

II

Dos hidrólogos: Antoine Lavoisier y Svante Arrhenius

Estos químicos, que dos de sus descubrimientos relacionados con el agua sirven para enmarcar este trabajo, tienen unas biografías muy interesantes, en este caso su importancia en el mundo de la Ciencia radica en que sus aportaciones fundamentaron el inicio de dos épocas determinantes para el desarrollo de la Química.

A parte de su actividad como químicos, yo les califico de hidrólogos, aun a sabiendas de que esta afirmación no satisfará a los historiadores de la Ciencia que los colocan en otros apartados. Algo parecido me ocurrió cuando, en noviembre de 1994 y en las Jornadas Nacionales de la Sociedad Española de Hidrología Médica celebradas en Madrid, presenté una pequeña comunicación titulada “En memoria de un Hidrólogo”, dedicada a **Linus Carl Pauling** (1901-1994) uno de los primeros químicos cuánticos, que acababa de fallecer en agosto de aquel año (21).

Recuerdo la cara de cierta extrañeza en los componentes de la mesa presidencial, pues seguramente el químico norteamericano les era más familiar como premio Nobel de Química concedido en 1954, por sus trabajos donde describía la naturaleza de los enlaces químicos y por sus estudios sobre las proteínas, como descubridor de la hélice alfa o incluso como defensor de las dosis masivas de vitamina “C” como remedio oncológico.

A parte de destacar mi admiración particular por el profesor **Linus Carl Pauling**, expuse su aportación al conocimiento de la estructura del agua, basada en los llamados clatratos de agua y en la masiva presencia de puentes de hidrógeno entre moléculas, pues él fue un gran conocedor de este tipo de enlace. Su contribución al conocimiento de dicha estructura le permitía ser considerado un hidrólogo, pero sus trabajos en muchas otras ramas de la Ciencia difuminaban esta faceta investigadora.

Algo parecido ocurre con **Antoine Laurent Lavoisier** y **Svante August Arrhenius**, considerarlos como hidrólogos, parece casi un demérito, pues la ciencia los sitúa en otros campos aparentemente más notables, pero no debemos olvidar que sus descubrimientos permitieron conocer mejor el agua y sus propiedades y esta sustancia es sin duda la más importante para la vida.

Estos dos personajes no llegaron a coexistir y sus biografías tienen pocos puntos comunes, salvo su pertenencia al mundo de la Química, como pequeño homenaje a estos grandes científicos daremos ahora unas notas biográficas, siempre profundizando en aquellas situaciones en que su trabajo fue más cercano a la Hidrología.

ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER

Nació en París en 1743, hijo de un abogado y consejero parlamentario de posición acomodada que le dio una excelente educación en el Colegio Mazarino recibiendo a los veinte años el título de bachiller en leyes, y posteriormente la licencia para ejercer el derecho, pero no era esa su vocación y su mente inquieta lo llevó hacia otros campos de la Ciencia.

Estudió botánica con **Bernard de Jussieu** (1699-1777) y química con **Guillaume François Rouelle** (1703-1770) y en 1765 presentó ante la Academia de Ciencias de París su primer trabajo relacionado con la química, dedicado al análisis del yeso.

Con sólo veinticinco años fue admitido, en 1768, en la Academia Francesa como adjunto supernumerario y comenzó a trabajar como asistente en uno de los departamentos recolectores de impuestos del gobierno, la Ferme Générale.

Con 27 años leyó ante la Academia una memoria sobre la naturaleza del agua y su imposibilidad de transformarse en tierra, una de sus primeras y grandes aportaciones al conocimiento de este líquido.

Por su interés para nuestra historia describiremos ahora las experiencias previas que **Antoine Laurent Lavoisier** tuvo que rebatir, dos ideas muy en boga todavía en su tiempo, basadas en la importancia de su preconizador, **Johannes Baptista van Helmont** (1579-1644) que creyó en su momento demostrar que el agua era realmente el origen de la materia inorgánica y de la sustancia viva.

El belga **Johannes Baptista van Helmont** se consideraba un *Philosopus per ignem*, un alquimista, aunque en realidad era un iatroquímico, que rechazando la idea aristotélica de los cuatro elementos consideró al agua como la materia prima de nuestro Universo, al ser mencionada en la Biblia como el caos primordial anterior al resto de la Creación. Para él todos los cuerpos constan de una sustancia inerte, el agua, dotada de un *archeus* que les confiere sus propiedades químicas, por lo que aquella, es el único elemento común.

Para demostrar esta teoría hizo dos experiencias, bien preparadas y realizadas, que desgraciadamente le condujeron a resultados erróneos. En la primera, el conocido experimento del sauce, un plantón del arbolillo aumentó su peso en 95 kilogramos en los cinco años que recibió solamente agua de lluvia para su manutención y en la segunda vislumbró la conversión del agua en tierra cuando sometió al líquido a repetidas destilaciones.

Al científico belga le parecieron pruebas irrefutables de su teoría, pues había conseguido materia orgánica e inorgánica a partir sólo de agua y así lo describió en el primer caso: *“Tomé una maceta de barro en la que puse 200 libras de tierra previamente secada en un horno. Planté en ella un esqueje de sauce que pesaba 5 libras. Al cabo de cinco años el árbol que desarrolló pesaba 169 libras y unas tres onzas. Cuando era preciso regaba con agua de lluvia o destilada la maceta. Finalmente saque la tierra y halle las mismas 200 libras menos unas dos onzas. Por consiguiente, las 164 libras de madera provenían solo del agua”*. (17)

En cuanto a la formación de tierra a partir de agua sus instrumentos de vidrio le jugaron una mala pasada, pues al no tener la calidad de nuestros actuales materiales se fueron descomponiendo durante las destilaciones. No era el único en creer en estas ideas y todavía en 1764 **C. A. Gerhard** publicó la obra del químico alemán **Johann Theodor Eller**, (1689-1760) quien sostuvo públicamente que el fuego o el flogisto podían transformar el agua en tierra o en aire.

