

HISTORIA DE LA QUÍMICA

1. LOS ORIGENES DE LA QUÍMICA MODERNA

Podemos situar el **inicio de la Química moderna a mediados del siglo XVIII** a partir de las investigaciones fundamentales llevadas a cabo, entre otros, por Black, Cavendish, Priestley y Scheele y de la síntesis conceptual realizada por Lavoisier.

El empleo sistemático de la balanza permitió que la Química empezase a abandonar su carácter cualitativo. Al pasar a ser una ciencia cuantitativa, nuevos elementos de juicio propiciaban la reproducibilidad de los diferentes experimentos para su contrastación o refutación. Por otro lado, Lavoisier reconoció que los procesos de combustión, calcinación y respiración, no eran sino manifestaciones de un mismo proceso (oxidación) en los que siempre participaba una misma sustancia: el oxígeno. Se lograba con ello una unidad conceptual para explicar la reacción química. Finalmente, Lavoisier participó en una propuesta de sistematización del lenguaje químico. La difusión y aceptación de su *Méthode de nomenclature chimique* (1787) permitió la normalización del lenguaje químico. Unos años más tarde, el químico-médico sueco Berzelius propuso una notación para los símbolos químicos que se adoptó para representar adecuadamente las sustancias químicas y las reacciones en las que participan.

El "nacimiento" de la Química moderna fue posible gracias a la gran cantidad de saberes empíricos acumulados previamente (construcción de aparatos, desarrollo de técnicas experimentales, estudio del comportamiento químico de sustancias, etc.). Todo este conocimiento previo provenía de las contribuciones realizadas por **la Alquimia, la Metalurgia y la Medicina y la Farmacia**, que constituyen los tres pilares fundamentales de la química moderna.

El interés de los alquimistas se centraba en la transmutación de los metales en plata y oro y en encontrar el "elixir de la vida". Por su parte, los metalúrgicos, a diferencia de los alquimistas, eran personas incultas preocupadas fundamentalmente por el desarrollo de las artes prácticas

relacionadas con el tratamiento de los metales y de sus minerales. Eran artesanos interesados en el desarrollo de unas técnicas, sin que ello supusiera la existencia de ningún marco filosófico o conceptual que guiase su trabajo. Finalmente, el principal interés de los médicos y de los boticarios se centraba en el tratamiento de la enfermedad. Este objetivo otorgaba a la medicina una dimensión más amplia que la simple búsqueda de un elixir difícil de alcanzar.

De esta manera se expresaba Lavoisier en la introducción de su célebre obra: "Método de nomenclatura química":



"La imposibilidad de aislar la nomenclatura de la ciencia y la ciencia de la nomenclatura, se debe a que toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que los evocan y las palabras que las expresan. La palabra debe originar la idea, ésta debe pintar el hecho: he aquí tres huellas de un mismo cuño. Y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin la lengua; y por muy ciertos que fuesen los hechos, por muy justas que fuesen las ideas que los originasen, sólo transmitirían impresiones falsas si careciésemos de expresiones exactas para nombrarlos."

2. LOS PILARES DE LA QUÍMICA MODERNA

2.1 LA ALQUIMIA

El **origen** de la alquimia en Occidente se encuentra en **Alejandro**, dado su carácter de encrucijada comercial y cultural. Allí se dieron cita las tradiciones griegas, egipcias y orientales (chinas e hindúes). El máximo representante de la cultura helenística que ha llegado a nosotros es **Zósimo** (siglo IV), quien afirmaba poseer lo que llegaría a ser el elixir o piedra filosofal y la "tintura" capaz de fabricar oro a partir de la rectificación (curación) de los metales "viles" o "enfermos". Además, nos describió toda una serie de saberes prácticos en forma de procedimientos (destilación, sublimación, disolución, filtración, calcinación, etc.).

Unos de los primeros textos traducidos del griego al árabe fueron los textos alquímicos. En el siglo VIII comienzan los trabajos de los alquimistas árabes. Esta alquimia perfecciona las artes de la destilación y de la extracción, de la fabricación del jabón, de las aleaciones metálicas (las famosas espadas de Toledo), y de la medicina farmacéutica y desarrolla técnicas para el tratamiento del vidrio, la fabricación de papel, tintas coloreadas, etc.; también progresaron en el conocimiento de técnicas acerca de la obtención y comportamiento de sustancias: álcalis (hidróxido de potasio y de calcio) ácidos (acético), alcohol, etc.

El mundo cristiano, ante la curiosidad de apropiarse del conocimiento del enemigo, empezó a traducir al latín (s. XII) el corpus alquímico árabe -aunque dejando sin traducción algunos términos de los que desconocía su significado preciso (ej. alcohol, álcali, etc.)-. A partir del siglo XIV los alquimistas medievales aprendieron a preparar ácidos fuertes (ácidos nítrico, clorhídrico y sulfúrico) y desarrollaron técnicas de autenticación del oro (agua regia).

La mala imagen que la alquimia ha podido tener se debe, entre otros factores, a la gran cantidad de charlatanes y tramposos que la nutrieron. Sin embargo, la falta de un progreso significativo de la alquimia durante los siglos en los que floreció no se debió tanto a los fraudes cometidos sino al marco teórico que la sustentaba. Hasta que no se abandonó la **concepción aristotélica de la materia** no pudo desarrollarse la química moderna.

Con todo, los siglos de búsqueda de la piedra filosofal no resultaron completamente baldíos. Como ya se ha señalado, los alquimistas desarrollaron un conocimiento empírico que resultó esencial en la construcción posterior de la Química moderna.

En el siglo XVI la alquimia ya había producido sus principales contribuciones e iniciaba una etapa de decaimiento. Por su parte, a partir de esta época la Medicina y la Metalurgia realizaron una contribución muy intensa a lo que posteriormente sería la Química moderna.

