartos de una parte de sal de mar (*sel marin*). Réaumur utilizó sus resultados experimentales para explicar la diferencia entre hierro y acero: El hierro forjado difería del acero en que este último era obtenido a partir del primero por la disolución y difusión de "sales y azufre", lo que en términos modernos llamamos "carbón". Asimismo, Réaumur concluyó que el acero no era una forma más refinada del hierro, sino una forma impura interpenetrada por partículas sulfurosas y salinas (*"l'acier loin d'être un fer plus affiné, un fer pur, comme on l'a voulu jusqu'à présent, n'est qu'un fer plus pénétré des parties sulfureuses et salines, et dont les molécules sont plus petites, mieux charpiés que celles du fer ordinaire"*). En su publicación Réaumur describió también cómo transformar el hierro fundido en dúctil por calentamiento con carbón de huesos u otras sustancias.

El tratado de Réaumur es considerado un hito en la historia de la fabricación del hierro y el acero. Su aparición marca la introducción de la fabricación del acero en Francia.

Réaumur hizo también algunas observaciones importantes relativas a la relación que existe entre la estructura granular del acero y su calidad. Con el fin de "cuantificar" sus resultados Réaumur desarrolló una

escala de dureza relativa muy diferente de la que sería desarrollada muchos años más tarde (1812) por Friedrich Mohs (1773-1839), que todavía es usada por los mineralogistas.

Los resultados obtenidos por Réaumur impresionaron de tal forma al Duque de Orléans que este decidió agraciarse con una pensión de 12 000 libras anuales. Réaumur aceptó con la condición de que el dinero fuera asignado a la Academia.

Algunos años más tarde (1725), Réaumur rindió un servicio similar a la industria de la hojalata.

Alrededor de 1710 Réaumur visitó una fábrica de hojalata localizada en Beaumont-la Ferrière, Nivernais, la que ya antes había descrito en su *Descriptions des Arts et Métiers*.

Réaumur se dio cuenta de que el proceso de fabricación de la hojalata había evolucionado del proceso de estañado usado en otras profesiones. No solo eso, el proceso de fabricación era considerado como propio de los alemanes, que guardaban celosamente el secreto del arte.

Réaumur escribió varios informes sobre el arte de fabricación de la hojalata para la Academia de Ciencias.^{18,19} De acuerdo con Réaumur los procesos centrales de la fabricación, como la transformación del hierro de barras a planchas, su doblado y posterior estañado eran bien conocidos y no había mucho que agregarles. Para estañar las planchas bastaba con frotarlas con sal de amoníaco y luego sumergirlas en estaño fundido.

De acuerdo con Réaumur la etapa clave de la fabricación lo constituía la fabricación de planchas negras y la eliminación de las escamas y el óxido que poseían. Si el descamado no se realizaba como se debía, el estaño no se adhería a las planchas. Esta era la razón por la cual las primeras industrias de hojalatá producían un elevado porcentaje de rechazos (planchas no recubiertas en forma apropiada) y también porque en Alemania era costumbre sumergir dos veces las planchas en el baño de estaño. También existía el problema de remover el exceso de estaño de los extremos de las planchas.

Históricamente el primer método usado para descamar el hierro estaba basado en su limadura. Posteriormente, fue reemplazado por un tratamiento con licores ácidos en el cual las placas de hierro eran sumergidas en el licor y luego limpiadas frotándolas con arena y lavado con agua. De esta forma, "una mujer po-

día limpiar en una hora el mismo número de placas que un hombre era capaz de limar en varios días".¹⁸ En Alemania el descamado se practicaba con una pasta de harina de avena fermentada mezclada con agua. Aun cuando se podía utilizar cualquier grano, el proceso dependía totalmente de la cosecha; en años de cosecha pobre era necesario usar métodos alternativos. Sea como sea, este método era muy barato comparado con el agua fuerte, que había sido utilizado anteriormente.