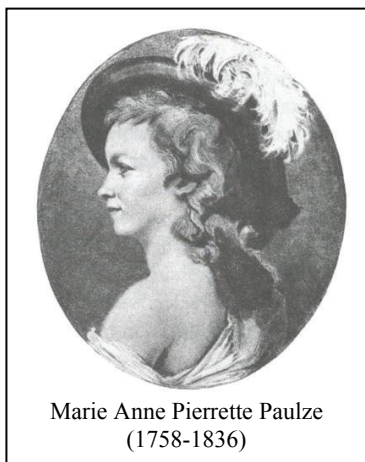
El trabajo más significativo de **Van Helmont** fue con los gases y más concretamente con el anhídrido carbónico, tan relacionado con las aguas mineromedicinales y que el belga supo diferenciar del aire ordinario e identificarlo con el generado durante la combustión de sustancias como el carbón vegetal o el alcohol, la fermentación del jugo de uva y la acción del vinagre sobre las conchas marinas, llamándole gas silvestre.

Ya en 1768 **Antoine Laurent Lavoisier** refutó esta creencia de que el agua se convierte en tierra por repetidas destilaciones en recipientes de vidrio. Para ello introdujo una cantidad de agua de lluvia en un recipiente cerrado llamado *pelicano*, un alambique que disponía de unos conductos que retornaban el vapor generado a la parte inferior, y lo calentó a ebullición durante ciento un días.

Trascurrido este tiempo pesó primero, cuidadosamente, el destilador completo comprobando que la masa no había variado y por lo tanto el fuego no había creado nada, luego el agua, que tenía el mismo peso que el agua de lluvia introducida originalmente y finalmente el conjunto del residuo sólido formado y el aparato de destilación que mantenían su peso. La pérdida de peso del matraz era exactamente igual al residuo formado, demostrando que la materia sólida provenía del recipiente

y no del agua. En 1770 comunicó los resultados de su experiencia a la Academia francesa. (189)

En 1771 se casó con la joven **Marie Anne Pierrette Paulze** (1758-1836) que además de sus conocimientos de inglés y dibujo, con los que lo ayudó en sus publicaciones, le aportó una importante dote con la que instaló un magnífico laboratorio.



Marie Anne Pierrette Paulze
(1758-1836)

Poco tiempo después, en 1773, realizó su primera publicación, “Opuscles Physiques et Chimiques”. En este libro describió cómo en la calcinación de los metales sólo se usa una porción del aire, ya que éste es en realidad una mezcla de dos gases, llegando a la conclusión que el elemento activo era el “aire desflogisticado” de **Joseph Priestley** (1733-1804) el oxígeno, que se absorbía y quedaba el “aire no vital”, el nitrógeno. Demostraba que al combinar el “aire desflogisticado” con carbón se produce “aire fijo”, dióxido de carbono, que había sido obtenido ya por el químico **Joseph Black** (1728-1799) en 1754.

En 1783 anunció a la Academia que el agua era el producto de la combinación de hidrógeno “aire inflamable” con el oxígeno. No era una novedad pues varios científicos ya habían realizado anteriormente experiencias suficientes para poner de manifiesto esta importante realidad.

Lord **Ritchie Calder** en un artículo publicado en “Investigación y Ciencia” en 1982 cuenta cómo en el caso de la demostración de la verdadera composición del agua, no fue **Lavoisier** su primer realizador, parece ser que el químico francés, **Pierre Joseph Macquer** (1718-1784) fue el pionero en constatar la posibilidad de obtener agua por combustión del hidrógeno. (205)

Este científico después de graduarse en la Facultad de Medicina de París, estudió química con **Guillaume François Rouelle** el mismo profesor que tuvo más tarde **Lavoisier**, siendo elegido en 1745 miembro de la Académie des Sciences. Escribió unos “Elémens de Chymie théorique y Élémens de Chymie pratique” aparecidos en 1749 y 1751 respectivamente que tuvieron gran éxito y que fueron reeditados en varias ocasiones, siendo traducidos al castellano en 1784, utilizándose para la enseñanza de la química en la Universidad de Valencia. El texto contiene una selección de los conocimientos químicos de la segunda mitad del siglo XVIII, con explicaciones basadas todavía en la teoría del flogisto.

Hay que destacar que fueron muchos los científicos que trabajaron simultáneamente en este descubrimiento, y así ya en el año 1783 **Joseph Priestley** comunicó a **James Watt** (1736-1819) que el peso del agua formada era igual al peso de los dos gases, **Watt** replicó inmediatamente que el experimento mostraba que el agua no era un elemento, sino un compuesto.

En algunos casos la obstinación de algunos investigadores como **Joseph Priestley** con el flogisto, principio del fuego, le impidió apreciar el significado de sus propios hallazgos, incluido el que describió como un mero experimento al azar, realizado para entretener a un pequeño grupo de amigos filósofos que habían constituido una sociedad privada, *de la que hicieron el honor de hacerme miembro*, la Sociedad Lunar. En el experimento **Joseph Priestley** había hecho estallar aire inflamable, hidrógeno y aire desflogisticado, oxígeno, con una chispa eléctrica, produciéndose rocío en el recipiente de vidrio. (205)

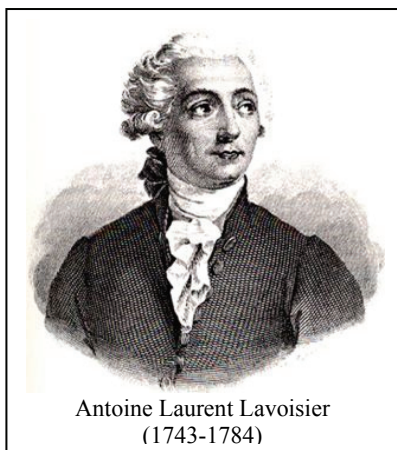
Esta técnica, que también había utilizado el aristócrata **Henry Cavendish** (1731 -1810), había sido inventada por el pionero de la electricidad **Alessandro Volta** (1745-1827) y luego utilizada por el profesor **Jon Warltire** (1725/6-1810), un amigo de **Joseph Priestley**, que posteriormente realizó experimentos similares. *“Según esta técnica, mediante una chispa eléctrica se hacía explotar una mezcla de hidrógeno y oxígeno en recipiente cerrado sellado, de cobre o de cristal. Jon Warltire observó atinadamente que el interior del recipiente de cristal quedaba cubierto de gotas después de la explosión, pero ni él ni Joseph Priestley, se dieron cuenta de lo que significaba”*. (127)