LA MEDICINA

Los orígenes de la Química moderna relacionados con la Medicina se conocen con el nombre de iatroquímica. En el año 1500 existen antecedentes correspondientes a la publicación del médico **H. Bruschwygk** en donde se describe la obtención por destilación de sustancias esenciales, con fines curativos, a partir de toda una serie de materiales orgánicos.

El máximo representante de esta tradición iatroquímica es Paracelso (1493-1541). Este médico y sus seguidores son los que otorgan a la Química un papel importante en la preparación de medicinas. **Paracelso** exige a los médicos a que aprendan Química; anuncia remedios milagrosos como la sal de mercurio con la que trata con éxito la sífilis y diagnostica el origen externo de ciertas enfermedades, como la "enfermedad de los mineros", la silicosis.

La tradición originada por Paracelso impulsó a muchos médicos a interesarse por las relaciones entre la Química y la Medicina. Todo este impulso contribuyó a un progresivo, aunque lento, desarrollo del mundo orgánico.

Además, debemos mencionar al médico **Jean-Baptiste van Helmont** (1577-1640), seguidor de Paracelso, quien se interesó por el estudio y la caracterización de los gases. Esta práctica experimental sería el origen de nuevos problemas y de nuevas técnicas: el equipamiento de los laboratorios empezó a enriquecerse con "campanas" destinadas a recoger e identificar los gases formados en las reacciones químicas.

LA METALURGIA

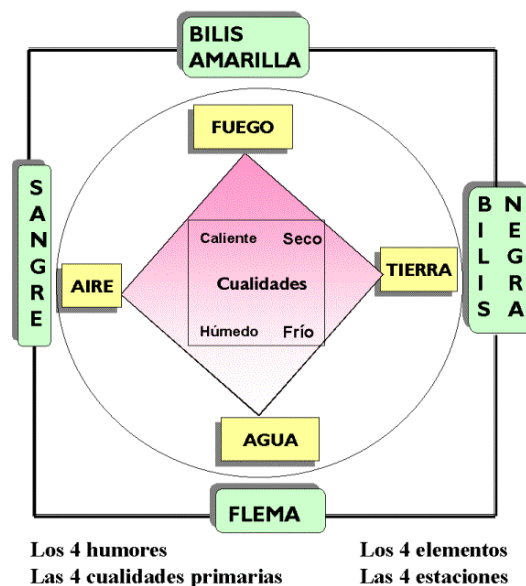
Los egipcios (3500 a C) ya eran capaces de obtener cobre y plomo mediante la aplicación del fuego a una mezcla del mineral correspondiente y carbón. Hacia el año 1500 a C los hititas descubrieron que mediante calentamiento de una mezcla de hierro y carbón se producía una nueva sustancia más resistente que el propio hierro, el acero. Ello propició la construcción de diferentes herramientas y de armas.

Los herreros y las personas cuyo trabajo estaba relacionado con el tratamiento de los metales eran personas incultas. Por tanto, la transmisión de sus conocimientos no se realizaba a través de documentos escritos. En consecuencia, las influencias de la Metalurgia sobre la Química sólo se manifestaron de forma importante a partir del siglo XVI. En esta época, en territorios que ahora corresponden a Alemania e Italia, las operaciones relacionadas con la minería y la fundición alcanzaron una gran importancia. Ello originó la publicación de los primeros manuales acerca del tratamiento de los minerales y de los metales.

El médico **G. Agrícola** pasó parte de su vida entre mineros. Sus conocimientos de Geología, Minería y Metalurgia los plasmó en el libro "De re metallica" (1556) que llegó a causar un gran impacto en su época.

A partir del siglo XVI el interés por las artes en el tratamiento de los minerales tomó un renovado interés. Podemos citar a los suecos Bergman, Scheele y Berzelius y a los españoles Barba, Río, Ulloa y los hermanos Elhúyar.

El español **Antonio de Ulloa** descubrió en 1735 el platino y **Fausto de Elhúyar** descubrió en el año 1782 en colaboración con su hermano Juan José el elemento químico wolframio. En 1792 se encargó en México del Real Cuerpo de Minería. El español Andrés Manuel del Río trabajó en esta institución; descubrió un nuevo elemento en 1801, al que denominó eritronio, pero no se le reconoció el descubrimiento, al creerse entonces que era cromo impuro, hoy es conocido como vanadio y se le reconoce el descubrimiento al sueco Sefström, discípulo de Berzelius, que lo descubrió en 1830 en una mena de hierro.



LA QUÍMICA EN EL SIGLO XVII

El impulso alcanzado durante el siglo XVI por la Medicina y la Metalurgia propició el progresivo abandono de las prácticas puramente alquimistas. Éstas pierden su carácter secreto y se liberan de los principios místicos y esotéricos que las inspiraban. En este sentido, el papel de la imprenta en la crisis de la tradición alquimista fue crucial. Hasta entonces, la principal vía de transmisión se realizó mediante unos manuscritos, generalmente firmados con el nombre genérico de Yabir, sin fecha y que suponían la copia y la traducción de todo un conjunto de comentarios y procedimientos tanto nuevos como antiguos. La imprenta obligó al autor a darse a conocer (ya no se trata de seguir ciegamente las doctrinas de los clásicos; la autoridad de un autor se empieza a medir por la posibilidad de contrastar los experimentos que describe) e hizo accesibles los textos a un público cada vez más extenso.

En el año 1610 **J. Beguin** publicó el *Tyrocinium Chymicum* (Química para principiantes). El libro fue incorporando en sus sucesivas ediciones toda una colección de recetas farmacéuticas, en cuya preparación se aprecia el progreso de los conocimientos químicos.

En el año 1675 **N. Lemery** (1645-1715) publicó su *Curs de Chimie*, que rápidamente se tradujo al latín, al alemán, al inglés, al español y al italiano. En este tratado la química aparecía como una ciencia ya desligada de las referencias anteriores alquimistas a cualidades ocultas y en el mismo se presenta el saber empírico de la química del siglo XVII. La comprobación experimental de todos los procesos descritos otorgó al autor una gran credibilidad. Además, la química comenzó a adquirir un rango académico. Las clases y conferencias de Lemery, realizadas con apoyo experimental, alcanzaron un gran éxito.