El mérito de clarificar el papel de las lejías para descamar corresponde sin duda a Réaumur. Estudió el problema en forma experimental y, entre otras cosas, encontró que el vinagre era el reactivo más barato y efectivo para efectuar el proceso. Sus resultados indicaron también que el ácido sulfúrico y sus disoluciones también eran adecuados, aun más que el vinagre. Sin embargo, su uso era apropiado solo en regiones donde había un suministro barato de piritas.

Desde el punto de vista del costo, el mejor material resultó el vinagre; agregando sal amoniacal se aceleraba el proceso en forma notable. Esta mezcla se transformó rápidamente en el componente estándar y fue recomendada por la gran mayoría de los manuales prácticos del siglo XVIII. Es necesario hacer notar que a pesar de existir fuentes alternativas, el vinagre no se usaba directamente, sino como mezclas de agua y granos fermentados.¹⁸

Los métodos desarrollados por Réaumur para el descamado del hierro fueron probablemente la razón de la gran expansión posterior de la industria que llevó a Francia a ser autosuficiente en hojalata.

El alcance del tratado de Réaumur sobre la fabricación del hierro y el acero puede apreciarse en el hecho de que en un corto tiempo fue ampliamente difundido en Inglaterra.²⁰

OTRAS CONTRIBUCIONES

Réaumur realizó también experimentos notables en el área de la transmisión del calor y el enfriamiento de mezclas. Entre otras cosas demostró que la helada no impedía la evaporación de la nieve y de que el mezclado de ciertos líquidos estaba acompañado por cambios de volumen y temperatura.^{21,22} Hizo mediciones detalladas del efecto de la concentración en el volumen de la mezcla del alcohol y el agua (espíritu de vino) y del ácido sulfúrico y el agua.²¹ Estas mediciones lo llevaron

a concluir que la preparación de disoluciones acuosas estaba acompañada por una contracción del volumen y que el mayor efecto se producía en las mezclas de ácido sulfúrico. La mayor parte de sus publicaciones en esta área están dedicadas a explicar el fenómeno en base a la hipótesis de que el disolvente tiene hoyos en su estructura que son llenados por el soluto. Réaumur justificó esta explicación haciendo una comparación con el proceso de mezclado de bolas de plomo con polvo del mismo metal. Una conclusión importante de este trabajo fue que el fenómeno de contracción podía ser usado para determinar el grado de pureza del espíritu de vino utilizado en la construcción de termómetros.

Los estudios de Réaumur en el área de la disminución del punto de fusión del hielo por sales²² son interesantes no solo por las mediciones que reportan, sino también, porque discuten la supervivencia de insectos y peces bajo condiciones de temperatura bajo cero. De acuerdo con Réaumur la capacidad de supervivencia dependía de cuán acuosa era la sangre y que la razón por la cual ciertos insectos morían en el invierno era porque su sangre no fluía o se congelaba. Réaumur ilustró sus conclusiones midiendo el porcentaje de supervivencia de diversas orugas en condiciones tales como a temperatura bajo cero.

CONCLUSIONES

Réaumur contribuyó con trabajos científicos importantes en muchas áreas y ha sido considerado uno de los científicos más destacados de la primera mitad del siglo XVIII, así como uno de los 103 miembros más notables de la Academia de Ciencias de Francia. De acuerdo con McKie³ la profundidad y el ámbito de la investigación realizada por Réaumur justifican plenamente que se le haya apodado el Plinio del siglo XVIII.

BIBLIOGRAFIA

1. Torlais J. Un Esprit Encyclopédique en dehors de l'Encyclopédie, Librairie Scientifique et Technique Albert Blanchard, Paris, 1961.
2. De Fouchy G. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 201-216, 1757.
3. McKie D. *Sci. Progress*, 45, 619-627, 1957.
4. Torlais J. *Revue d'Histoire des Sciences*, 11, 1-12, 1958.
5. Réaumur R.A.F. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 197-211, 1708.

6. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* 149-162, 1709.
7. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* 185-192, 1711.
8. Trembley M. *Correspondance Inédite entre Réaumur et Abraham Trembley*, Georg et Cie, Librairie de l'Université, Genève, 1943.
9. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* 452-507, 1730.
10. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 250-296, 1731.
11. Barnett M.K. *Osiris*, 12, 289-341, 1958.
12. Birembaut A. *Revue d'Histoire des Sciences*, 1, 302-329, 1958.
13. Sartori G. *Isi*, 9, 445-446, 1927.
14. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 266-307, 1752.
15. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 461-495, 1752.
16. Birembaut A. *Revue d'Histoire des Sciences*, 11, 133-166, 1958.
17. Sisco Annelie Grünhaldi, Réaumur's Memoirs on Steel and Iron, A Translation from the Original Printed in 1722. xxxix+396 pages, 17 pl., the University of Chicago Press, Chicago, 1958.
18. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 102-130, 1725.
19. Gibbs F.W. *Annals of Science*, 7, 114-116, 1951.
20. Ruttly R. *Phil. Trans.*, 35, 630-637, 1728.
21. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 165-185, 1733.
22. Réaumur R.A.F. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 165-195, 1734.

NURT-2001

III INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NUCLEAR & RELATED TECHNIQUES

Havana, Cuba, October 22-26.

TENTATIVE PROGRAMME

TRACE AND MICRO ANALYSIS TECHNIQUES

Current trends in the development of nuclear and related analytical techniques.
II Workshop of the Latin American Network on TXRF: Standardisation, Calibration and Traceability, Intercomparison Exercises; Environmental, Health and Industrial Applications.
Applications in environmental studies: Bio-monitoring, Heavy metal pollution, Speciation studies, Radioactivity monitoring.

NUCLEAR TECHNIQUES IN THE STUDY AND CONSERVATION OF GOODS OF THE CULTURAL HERITAGE

INAA in the study of archaeological findings: Provenance, Mobility of goods and people, Transculturation, and other studies.
Application of X-ray emission techniques: PIXE, EDXRF, μ XRF, EPMA, μ XRF; Portable equipment and laboratory techniques.
XRD, the Gamma and X-ray radiography technique in conservation and restoration studies.
Irradiation techniques in the conservation and sterilisation of museum collections.

APPLIED RADIATION PHYSICS

Modification and characterisation of materials using low energy accelerators.
Boron Neutron Capture Therapy.
Identification of explosives and drugs using Nuclear Techniques.
Monte Carlo modelling of radiation transport in applied research.
New trends in the development of instrumentation and software for nuclear spectroscopy.

APPLIED ELECTRONICS

Detectors: New trends in the design of Scintillation and semiconductor detectors; applications in health, environmental and industrial studies.
Applications of VLSI electronic devices and associated software to Medical Physics and Environmental Studies.
Imaging techniques.

RADIATION TECHNOLOGIES

Dosimetry: Development, Calibration and Traceability of Dosimetry Systems; Dosimetry Standards and Intercomparison Exercises; Studies on the factors affecting the answer of the Dosimetry Systems; Process Validation.
Polymer Processing: Modification, Cross-linking, Degradation and other applications.
Environment Applications: Cleaning of fuel gases; Wastewater and Drinking water treatment; Sludge treatment procedures.
Health Applications: Radiation sterilisation of medical-pharmaceutical products, raw materials, medicinal herbs and biological tissues; Development of Biomaterials for diagnostic and therapeutic purposes; Synthesis of Hydrogels for medical applications, among others.

PLANT MUTATION BREEDING AND GENETIC TECHNIQUES

Plant mutation breeding and genetics: Plant mutagenesis; Combined use of biotechnological and induced mutation techniques for plant breeding and genetic diversification of food and industrial crops in developing countries; Molecular genetics for the characterisation of induced mutation in plants; Molecular markers for genetic diversity analyses, genotype identification and validation in food and industrial crops, the use of DNA molecular markers for marker assisted selection in mutation breeding.

For further information, contact to:

Dr. Ramón Padilla Alvarez
 Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo de la Energía Nuclear, La Habana, Cuba.
www.ceaden.cu padilla@ceaden.edu.cu