Quedó para **Henry Cavendish** describir la composición del agua, aun en términos del flogisto, en la Royal Society en 1784 y para **Antoine Laurent Lavoisier** mostrar que **Cavendish** se había equivocado al pensar que el elemento agua preexistía en los gases y redefinir dicho supuesto elemento en función del oxígeno y del hidrógeno.

Sabemos que **Lavoisier** realizó también la síntesis del agua a partir de sus elementos, pero tanto en esta experiencia como en sus investigaciones sobre la composición del aire, oscureció deliberadamente los trabajos de sus antecesores, sobre todo el de **Henry Cavendish**, hecho que empaña la gloria de **Lavoisier** y que todavía es causa de discusión entre los químicos. (251)

El 21 de abril 1784 **Lavoisier** leyó ante la Academia Francesa una memoria en la que relataba un experimento realizado el 24 de junio de 1783 ante el rey **Luis XVI** (1754-1793), **Charles Blagden** (1748-1820) y algunos miembros de la Academia. Junto con **Pierre Simon Laplace** (1749-1827) aplicó una descarga eléctrica a una mezcla de hidrógeno y oxígeno que generó varias gotas de agua. Posterior-

mente continuó su explicación en otro trabajo titulado “Memoria donde se prueba, por la descomposición del agua, que este fluido no es en absoluto una sustancia simple, y que existen numerosos medios de obtener el aire inflamable que forma parte de ella como principio constituyente”. (189). (150)



Antoine Laurent Lavoisier
(1743-1784)

Este es el motivo por el que tomamos esta fecha de, 1784, como origen de nuestro trabajo, **Antoine Laurent Lavoisier** era lo que hoy llamaríamos un buen comunicador y un año más tarde preparó una experiencia espectacular ante un escogido auditorio, incluidos políticos y académicos, en la que durante dos días sintetizó y descompuso el agua. Era el broche final de la llamada *controversia del agua*, que durante muchos años mantuvo implicados a varios e importantes investigadores de varios países, lo que no cabe duda es que la mejor prueba experimental de la composición del agua la dio **Cavendish** y que la primera explicación correcta la ofreció

Lavoisier. (146), (188), (144).

Resulta interesante en esta introducción destacar la figura del físico y químico inglés **Sir Charles Blagden**, presente en la demostración pública de **Lavoisier**, y que por sus experiencias constituye un enlace entre las de los dos científicos que hemos tomado como fundamento de las fechas inicial y final de este trabajo,

Había estudiado medicina en Edimburgo, siendo alumno de **Joseph Black** ejerciendo de oficial médico en el ejército británico hasta 1814. A pesar de esto entabló buenas relaciones con los científicos franceses más importantes de la época, sobre todo con **Claude Berthollet** (1748-1822) y parece que le contó a **Lavoisier** la síntesis realizada por **Cavendish**.

El trabajo de **Sir Charles Blagden** se centró en la congelación de disoluciones salinas. En 1788 descubrió la ley que lleva su nombre, que dice que: “*la reducción del punto de fusión de una disolución es proporcional a la concentración de soluto*”, una propiedad coligativa, el descenso crioscópico, cuyos resultados no pudieron entenderse hasta que **Svante Arrhenius** explicó el proceso de disolución de las sales.

Volviendo a la biografía de **Lavoisier**, encontramos que junto con un grupo de químicos franceses, publicó en 1787 el “*Méthode de Nomenclature Chimique*”, en donde se clasificaron y renombraron los elementos y compuestos conocidos. Como

un apunte de la situación de la Química en España, podemos decir que, el libro fue traducido al castellano por **Pedro Gutiérrez Bueno** (1745-1826) sólo un año después de su edición, en 1788.

El conocido “*Traité élémentaire de Chimie*”, fue publicado por **Antoine Laurent Lavoisier** en 1789, y en el introdujo su nuevo enfoque de la química. Definió como elementos aquellas sustancias que no pueden descomponerse en otras más simples y estableció su ley de conservación de la masa en las reacciones químicas. (144).

El profesor **Rafael Sáez y Palacios** (1808-1883) decía en su discurso de 1877: *“El mérito de Lavoisier es extraordinario, pero este mérito no está precisamente en los muchos que hizo, sino en el partido que supo sacar de los conocimientos amontonados o dispersos que poseía ya la ciencia. En efecto, apoderose de los descubrimientos de sus antepasados, de los de sus contemporáneos y con los muchos que a él sólo pertenecían, y con los bríos de un gran reformador crea teorías fundadas en hechos perfectísimamente demostrados.”* (221)

En plena Revolución Francesa, en 1793, comenzó el Reinado del Terror, se suprimió la Academia de Ciencias y, se ordenó el arresto de los antiguos miembros de la Ferme Générale con lo cual **Lavoisier** quedó desamparado. **Jean Paul Marat** (1743-1793), médico y poderoso cabecilla revolucionario, lo acusó de haber participado en complots absurdos y exigió su muerte, paradójicamente, el acusador fue asesinado en julio de 1793 en su propia bañera. Se cree que la especial inquina con la que **Marat** atacó a **Lavoisier** era debida a que éste había desacreditado públicamente un tratado escrito por el médico.