Otro de los autores impulsores de la experimentación en la química fue **R. Boyle** (1626-1691). Este autor mostró una gran consistencia en el planteamiento de los experimentos de laboratorio, controlando todas las variables implicadas. En su libro *The Sceptical Chymist* (1661) presenta una imagen del químico escéptico, que pide demostraciones. Boyle otorga una gran importancia a la metodología científica y a la forma de comunicar una investigación a otros científicos. Este aspecto queda puesto de manifiesto de forma patente mediante las siguientes palabras en las que este científico sustituye el valor de la autoridad por el de la credibilidad del científico. Dice Boyle: "Sería deseable que cuando aquellos que no están familiarizados con las operaciones químicas comienzan a citar



experimentos químicos que no le son propios, abandonaran este tipo indefinido de testimonio: los químicos dicen esto o los químicos afirmaban aquello; harían mejor si alegaran para cada experimento el nombre del autor o autores sobre cuyo crédito se basan. De esta forma quedarían a salvo de la sospecha de falsedad (a la que la otra práctica les expone) y dejarían que el lector juzgara qué le conviene creer de cuanto se le dice, al tiempo que no emplearían sus propios nombres importantes para patrocinar dudosas relaciones; y también harían justicia a los inventores o expositores de los experimentos verdaderos, así como a los intrusos que presentan los falsos. Por el contrario, con esa forma genérica de citar a los químicos, el escritor sincero no obtiene la alabanza que merece y el impostor escapa a la desgracia personal a la que es acreedor."

Por otro lado, la revolución científica en la Física contribuyó a cambiar la imagen de la ciencia como saber absoluto, definitivo y, por tanto, estático. Las interpretaciones de la realidad pasaron a ser puramente provisionales, vigentes únicamente mientras el progreso científico no desbordase su capacidad y permitiese su sustitución por otras diferentes de mayor poder predictivo.

El crecimiento exponencial del conocimiento científico mostró rápidamente desde finales del siglo XVII lo inadecuado que resultaba el libro como único instrumento de información científica. La aparición de las primeras revistas científicas, auspiciadas muchas de ellas por

grupos de investigadores organizados en torno a sociedades científicas, vino a remediar la deficiencia mencionada.

Al igual que había ocurrido con la Física, en la Química el conocimiento empírico había sido elevado al rango de conocimiento científico; se pasó de valorar lo abstracto a apreciar lo concreto (las denominadas artes prácticas o útiles). A finales del siglo XVII la Química se había convertido en una actividad "racional" (liberado de cualquier referencia al "ocultismo") que se enseña y que crece al abrigo de instituciones donde se desarrolla la idea de la ciencia como empresa colectiva, llevada a cabo entre colegas que se reconocen entre sí como tales, dignos de confianza y por tanto capaces de juzgarse unos a otros.

Sin embargo, a principios del siglo XVIII, toda esta actividad social y práctica de la Química todavía no tenía un principio unificador, globalizador que intentase dar cuenta de toda una maraña construida de "hechos", procedimientos e interpretaciones.

Actividad: Realiza un esquema-resumen de la lectura y realiza una valoración de la importancia de la época anterior a la Química moderna.

¿CUÁL ERA EL OBJETIVO DE LA QUÍMICA A PRINCIPIO DEL SIGLO XVIII?

La química es una ciencia experimental en construcción que ha atravesado etapas decisivas, que han propiciado su desarrollo como disciplina científica.

La generación del conocimiento químico no se limita al saber estrictamente empírico que proporcionan comportamientos particulares o al establecimiento de leyes experimentales. Uno de los principales objetivos de la Química es **desarrollar modelos teóricos explicativos (teorías)** que nos permitan comprender las características y las transformaciones de la materia.

La construcción de todo este conocimiento teórico fundamenta, muchas veces sin proponérselo explícitamente, el desarrollo de técnicas y procedimientos con fines prácticos o de utilidad concreta. Las teorías elaboradas explican e interpretan las observaciones conocidas, estableciendo relaciones entre las distintas leyes experimentales, a la vez que proporcionan nuevos campos de investigación. Pero además, las teorías químicas tienen la capacidad de poder predecir de antemano propiedades y comportamientos químicos particulares.

Sin embargo, las teorías no son inmutables y están en continua revisión. A lo largo de la historia de la Química han existido distintas teorías, e incluso convivido en determinados periodos **teorías que proporcionaban explicaciones opuestas de unos mismos hechos**.

La validez de las teorías es proporcionada por su aceptación en la comunidad científica de la época. El cambio de una teoría por otra es un proceso difícil y costoso, ya que no sólo implica un cambio de creencias, sino que conlleva una reestructuración en los métodos de trabajo, valoraciones y concepciones de la propia comunidad científica. Por ello, el proceso de consolidación de toda nueva teoría es interpretado como una revolución en las ideas de la comunidad científica. Así por ejemplo, el físico Planck inició el camino de una revolución en la física y en la química que dio lugar a la Mecánica Cuántica. No obstante, el propio Planck se opuso a la mayor parte de las implicaciones que suponía la nueva mecánica.

Con el objetivo de ilustrar y analizar las implicaciones de los cambios de referentes teóricos en la Química, vamos a exponer dos casos históricos de mediados de finales del Siglo XVIII: **el fin de la teoría del flogisto por Lavoisier** y **el nacimiento de la teoría atómica de Dalton** (que sirve de modelo teórico en los inicios de la Química moderna).

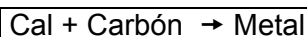
DOS TEORÍAS RIVALES COMPITEN EN LA EXPLICACIÓN DE LA REACCIÓN QUÍMICA: FLOGISTO Y OXÍGENO

La química del siglo XVIII venía precedida de un amplio desarrollo de la metalurgia, ciencia destinada al estudio de los metales y sus transformaciones. En todos los procesos de transformación de metales la utilización del fuego adquiría un papel fundamental, de modo que para el químico del siglo XVII el fuego era el instrumento que permitía transformar los metales y desarrollar combustiones. Pero, ¿qué es una combustión?

Se atribuye a los químicos alemanes **J. J. Becher** (1635-1734) y **G. E. Stahl** (1660-1734) el nacimiento de una teoría explicativa y globalizadora de todas las observaciones anteriores sobre los procesos de combustión, denominada **teoría del flogisto**. Dicha teoría suponía que las sustancias combustibles contienen un "principio inflamable" denominado flogisto (del griego, llama). La combustión es concebida como el proceso de liberación a la atmósfera del flogisto contenido en la sustancia, dando lugar a un residuo (denominado ceniza o cal, en el caso de los metales). Cuanto más inflamable sea una sustancia mayor será su contenido en flogisto. De modo que los procesos de calcinación y combustión pueden ser representados por las ecuaciones:

Calcinación	Metal → Cal + flogisto ↑
Combustión	Sustancia → Ceniza + flogisto ↑

El mayor éxito de la teoría del flogisto fue que permitió unificar los procesos de combustión y calcinación. A la vez, explicaba el proceso de reducción de los metales, ya que, según dicha teoría, al calentar la cal de un metal con una sustancia más rica en flogisto (carbón, considerado como flogisto casi puro) el metal recupera el flogisto y se "revivifica". Esquemáticamente, podemos representar este proceso:



Sin embargo, dicha teoría dejaba planteado un serio problema; por qué al calcinar un metal, su cal pesa más si se ha perdido el flogisto. Encontrar una respuesta razonable desde la perspectiva de la teoría del flogisto no era posible (se decía que el flogisto poseía un peso negativo). A pesar de sus limitaciones, muchos investigadores, impulsados por la teoría del flogisto, realizaron numerosos experimentos destinados a estudiar todo tipo de combustiones y recoger los "aires" que se desprendían con la finalidad de analizarlos.

Dos ejemplos de la labor investigadora expuesta fueron el inglés **J. Priestley** (1733-1804) y el sueco **K. W. Scheele** (1742-1786). Ambos experimentadores descubrieron, de forma independiente, la existencia de un "aire" que avivaba el fuego, que fue denominado por Priestley "aire desflogisticado".

El conocimiento de los experimentos de Priestley y Scheele permitió al químico francés **Antoine Laurent Lavoisier** (1743-1794) interpretar de forma distinta el proceso de combustión y con ello iniciar una revolución en la Química.

Lavoisier realizó varios experimentos destinados a analizar la naturaleza del aire desflogisticado, introduciendo en sus experimentos cuidadosas medidas de la masa y volumen de las sustancias participantes. El análisis de sus resultados experimentales le sirvió para establecer que "el aire desflogisticado es la porción más pura del aire atmosférico", identificándolo como un elemento químico al que denominó "oxígeno". La idea de que el aire no era una sustancia pura sino una mezcla, suponía un duro golpe para la teoría del flogisto.

El oxígeno es para Lavoisier el elemento responsable de la combustión, de la calcinación y portador de propiedades ácidas (de ahí su nombre, del griego, generador de ácidos). Según Lavoisier, el proceso de calcinación o combustión consiste en la combinación de una sustancia con el oxígeno del aire, mientras que la reducción de un óxido metálico es una consecuencia de la pérdida del oxígeno dando lugar al metal. Podemos representar los procesos mencionados por las ecuaciones:

Combustión o calcinación	Sustancia + Oxígeno → Óxido
Reducción del óxido de un metal	Óxido metálico + carbón → metal + nueva sustancia

Lavoisier propuso la primera idea correcta sobre el proceso de respiración de los seres vivos, explicándolo como una forma de combustión.

La teoría propuesta por Lavoisier para explicar la combustión no fue fácilmente aceptada en una comunidad científica formada en la teoría del flogisto (denominada por ciertos químicos, la sublime teoría). Prueba de ello es que los propios descubridores del oxígeno (Priestley y Scheele) negasen su existencia como tal. No obstante, con el tiempo la teoría de Lavoisier se fue consolidando e impulsó una profunda reforma de la química.

Breve Biografía de Lavoisier:

A. L. Lavoisier (1743-1794), químico que potenció el análisis cuantitativo y con el cual se inicia la llamada revolución química. Lavoisier desempeñó también el cargo de Ferme Général, por lo cual fue guillotinado en la "época de terror" de la revolución francesa. M.A. Paulze (1758-1836), esposa de Lavoisier, tradujo varios textos de química del inglés al francés. Participó junto a su marido en la realización de numerosos experimentos de química y en la elaboración del Tratado Elemental de Química. En 1805 publicó el libro Memorias de Química.



Actividad: Uno de los experimentos desarrollados por Lavoisier consistía en calcinar estaño en un recipiente cerrado. Comprobó que la masa total del recipiente no variaba después de la calcinación, pero la masa del metal transformado en cal aumentaba en igual valor que disminuía la masa del aire encerrado. Intenta interpretar dichas observaciones usando la teoría del flogisto y la teoría expuesta por Lavoisier.

Actividad: A pesar de que actualmente la teoría del flogisto es considerada incorrecta, dicha teoría sirvió de guía a los grandes investigadores del siglo XVIII permitiendo desarrollar técnicas de fundición de metales, reconociendo nuevas sustancias e identificando nuevos gases (denominados en dicha época, "aires"). ¿Crees que la existencia de teorías "no correctas" implica sólo aspectos negativos para el desarrollo científico?