Después de un juicio poco justo, que duró menos de un día, un tribunal revolucionario condenó a **Lavoisier** y a otras 27 personas más a la pena de muerte, realmente fue víctima de la condena que cayó sobre los *fermiers généraux*, un cuerpo de recaudadores encargado de recoger los impuestos sobre el tabaco y la sal.

Lo defendió en el tribunal un químico llamado **Loisele**, esforzándose en demostrar su inocencia; expuso que había servido con lealtad a la revolución, puso de manifiesto los servicios prestados y terminó pidiendo la absolución. Sólo se oyó la voz del fiscal general, **Fouquier Thinville** (1746-1795) pronunciando las terribles palabras: *“Ya no necesitamos sabios”*. (221)

Se ha censurado a la Academia de Ciencias de París por no haber defendido corporativamente a uno de sus miembros más importante, se criticó a **Antoine François Fourcroy** (1755-1809), miembro muy influyente en la Convención, el

que no actuara para salvar a su colaborador y amigo, se acusó a **Louis Bernard Guyton de Morveau** (1737-1816), también miembro de la Convención de haber utilizado su influjo para salvar a otros científicos y no haber hecho nada por **Lavoisier**. El astrónomo **Joseph Lalande** (1732-1807) fue el único dispuesto a emplear su influencia, pero en aquellas circunstancias poco podía valer el esfuerzo de un solo hombre ante la barbarie desatada.

La misma tarde del juicio fue guillotinado, junto con su suegro, un 8 de mayo de 1794 en la Place de la Révolution, hoy día Plaza de la Concordia. Su amigo el célebre matemático **Joseph Louis Lagrange** (1736-1813) diría una frase que hoy es célebre: *“un segundo bastó para separar su cabeza del cuerpo, pasarán siglos para que una cabeza como aquélla vuelva a ser llevada sobre los hombros de un hombre de ciencias”*.

Los trabajos escritos de **Lavoisier** sufrieron los avatares propios de tan agitada época y su publicación completa no se ha conseguido casi hasta nuestros días. Su esposa reunió muchos escritos y la correspondencia, legándolos a una sobrina, esposa de **Léon de Chazelles**, quien, en 1846, una vez catalogados los donó a la Academia de Ciencias.

La publicación de sus obras completas se inició en 1836, cuando **Jean Baptiste Dumas** (1800-1884) secretario perpetuo de la Academia de Ciencias, prometió públicamente que serían editadas con cargo al estado para reparar la injusticia cometida, apareciendo el primer volumen en 1862 y el último en 1893.

Esta labor encontró abundantes dificultades y peripecias que provocaron la dispersión de numerosos manuscritos, hasta que el coleccionista y químico norteamericano **Denis Duveen** (1910-1992) adquirió una buena parte de ellos y los expuso en 1952 elaborando una bibliografía completa de las obras de **Lavoisier**. Esta colección fue puesta a la venta y adquirida por la Cornell University en 1960. (17)

En 1955 el Comité Lavoisier, confió al químico **René Fric** el trabajo de publicar íntegramente la correspondencia, franqueándosele el acceso al legado Chazelles y permitiendo que se llevara a su domicilio, en Clermont Ferrand, cartas pertenecientes a la Academia. La familia Chabrol, heredera de los Chazelles, entregó, en 1991, a la Academia la correspondencia privada del científico, salvo algunas cartas que la Señora Chazelles había vendido a la Universidad de Cornell. En aquel momento se desconocía el paradero de las cartas entregadas a **Fric**, ¿estaban perdidas para siempre?

En 1992, al derribar una casa antigua, en un armario, aparecieron unas cartas viejas que se identifican como escritas por **Lavoisier**, los documentos se devolvieron a la Academia, la casa pertenecía a **René Fric**. A la institución francesa han vuelto 214 borradores, 87 cartas dirigidas al químico y 45 documentos varios, esta vez la suerte estaba de parte de la Historia. (9)

En los últimos años han surgido varios proyectos de edición electrónica de las obras de Lavoisier, el más importante es el Panopticon Lavoisier un portal con acceso abierto a los manuscritos, instrumentos, publicaciones e imágenes relacionadas con el científico y la revolución química. (52)

Por parte de nuestro país podemos decir que sólo cuatro años después de la muerte del Lavoisier la Imprenta Real de Madrid publicó el “Tratado elemental de química” en 1798, traducido por don **Juan Manuel Munárriz**; una edición castellana anterior había aparecido en México.

Hemos repasado la biografía del químico francés, principalmente desde el punto de vista de su aportación a la hidrología, en donde hizo importantes aportaciones no exentas de ciertas polémicas, situación que se extendió al descubrimiento del oxígeno. Una obra de teatro “Oxygen” estrenada en 2001, de **Carl Djerassi** y **Roald Hoffmann**, pone en escena a **Carl Wilhelm Scheele** (1742-1786), **Priestley** y **Lavoisier** convocados por el rey de Suecia para decidir quién debe ser honrado como el verdadero descubridor, el primero extrajo el gas, el segundo publicó su existencia pero sólo **Lavoisier** comprendió lo que habían descubierto. (134)

Antoine Laurent de Lavoisier es una referencia obligada para la química, convirtiéndose incluso en un mito, y es innumerable la literatura escrita sobre él, de la que cabe destacar las obras de cuatro importantes químicos: **Jean Baptiste Dumas**, **Edouard Grimaux** (1835-1900), **Marcelin Berthelot** (1827-1907) y **Adolphe Wurtz** (1817-1884), Este fue autor de la célebre frase: “*La química es una ciencia francesa: fue constituida por Lavoisier, de inmortal memoria*”.

La figura de **Antoine Laurent Lavoisier** está recogida en varios grabados y en una magnífica pintura de **Jacques Louis David** (1748-1825) realizada en 1788, que se encuentra en el Metropolitan Musuem de Nueva York y que nos muestra al científico y a su esposa, **Marie Anne Pierrette Paulze** en un gran cuadro de 265 x 195 cm. Él, sentado frente a una mesa cubierta con un mantel rojo y en la que hay material de laboratorio, está vestido con ropas negras de finales del siglo XVIII y enseña el zapato derecho sujeto con una gran hebilla de plata, símbolo de su economía desahogada, ella, de pie, apoya su brazo izquierdo sobre el hombro de su marido, se muestra como una joven y agraciada dama vestida de blanco con un gran lazo azul en la cintura.