EL LARGO CAMINO DE LA TEORÍA ATÓMICA

LA TEORÍA ATÓMICA DE DALTON

Los filósofos griegos fueron los primeros en intentar entender la naturaleza de la materia. **Aristóteles** (350 a C) consideraba a la materia compuesta por cuatro elementos -tierra, agua, fuego y aire- y negaba la existencia del espacio vacío. Esta visión de la materia estuvo vigente durante unos 2.000 años. Como ya se ha señalado anteriormente, el abandono de la concepción aristotélica permitió el desarrollo de la Química moderna.

En 1804 el inglés **John Dalton** (1766-1844) formuló su hipótesis atómica, fundamentada en la identificación de los elementos químicos como distintos tipos de partículas indestructibles y con características propias (volumen y masa). Parece ser que las hipótesis de Dalton tuvieron su origen en sus estudios de meteorología y de las propiedades físicas de los gases; sin embargo, fueron sus explicaciones teóricas sobre las leyes experimentales de las proporciones constantes (enunciada por J. Proust en 1802) y la ley de conservación de masa (atribuida a Lavoisier) las que proporcionaron validez a las hipótesis atómicas. Posteriormente, el propio Dalton basándose en sus propias hipótesis interpretó la ley de las proporciones múltiples.

No obstante, la teoría atómica de Dalton no consiguió explicar correctamente la ley experimental de **Gay-Lussac** relativa a las reacciones en que participan gases (enunciada en 1808), por lo que Dalton no la admitió, atribuyéndole errores experimentales. Independientemente uno del otro, en 1811 **Amadeo Avogadro** (1778-1856) y en 1814 **A. M. Ampère** (1775-1836) enunciaron la hipótesis según la cual: "en condiciones iguales de temperatura y presión, volúmenes iguales de gases distintos contienen el mismo número de moléculas". Con dicha hipótesis se consolidó el concepto moderno de molécula, dando origen a la teoría atómico-molecular, que explica de forma clara y sencilla todas las leyes experimentales e introduce el concepto de número de Avogadro (N_A , actualmente denominado constante de Avogadro).

A pesar de los éxitos de la teoría atómico-molecular, dicha teoría no consiguió, en principio, ser plenamente aceptada por los científicos de la época. Así por ejemplo, el prestigioso químico francés **J. B. Dumas** (1800-1884) expuso en 1836: "¿Qué nos queda de la ambiciosa excursión que nos hemos permitido por la región de los átomos? Nada, nada necesario, al menos. Lo que nos queda es la convicción de que la Química se ha extraviado, como siempre que, abandonando la experiencia, ha querido caminar sin guía a través de las tinieblas(...). Si yo pudiera, borraría la palabra átomo de la ciencia, persuadido de que va más lejos que la experiencia, y en la Química nunca debemos ir más lejos que la experiencia".

Las dudas acerca de la teoría atómica persistieron en años posteriores. Después de casi setenta años de vigencia de la teoría atómica de Dalton, científicos del prestigio de F.A. **Kekulé** y A.W. **Williamson** manifestaban las dudas formadas acerca de la existencia de los átomos. Se señalaba que si la teoría atómica se descartase por completo, ello representaría una ganancia para la Química.

Estas actitudes no fueron casos aislados en la comunidad científica. El premio Nobel de Química **Whilhem Ostwald** (1853-1932), y "padre" de la magnitud cantidad de sustancia (magnitud fundamental en la Química) fue un activo antiatomista. Sólo a principios del siglo XX aceptó la existencia de los átomos (precisamente cuando dejaron de ser tales partículas indivisibles).

La utilización de la teoría atómica propuesta por Dalton necesitó prácticamente cien años para ser aceptada unánimemente por la comunidad científica. Fue finalmente admitida sin reticencias tras un largo proceso de discusiones entre los científicos más relevantes del momento. Sin embargo, la teoría atómica ofrecía un conjunto de ventajas que daban lugar a que cada vez fuera más usada por los químicos. No obstante, ello no significaba que fuera asumida. El historiador de la ciencia P. Thuiller señala: "La adopción práctica de la teoría no implicaba necesariamente la creencia de la existencia real de los átomos. Existe en ello una ambigüedad que conviene evidenciar. se puede utilizar una teoría de forma cotidiana sin admitir verdaderamente la realidad de las entidades "teóricas" a las que remite esa teoría. Esta actitud estuvo muy en boga en el siglo XIX, tanto en Francia como en Inglaterra. De hecho, muchos manuales presentaban "el átomo" como una palabra cómoda para expresar diversos resultados experimentales, pero, hablando con propiedad, la existencia de los átomos no estaba reconocida".

Las pruebas de la realidad molecular

Ya iniciado el siglo XX, el átomo solamente era una hipótesis. Aparte de la Química orgánica, la Química podía progresar sin recurrir a él (por ejemplo los notables trabajos de H. le Chatelier y R Duhem en termodinámica química). Pocos químico-físicos reconocidos admitían la validez de la ley de Avogadro, inseparable de la noción de molécula, y por lo tanto, de átomos. Si se lograra medir experimentalmente N_A , la realidad molecular sería indiscutible y los antiatomistas estarían definitivamente vencidos. Éste era, en 1908, el ambicioso objetivo que se fijó el químico-físico francés Jean Perrin (1870 - 1942), premio Nobel de Física en 1926.

Para ello utilizó coloides, partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión en un líquido. En 1827, el botánico inglés Robert Brown habla observado que los granos de polen en suspensión estaban dotados de movimientos irregulares y permanentes. Por una genial analogía, Perrin comprendió que las partículas coloidales en emulsión tenían que comportarse como grandes moléculas gaseosas.

Una vez minuciosamente preparada, no sin dificultades, una emulsión uniforme (a partir de gutagamba, sustancia extraída del látex de un árbol de Malasia), Perrin se dedicó a medir el valor medio del número de estas partículas en agitación incesante en un volumen dado. Determinó de este modo el primer valor del número de Avogadro ($6,7 \cdot 10^{23}$) y constató que es independiente de la temperatura y de las propiedades de los líquidos.

Tras estos primeros trabajos, otros investigadores obtuvieron valores experimentales de N_A , todos ellos coincidentes. Por lo tanto, Perrin había descubierto una constante fundamental de la naturaleza y verificó para siempre la existencia de la realidad molecular.

Sin embargo, la actitud y autoridad de Perrin contribuyó decisivamente al distanciamiento inicial de la química francesa de la revolución cuántica iniciada a principios del siglo XX. Perrin, en 1919, desarrolló la teoría de que las reacciones químicas eran iniciadas por radiaciones luminosas, "teoría radiactiva", alejándose de las teorías sobre interacciones moleculares y reajustes electrónicos de los átomos aceptadas por la inmensa mayoría de la comunidad científica de su época.

HISTORIA DE LA QUÍMICA: Los orígenes de la Química moderna

ACTIVIDADES

1. Los pilares de la química moderna fueron la alquimia, la metalurgia, la farmacia y la medicina. Realiza un esquema resumen de la lectura del texto de historia de la química y realiza una valoración de la época anterior a la química moderna, señalando sus principales aportaciones.
2. Uno de los experimentos desarrollados por Lavoisier consistía en calcinar estaño en un recipiente cerrado. Comprobó que la masa total del recipiente no variaba después de la calcinación, pero la masa del metal transformado en cal aumentaba en igual valor que disminuía la masa del aire encerrado. Intenta interpretar dichas observaciones usando la teoría del flogisto y la teoría expuesta por Lavoisier.
3. A pesar de que actualmente la teoría del flogisto es considerada incorrecta, dicha teoría sirvió de guía a los grandes investigadores del siglo XVIII permitiendo desarrollar técnicas de fundición de metales, reconociendo nuevas sustancias e identificando nuevos gases (denominados en dicha época, "aires"). ¿Crees que la existencia de teorías "no correctas" implica sólo aspectos negativos para el desarrollo científico?
4. Comenta la siguiente frase atribuida a Planck: "Una nueva teoría no se impone porque finalmente convence a sus oponentes, sino porque estos desaparecen progresivamente y son sustituidos por una nueva generación educada en las nuevas ideas."

El lago camino de la teoría atómica - molecular

A pesar de los éxitos de la teoría atómica – molecular, dicha teoría no consiguió, en principio, ser plenamente aceptada por los científicos de la época. Así por ejemplo, el prestigioso químico francés **J.B. Dumas** (1800 – 1884) expuso en 1836:

"¿Qué nos queda de la ambiciosa excursión que nos hemos permitido por la región de los átomos? Nada, nada necesario, al menos. Lo que nos queda es la convicción de que la Química se ha extraviado, como siempre que, abandonando la experiencia, ha querido caminar sin guía a través de las tinieblas.(...). Sí yo pudiera, borraría la palabra átomo de la ciencia, persuadido de que va más lejos que la experiencia, y en la Química nunca debemos ir más lejos que la experiencia".

Las dudas acerca de la teoría atómica persistieron en años posteriores. Después de casi setenta años de vigencia de la teoría atómica de Dalton, científicos del prestigio de F.A. **Kekulé** y A.W. **Williamson** manifestaban las dudas formadas acerca de la existencia de los átomos. Se señalaba que si la teoría atómica se descartase por completo, ello representaría una ganancia para la Química.

Estas actitudes no fueron casos aislados en la comunidad científica. El premio Nobel de Química **Whilhem Ostwald** (1853-1932), y "padre" de la magnitud cantidad de sustancia (magnitud fundamental en la Química) fue un activo antiatomista. Sólo a principios del siglo XX aceptó la existencia de los átomos (precisamente cuando dejaron de ser tales partículas indivisibles).

La utilización de la teoría atómica propuesta por Dalton necesitó prácticamente cien años para ser aceptada unánimemente por la comunidad científica. Fue finalmente admitida sin reticencias tras un largo proceso de discusiones entre los científicos más relevantes del momento. Sin embargo, la teoría atómica ofrecía un conjunto de ventajas que daban lugar a que cada vez fuera más usada por los químicos. No obstante, ello no significaba que fuera asumida. El historiador de la ciencia P. Thuiller señala: "La adopción práctica de la teoría no implicaba necesariamente la creencia de la existencia real de los átomos. Existe en ello una ambigüedad que conviene evidenciar. se puede utilizar una teoría de forma cotidiana sin admitir verdaderamente la realidad de las entidades "teóricas" a las que remite esa teoría. Esta actitud estuvo muy en boga en el siglo XIX, tanto en Francia como en Inglaterra. De hecho, muchos manuales presentaban "el átomo" como una palabra cómoda para expresar diversos resultados experimentales, pero, hablando con propiedad, la existencia de los átomos no estaba reconocida".

Las pruebas de la realidad molecular

Ya iniciado el siglo XX, el átomo solamente era una hipótesis. Aparte de la Química orgánica, la Química podía progresar sin recurrir a él (por ejemplo los notables trabajos de H. le Chatelier y R Duhem en termodinámica química). Pocos químico-físicos reconocidos admitían la validez de la ley de Avogadro, inseparable de la noción de molécula, y por lo tanto, de átomos. Si se lograra medir experimentalmente N_A , la realidad molecular sería indiscutible y los antiatomistas estarían definitivamente vencidos. Éste era, en 1908, el ambicioso objetivo que se fijó el químico- físico francés **Jean Perrin** (1870 - 1942), premio Nobel de Física en 1926.

Para ello utilizó coloides, partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión en un líquido. En 1827, el botánico inglés **Robert Brown** habla observado que los granos de polen en suspensión estaban dotados de movimientos irregulares y permanentes. Por una genial analogía, Perrin comprendió que las partículas coloidales en emulsión tenían que comportarse como grandes moléculas gaseosas.