Esta mujer casada muy joven, a los trece años, con el científico resultó ser su gran colaboradora, fascinada por las investigaciones de su marido, aprendió química y conocedora del inglés y con una buena formación artística tradujo diversos textos científicos y realizó las ilustraciones de los aparatos de química del “*Traité élémentaire de chimie*”. (134)

En el libro de **Inés Pellón González**, “Un químico ilustrado, Lavoisier”, se incluye un retrato del químico con el texto: “*Pintura al óleo de Lavoisier, realizada en 1788 por el propio David en su taller*” (189). Al parecer, es el único retrato auténtico del científico francés y cuando falleció el pintor, el cuadro fue adquirido en 1825 por el químico y naturalista francés **François Vincent Raspail**, (1794-1878).

Observando ambos oleos parece ser que este ultimo podría ser un boceto previo al cuadro del matrimonio pues la posición de la cabeza y de los ojos, vueltos a la derecha y hacia arriba, no parecen los más adecuados para un retrato individual.

El autor del retrato **Jacques Louis David** fue un tráfugo que pintó para **Luis XVI** y luego votó por su ejecución, fue el director artístico de la Revolución francesa, y luego el propagandista del Imperio con **Napoleón Bonaparte** (1769-1821) y en nuestro asunto retrató a **Lavoisier** en su esplendor y a su perseguidor **Jean Paul Marat**, asesinado en su bañera.

El comprender fenómenos ya conocidos y saber explicarlos fue una característica de **Lavoisier** y también fue la de nuestro siguiente científico: **Svante August Arrhenius** representante de una química que ya no emergía sólo de Francia.

SVANTE AUGUST ARRHENIUS

Svante August Arrhenius nació el 19 de febrero de 1859 en Vik, finca rústica situada en las cercanías de Upsala en el condado de Sogn og Fjordane, siendo sus padres **Svante Gustav Arrhenius** y **Caroline Thunberg**.

Según cuenta Sir **James Walter** en un memorial dedicado al científico, publicado en 1928, el apellido proviene de un antecesor, **Lasse Olofsson** que en 1620 se trasladó al pueblo de Årena, la familia latinizó el apellido como Arenius, que fue modificándose en la primera mitad del siglo XIX, convirtiéndolo en **Arrhenius**, un tío de Svante, el profesor de botánica, **Johan Arrhenius**, llegó a ser secretario de la Academia de Agricultura. (257)

A la edad de tres años, aprendió a leer por sí mismo y observando los libros de contabilidad de su padre se convirtió en un prodigio de la aritmética. Disfrutaba manejando gran cantidad de datos para descubrir relaciones matemáticas entre ellos.

La familia para mejorar sus condiciones económicas se trasladó en 1860 a Upsala y **Svante** a la edad de 7 años ingresó en la escuela de la Catedral, distinguiéndose en las materias de física y matemáticas, teniendo la suerte de que el rector de la escuela fuera un buen profesor de física.

A los 17 años aprobó los exámenes de admisión de la Universidad de Upsala con la intención de seguir las enseñanzas de química que impartía el profesor **Teodor Cleve** (1840-1905) que destacaba por sus investigaciones sobre las tierras raras y los complejos amoniacales. Parece ser que el profesor no cumplió las expectativas del estudiante y **Svante Arrhenius** se trasladó en 1881 a la Universidad de Estocolmo con la intención trabajar en el laboratorio de **Erik Edlund**, (1819-1888) profesor de física en la Academia Real sueca especialista en polarización e inducción.

En la primavera del año siguiente inicia sus primeras investigaciones en solitario, sobre la disminución de la polarización galvánica en función del tiempo y en 1883 presentó a la Academia de Ciencias de Suecia una memoria acerca de la conductividad galvánica de los electrolitos.



Svante August Arrhenius
(1859-1927)

Cabe preguntarse porqué eligió esta línea de trabajo, Sir **James Walter** da una sensata opinión indicando que la Ciencia, como cualquier otras actividad humana, está sometida a modas y que en aquel entonces las propiedades de las disoluciones estaban muy en boga. **Jacobus Henricus Van'tHoff** (1852-1911) estaba muy atareado trazando las analogías entre las disoluciones diluidas y los gases; **François Marie Raoult** (1830-1901) desarrollaba métodos empíricos para la determinación de los pesos moleculares de las sustancias disueltas; **Friedrich Wilhelm Kohlrausch** (1840-1910) acababa de perfeccionar su método telefónico para determinar la conductividad eléctrica de los electrolitos y **Friedrich Wilhelm Ostwald** (1853-1932) trabajaba en las velocidades de

reacción y afinidades de ácidos y bases en soluciones acuosas.

Volviendo a nuestro biografiado **Svante Arrhenius**, tomando como base sus medidas eléctricas encaminadas a explicar el comportamiento químico de los electrolitos propuso la hipótesis según la cual, en las disoluciones, los compuestos quí-

micos disueltos están disociados en iones y su grado de disociación aumenta con la disminución de la concentración, situación que resultó ser cierta sólo para los electrolitos débiles.

En 1884 presentó esta teoría como parte de su tesis doctoral, los miembros del tribunal, después de un examen de cuatro horas, creyendo que esta teoría era errónea, lo aprobaron con la mínima calificación posible. Quizás los miembros del tribunal prestaron muy poca atención al contenido del trabajo y es instructiva a este respecto la anécdota que cuenta el mismo **Arrhenius** en sus escritos. Me acerqué al profesor **Per Teodor Cleve**, a quien admiraba mucho, y le dije: *Tengo una nueva teoría de la conductividad eléctrica como causa de las reacciones químicas. Y Cleve me contestó: es muy interesante; y luego añadió: Adiós*”.