Una vez minuciosamente preparada, no sin dificultades, una emulsión uniforme (a partir de gutagamba, sustancia extraída del látex de un árbol de Malasia), Perrin se dedicó a medir el valor medio del número de estas partículas en agitación incesante en un volumen dado. Determinó de este modo el primer valor del número de Avogadro ($6,7 \cdot 10^{23}$) y constató que es independiente de la temperatura y de las propiedades de los líquidos.

Tras estos primeros trabajos, otros investigadores obtuvieron valores experimentales de N_A , todos ellos coincidentes. Por lo tanto, Perrin había descubierto una constante fundamental de la naturaleza y verificó para siempre la existencia de la realidad molecular.

Sin embargo, la actitud y autoridad de Perrin contribuyó decisivamente al distanciamiento inicial de la química francesa de la revolución cuántica iniciada a principios del siglo XX. Perrin, en 1919, desarrolló la teoría de que las reacciones químicas eran iniciadas por radiaciones luminosas, "teoría radiactiva", alejándose de las teorías sobre interacciones moleculares y reajustes electrónicos de los átomos aceptadas por la inmensa mayoría de la comunidad científica de su época.

Actividad. De Michel Faraday. Se cuenta que, en un diálogo que mantuvieron este científico y un político de la época (a mediados del siglo XIX), a la pregunta planteada por el político de para qué servían sus trabajos sobre **electroquímica y electromagnetismo** se dice que Faraday le tranquilizó respondiéndole que algún día se cobrarían impuestos por ello. Y en otra ocasión contestó con la siguiente pregunta: ¿para qué sirve un recién nacido?

a) ¿Cuáles fueron los trabajos desarrollados por Faraday sobre la electroquímica y cuáles sobre electromagnetismo?

b) Comenta si crees que Faraday tenía razón en la respuesta que le dio al político, sobre la utilidad de sus trabajos.

Actividad. En el año 1985 se sintetizó en el laboratorio una **forma alotrópica del carbono**, el buckminsterfullereno (**C₆₀**). La investigación básica conducente al estudio de su reactividad y propiedades generales ha permitido obtener sustancias que están contribuyendo al desarrollo de medicamentos capaces de combatir el sida. Además, sus sales alcalinas han mostrado propiedades superconductoras, lo que abre la posibilidad de un sinnúmero de aplicaciones tecnológicas, entre las que destacan la fabricación de componentes electrónicos más potentes y miniaturizados que los actuales. Otras aplicaciones, relacionadas con el almacenamiento de información debido al comportamiento ferromagnético de alguno de sus derivados o el empleo del C₆₀ como propulsor de cohetes, son objeto de investigación.

a) Realiza un informe sobre la síntesis de los buckfullerenos y sus principales aplicaciones.

¿QUÉ ESTUDIA LA QUÍMICA?

El campo de estudio de la Química ha evolucionado tan vertiginosamente en los últimos tiempos que resulta difícil enumerar todas las posibles aplicaciones e investigaciones desarrolladas por la misma. Sólo debemos observar a nuestro alrededor para comprobar que casi todos los objetos que usamos han tenido un proceso de transformación, en el cual directa o indirectamente ha contribuido la química.

La causa del gran desarrollo de la Química es precisamente la transformación de la sociedad, que demanda productos mejores y nuevos que le permitan incrementar su calidad de vida. Para ello, distintas disciplinas han unificado sus esfuerzos dando lugar a un desarrollo multidisciplinar de la ciencia. Hoy en día, problemas como la capa de ozono, el sida, la contaminación ambiental, etc., requieren para su solución la colaboración de distintas áreas de la ciencia, siendo de gran importancia la contribución de la Química.

La Química es una ciencia que estudia la composición, la estructura y las propiedades de la materia (desde sustancias tan simples como el agua a otras mucho más complejas como los ácidos nucleicos). Cuando unas sustancias se transforman en otras (reacciones químicas), la Química intenta conocer y establecer los cambios materiales y energéticos producidos, cómo ocurren estos procesos (velocidad y mecanismos) y hasta qué extensión se producen (equilibrio). De esta forma, la Química ha permitido obtener nuevos y mejores materiales (**síntesis química**), a la vez que nos da a conocer la composición y estructura de las sustancias existentes (**análisis químico**).

Sin embargo, los beneficios apoyados por la Química no han estado exentos de riesgos (contaminación, toxicidad de nuevos productos ...). Conocer las potencialidades de la ciencia, en general, y de la Química, en particular, supone integrar este conocimiento científico dentro del conocimiento público, cultural de nuestra sociedad. Por ello, el individuo, independientemente de su futura actividad laboral y como ser social, debe adquirir una formación básica científica. Este bagaje le debe permitir valorar los beneficios y riesgos de todas las actividades humanas y desarrollar, en consecuencia, una mínima capacidad de crítica y de control en un mundo cada vez más impregnado por la ciencia y la tecnología.

Los problemas que trata de resolver la Química tienen una naturaleza muy diversa. En cualquier caso, el conocimiento teórico, en ocasiones sin utilidad aparente o aplicación inmediata, alimenta y fundamenta las áreas en las que la Química se especializa con un fin práctico determinado. La investigación química básica puede generar, con posterioridad o de forma paralela a su realización, diversas aplicaciones. A lo largo de este curso se irán ilustrando algunos de estos avances y desarrollos científicos. Los trabajos de Faraday en el siglo XIX y los buckfullerenos sintetizados en 1985, ya comentados brevemente son dos situaciones que pueden ser clarificadoras.

El conocimiento químico se desarrolla y aplica en diferentes áreas en donde la química se especializa con fines concretos. Podemos mencionar a este respecto la Bioquímica, la Geoquímica, la Astroquímica, la Agroquímica, la Química Farmacéutica, la Ingeniería Química, la Química Ambiental, la Metalurgia, la Oceanografía y la Ciencia Espacial. Este aspecto lo desarrollaremos ahora mediante dos lecturas. La primera está relacionada con la Medicina y la segunda con la Agricultura.