El profesor **Per Teodor Cleve** no era un cualquiera, nacido en Estocolmo en 1840, alcanzó su título de Doctor en 1863 por la Universidad de Upsala y después de ampliar estudios en Europa y Estados Unidos, obtuvo la cátedra de química general y agrícola en su universidad en 1874. En 1879 demostró que el escandio era el ekaboro que permanecía sin adjudicar en la tabla periódica de **Dimitri Ivánovich Mendeléev** (1834-1907) y también en ese mismo año descubrió el talio y el holmio.

Efectivamente **Cleve** formó parte del tribunal que juzgó la tesis de **Arrhenius** dándole una nota negativa. En su descargo hay que decir que cuando años después actuó como presidente del tribunal que juzgaba los méritos de los aspirantes al premio Nobel de química apoyó a **Svante Arrhenius** precisamente por la teoría que presentó en su discutida tesis doctoral. Como curiosidad diremos que la vena científica de **Cleve** continuó fructificando en su nieto **Ulf Svante von Euler**, (1905-1983) fisiólogo y farmacólogo, ganador del premio Nobel de Medicina en 1970.

Svante Arrhenius creyó más en su teoría que en sus profesores, pero comprendiendo que sus ideas eran muy revolucionarias para su época, la agió antes de exponerla en su tesis doctoral con lo que seguramente confundió al tribunal. Por otra parte fue objeto de muchos ataques, especialmente por parte del respetado **William Thomson, lord Kelvin** (1824-1907) aunque fue apoyada por **Jacobus van't Hoff**, en cuyo laboratorio trabajaría como becario extranjero entre 1886 y 1890, y por **Wilhelm Ostwald** que se dio cuenta de las importantes consecuencias de estas ideas.

La teoría se basó en los estudios de la conductividad eléctrica de **Kohlrausch**, en los de las propiedades coligativas de **van't Hoff**, y en los de ciertas propiedades químicas como el calor de neutralización de **Thomson**. **Arrhenius** fue capaz de unir los resultados de distintos investigadores y hacer una generalización hoy conocida como teoría de la disociación electrolítica. (161)

La aparición del texto de la teoría en alemán en 1887, la dio a conocer en el mundo de la química y el apoyo prestado por científicos como **Wilhelm Ostwald**, en la Universidad de Riga, **Fridrich Kohlrausch** en la de Würzburg, **Ludwig Boltzmann** (1844-1906) en la de Gratz y **Jacobus van't Hoff** en la Amsterdam, contribuyó, aunque lentamente, a su general aceptación.

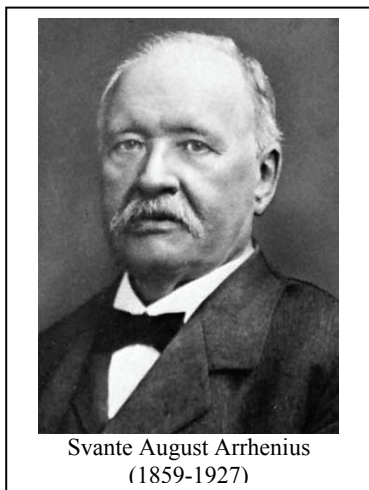
Las anomalías encontradas en las propiedades coligativas de los electrolitos y la conductividad eléctrica que presentaban sus disoluciones llevaron a **Arrhenius** a establecer su teoría, base del comportamiento de los electrolitos para el desarrollo de la Química analítica mineral y de la Electroquímica.

La teoría de la disociación se basa en los siguientes puntos:

- Cuando se disuelve en agua un ácido una base o una sal, una porción considerable se disocia espontáneamente en iones positivos y negativos que se pueden mover independientemente, y son guiados a los electrodos de signo opuesto por el campo eléctrico aplicado.
- Los electrolitos, en disolución o fundidos, se disocian parcialmente en iones cargados eléctricamente, de manera que la carga total sobre los iones positivos es igual a la carga sobre los negativos; la disolución en su conjunto es neutra.
- Los iones son los átomos o grupos de átomos que forman los radicales de los electrolitos, la carga del ion es igual a su valencia.
- Los iones están siempre en la disolución pase o no la corriente eléctrica por ellos, actúan independientemente unos de otros y de las moléculas no disociadas, y constituyen partículas distintas con propiedades físicas y químicas características.
- La disociación de un electrolito es un proceso reversible puesto que los iones originados se unen a su vez para formar de nuevo las moléculas del correspondiente compuesto. (41), (117).

Todavía en la sexta edición del libro “Tratado de Química General”, del profesor **Santiago Bonilla Mirat** (1844-1899) publicado en 1897 se podía leer: *“El estudio de las propiedades de las soluciones, al que se han dedicado físicos y químicos notables, ha demostrado que el fenómeno de la disolución de una aparente sencillez cuando se le considera sólo superficialmente, es en el fondo muy complejo. Las variaciones que experimentan los puntos de ebullición y congelación de las*

soluciones, que están relacionadas con las cantidades de los cuerpos disueltos en ellas, han motivado aplicaciones de gran interés. Otro tanto puede decirse de las investigaciones acerca de la presión osmótica, de la conductibilidad para la electricidad y otras que se podrían citar". (53)



Svante August Arrhenius
(1859-1927)

Este párrafo pone de manifiesto las dificultades que en aquellos momentos tenía la Química para explicar una de las propiedades más importantes del agua, su capacidad para disolver muchas sustancias, faltaba la idea de **Arrhenius** para clarificarla y por ello, yo coloco esta fecha como inicio del conocimiento fisicoquímico de las Aguas Mineromedicinales.

Volviendo a la vida de **Arrhenius**, encontramos que estuvo con **Max Karl Planck** (1858-1947) en Kiel en 1888, regresando a Estocolmo para trabajar con **Erik Edlund**. En el año 1889 volvió a Leipzig y a Graz, mientras, sus ideas habían ido ganando adeptos incluso en Suecia y al regresar a Estocolmo en 1891 fue nombrado profesor privado de física de la Escuela Técnica Superior de Estocolmo. A pesar de que todavía sufría una gran oposición, en 1895 fue convertido en catedrático efectivo y al año siguiente elegido rector, dignidad que ocupó hasta 1905.

Durante estos años se ocupó también de temas de Geofísica y de Química fisiológica, trabajando con **Thorvald Madsen** (1870-1957) en Copenhague en 1901 y con **Paul Ehrlich** (1854-1915) en Frankfurt Maine en 1903. (48)

La aceptación de su teoría por la comunidad científica le valió la obtención de la Medalla Davy en 1902 y el premio Nobel de Química en 1903, "*en reconocimiento a los extraordinarios servicios prestados al avance de la química a través de su teoría de la disociación electrolítica*".

En 1904 y por invitación especial, dio un curso en la Universidad de Berkeley, California, y en 1905 la Escuela Politécnica de Charlottenburg, intentó contratarlo para la cátedra de Electroquímica, pero ahora el gobierno sueco si hizo todo lo posible para retener al sabio en su país. A expensas de la fundación Nobel se fundó el Instituto Nobel de Química física y **Arrhenius** fue nombrado director, cargo creado especialmente para él.

Uno de los asuntos más complicados que tuvo que resolver desde este cargo no fue precisamente científico. **Svante Arrhenius** había defendido en la Academia Sueca la candidatura de **Marie Skłodowska Curie** (1867-1934) para su segundo premio Nobel, esta vez en Química, que le fue concedido en 1911; *“en reconocimiento de sus servicios en el avance de la Química por el descubrimiento de los elementos radio y polonio, el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y compuestos de este elemento”*.

Como director del Instituto le tocó actuar en un tema delicado, pues el 4 de noviembre de ese año, el diario *Le Journal* publicaba en su primera página el siguiente titular: *“Una Historia de amor: **Madame Curie** y el profesor **Langevin**.”* y esta noticia no era del agrado de la rígida sociedad de la época.

Le escribió una carta en nombre del comité sugiriendo que no aceptara el premio hasta que se demostrara que las acusaciones que se le imputaban no eran ciertas. Particularmente él la apoyaba y le decía que: *“Si la Academia hubiera pensado que las cartas en cuestión eran auténticas, no os habría, con toda probabilidad, otorgado el premio”*. La respuesta de **Marie Curie**, fue contundente: *La decisión que me aconsejan que tome sería un error. De hecho, el premio se me ha otorgado por el descubrimiento del radio y el polonio. Creo que no hay conexión alguna entre mi trabajo científico y mi vida privada. No puedo aceptar la idea que las calumnias y difamaciones de la vida privada puedan influir en el valor de la investigación científica. Estoy segura de que muchas personas comparten esta opinión”*.

La científica polaca actuando en su línea, fue a la ceremonia, el rey **Gustavo** le dio el premio y nadie entró en cuestiones personales, ella en su discurso, describió los trabajos científicos de otros en el campo de la radiactividad, incluyendo el de su difunto marido, pero dejando claro que el mérito del galardón era suyo.

Por otra parte, **Arrhenius** realizó muchos viajes por otros países visitando Alemania, Francia, Inglaterra, España y América y escribió varias obras de Química y Electroquímica y sobre algunos problemas generales de Cosmogonía y Bioquímica.

Como otros grandes científicos, no se contentó con su trabajo principal, también estudió el aumento de la velocidad de una reacción con la temperatura que en 1889 fue el primer peldaño en la edificación de la teoría de la cinética química. Postuló una ecuación, que hoy lleva su nombre, y que se puede aplicar no solo a reacciones gaseosas homogéneas sino también a reacciones en disolución y a procesos heterogéneos, aunque fracasa frecuentemente en las reacciones en cadena.

Los resultados experimentales le permitieron deducir una nueva magnitud, la energía de activación, este concepto conduce a la elaboración de la teoría de las colisiones efectivas como forma de interpretación de las reacciones químicas a partir de las nociones de la teoría atómico-molecular de la constitución de las sustancias.

El dos veces doctor y quizás el mejor autor técnico del siglo XX, **Samuel Glasstone** (1897-1986) indica: “*que el método más satisfactorio para expresar la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción es el descrito por Svante Arrhenius en 1889 siguiendo las ideas de van 't Hoff de 1884.*”

La forma integrada de la ecuación muestra que el logaritmo de la velocidad de reacción es proporcional a la temperatura absoluta y a la energía de activación. **Arrhenius** sugirió que en cada sistema existe un equilibrio entre moléculas normales y moléculas activas y que éstas son las únicas que pueden tomar parte en la reacción química. En la actualidad se acepta que las moléculas adquieren la energía adicional necesaria para la reacción, denominada energía de activación, como resultado de intercambios que tienen lugar en los choques entre moléculas.

Fuera de su campo de trabajo, en 1896 **Svante Arrhenius** también se adelantó a su tiempo trabajando en un tema que hoy preocupa a toda la sociedad; descubrió teóricamente el calentamiento global del planeta. Su hipótesis era sencilla: en esencia, estableció una relación directa entre las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera y la temperatura. Posteriormente, en colaboración con el geólogo americano **Thomas Chrowder Chamberlain** (1843-1928) calcularon que las actividades humanas podrían provocar un aumento de las temperaturas mediante la adición de CO₂ a la atmósfera. (132a)

Su sospecha, que en aquel tiempo no se podía demostrar de forma fehaciente, fue rápidamente desautorizada por sus colegas científicos, como siempre a lo largo de su vida. Demasiado atrevida para su tiempo, con lo que el efecto invernadero se quedó inicialmente en una mera teoría, aunque el debate se mantiene vivo cien años después. No fue hasta la década de los cincuenta del siglo pasado cuando científicos californianos certificaron la teoría del calentamiento global, aunque como una mera posibilidad y como un riesgo para un futuro muy remoto, que parece que ya no lo es tanto.

En 1911 recibió en Chicago el primer ejemplar de la Medalla Willard Gibbs y en 1914 la Medalla Faraday. Junto a sus trabajos de investigación, tuvo otras publicaciones coronadas por el éxito, como su tratado de la doctrina de la inmunidad, titulado “Inmunoquímica”, en donde se ocupó de las teorías de inmunidad sosteni-

das por **Ehrlich** y así como éste suponía una neutralización de las toxinas por las antitoxinas, **Arrhenius** indicaba la existencia de un equilibrio semejante al existente en las soluciones electrolíticas. (48), (33), (32), (247)

Escribió obras sobre química física y biológica, electroquímica, astronomía y física cósmica, en este último campo destacó por su idea de que la vida en la Tierra se originó por esporas vivas trasladadas a través del espacio por la presión de la luz, que plasmó en su popular obra “El desarrollo de los mundos” quizás por esto se dio su nombre a un cráter de la Luna y a otro de Marte y a un asteroide descubierto en 1960. (31)

En el libro “La ciencia al día” de **Charles Gibson** del que no he sido capaz de encontrar la fecha de publicación, que si siempre es necesario en este caso resulta imprescindible, se incluye una introducción del profesor **Svante Arrhenius**, premio Nobel de química, sobre la utilidad de las teorías. (114)

Por estos datos sabemos que el libro se publicó después de 1903, y que **Svante Arrhenius** continuaba adelantándose a su época. Terminando este prólogo escribe: *“Pero el valor de la labor teórica no suele estar limitado a la rama especial de la ciencia que es objeto directo de ella. El ejemplo de la ley de **Ohm** nos muestra que los trabajos de **Fourier** sobre la conducción del calor pudieron con ligeras modificaciones, adaptarse a la explicación de la conducción de la de la electricidad. Y esa misma ley, convenientemente modificada, también es aplicable a la difusión de la materia disuelta. La ley correspondiente de la difusión se llama ley de **Adolf Fick**, según su descubridor, y tiene precisamente la misma forma que las de **Fourier** y de **Ohm**.”*

Años más tarde, en 1931, el químico noruego norteamericano **Lars Onsager** (1903-1976) premio Nobel de química en 1968, publicó una teoría realmente sistemática y general de la termodinámica de los procesos irreversibles que es posible considerar como un axioma. (128)

Los procesos, termodinámicamente hablando, pueden ser ejecutados de manera reversible o irreversible. Podemos decir que los primeros son una sucesión de estados de equilibrio que se pueden ejecutar en direcciones opuestas, mientras que en los segundos, cuando tienen lugar espontáneamente, no se ha encontrado el proceso inverso, como ocurre en el caso de la expansión de un gas.

Existen un gran número de leyes fenomenológicas que describen los procesos irreversibles en forma de proporciones; tales son la ley de Fourier entre el flujo calorífico y el gradiente de temperatura, la ley de Fick entre el flujo de materia de un componente en una mezcla y su gradiente de concentración, la ley de Ohm entre

la corriente eléctrica y el gradiente de potencial, la ley de Newton entre la fuerza deformadora y el gradiente de velocidades y la ley de las reacciones químicas entre la velocidad de reacción y los potenciales químicos. (86)

A la explicación teórica del fundamento de todos estos fenómenos se adelantó **Arrhenius**, aplicándola a una serie de fenómenos que hoy utilizamos continuamente en el laboratorio y en la industria como los efectos **Peltier** (1785-1845), **Seebeck** (1770 1831) y **Soret** (1854-1904). (20)

Arrhenius se casó dos veces: la primera vez en 1894 con su alumna y asistente, **Sofía Rudbeck**, y en 1905 con **María Johansson**. Del primer matrimonio que sólo duró dos años tuvo un hijo, Olof, y del segundo, un hijo, Sven, y dos hijas, Ester y Anna-Lisa.

En septiembre de 1927 padeció un catarro intestinal agudo que le llevó a la muerte el 2 de octubre, siendo enterrado en Uppsala.

Las diferentes fotografías que conocemos de **Svante August Arrhenius** nos muestran el cambio del científico sueco a lo largo de su vida. Inicialmente tenemos la imagen de un fornido joven sueco de abundante pelo rubio que va perdiendo con el paso del tiempo. Las fotografías posteriores reflejan un rostro afable y de aspecto bonachón, una de las imágenes más conocidas, tomada en 1918, nos presenta una persona de edad con bigote blanco y entradas pronunciadas, que vestida correctamente y con lazo de pajarita en el cuello, mira a la cámara con gesto un tanto cansado.

A la vista de los datos biográficos de estas dos personalidades de la Ciencia nos damos cuenta de su gran importancia para la Química, que supera con mucho su aportación como hidrólogos. Como colofón a este capítulo tomamos dos textos referidos a cada uno de ellos. **Bernard Cohen** (1914-2003) en su texto “Revolución en la Ciencia” expone que el trabajo de **Antoine Lavoisier** resultó ser la revolución que inició la Química Moderna. “*La revolución química ocupa un lugar preponderante entre las revoluciones científicas, ya que es la primera de gran importancia que fue reconocida como tal por su autor principal, Antoine Laurent Lavoisier. Éste comprendía el concepto de revolución científica como un cambio particular en la manera de pensar, y llegó a expresar que su obra constituiría precisamente una revolución de ese tipo*”. (74)

Por otra parte el autor español **Francisco Vera** (1888-1967) en su “Historia de la Ciencia”, (251) dice que: *“La química actual nace con **Svante Arrhenius**, a quien se debe la teoría de la disociación electrolítica, que al proclamar la libertad de los iones, alumbró con destellos muchos puntos oscuros de la Electroquímica.”*

Tenemos así dos sólidas opiniones que refrendan nuestro proceder al elegir a estos dos científicos como puntos inicial y final de nuestro trabajo.