LA QUÍMICA Y SU APORTACIÓN CONTRA LA MALARIA

La malaria es una de las enfermedades de mayor índice de mortalidad a lo largo de la historia de la humanidad. Sus síntomas más visibles son la aparición de fiebres intensas y periódicas. Su área de expansión se asocia a climas cálidos y regiones húmedas, siendo la plaga más temida en los países tropicales.

La quinina se ha empleado como remedio natural en el tratamiento de la malaria.

El primer remedio documentado contra la malaria tiene origen en el nuevo mundo. En 1630, el virrey de Perú gracias a la intervención de su esposa, la condesa de Chinchón, fue curado espectacularmente gracias a unos polvos suministrados por su confesor jesuita. Los polvos curativos procedían de la corteza del árbol autóctono de los Andes denominado en lengua vernáculo 'Kina-Kina', bautizado con el nombre de *Chinchona* (en honor a la condesa curada) y actualmente denominado quino (su corteza se denomina quina). Los jesuitas divulgaron y monopolizaron el uso de la quina durante el siglo XVII, por lo que se le denominó el polvo de los jesuitas.

Durante el siglo XVIII, se realizaron varias expediciones europeas a los Andes con el objetivo de estudiar y exportar la planta productora de la quina. Sin embargo, no fue hasta 1817 cuando se aisló el principio activo de la quina, la quinina, gracias a los farmacéuticos franceses Pelletier y Caventou.

A finales del siglo XIX y principios del XX se desarrollaron grandes extensiones de cultivo del quino en regiones de la India, Ceilán y Java, dando lugar a un importante comercio de su corteza monopolizado principalmente por comerciantes holandeses.

La malaria fue combatida eficazmente con la quina, aun desconociendo su causa. Fue en 1880, cuando el médico castrense Alfonso Laveran descubrió su origen parasitario al analizar con un microscopio la sangre de un paciente.

La malaria es una enfermedad debida a un parásito de la sangre del género *Plasmodium*, que es transmitido por la hembra de un mosquito del género *Anopheles*. El mosquito inyecta el parásito contenido en su saliva, el cual una vez introducido en el organismo penetra en las células del hígado reproduciéndose hasta romperlas, invadiendo después los glóbulos de la sangre.

El estudio de la quinina permitió en 1930 a químicos alemanes sintetizar el Atabrine (clorhidrato de quinacrina), más eficaz y menos tóxico que la quinina. A finales de la II Guerra Mundial los químicos habían logrado sintetizar un derivado más efectivo en dosis menores y menos tóxico que los anteriores, la cloroquina.

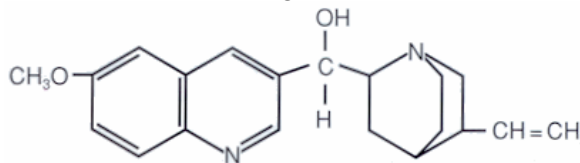
A pesar de los avances médicos, el parásito responsable de la malaria ha desarrollado recientemente cepas resistentes a los fármacos usados hasta ahora. A la vez, algunos tipos de mosquitos del género *Anopheles* se han hecho resistentes a insecticidas convencionales. Todo ello ha conducido al resurgimiento de la malaria en países tropicales.

Recientemente, el médico colombiano **Manuel Eikin Patarroyo** (1947-) ha elaborado una vacuna sintética mediante un procedimiento químico (denominado científicamente APF66). Ha sido probada en Latinoamérica con más de 30000 personas comprobando que su eficacia oscila entre el 40 y 60%, aunque asciende al 77% en niños menores de 5 años. Sin embargo, en África y Asia, donde el problema es más grave, se desconocen los resultados de su eficacia. M. E. Patarroyo trabaja en colaboración con el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España con el objetivo de erradicar la malaria.



Ha donado los derechos de su vacuna a la OMS lo cual ha provocado el recelo de la influyente industria farmacéutica. Ha recibido el premio Príncipe de Asturias en 1994.

Actualmente, la cantidad que se dedica en todo el mundo a la lucha contra la malaria supone únicamente la mitad de lo que un país como el Reino Unido dedica a combatir el cáncer.



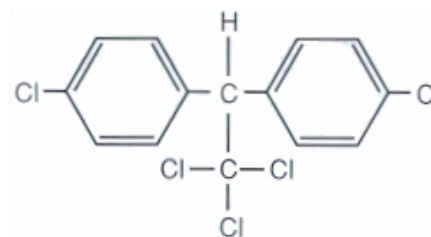
ACTIVIDAD: Identifica en esta lectura sobre la malaria las tres fases que han supuesto el desarrollo de la medicina: **a)** uso de plantas o partes de ellas **b)** extracción de principios activos y **c)** síntesis de medicamentos que no existen en la naturaleza.

LA QUÍMICA Y SU LUCHA CONTRA LAS PLAGAS

El origen del uso de sustancias químicas defensivas lo encontramos en la propia naturaleza: muchas plantas segregan sustancias destinadas a protegerse de la invasión de insectos y parásitos perjudiciales para ellas. El desarrollo de la agricultura, como recurso básico, ha dado lugar a buscar medios destinados a eliminar las plagas que afectan a la producción agrícola. Para ello, se han desarrollado sustancias (los plaguicidas) destinadas a eliminar aquellos organismos (insectos, parásitos, ácaros, arácnidos, hongos, etc.) que perjudican directamente la producción de las tierras de cultivo.

El uso y el desarrollo de los plaguicidas de origen sintético tuvo un gran auge al final de la II Guerra Mundial. La necesidad de suministrar productos alimenticios a gran escala y de forma rentable, en una época de resurgimiento económico, dio lugar a la búsqueda de productos que garantizaran dichos requerimientos. El descubrimiento de plaguicidas organoclorados -DDT, aldrín, endrín- hizo posible la erradicación de plagas y la protección de los cultivos. Sin embargo, pronto se advirtieron peligros en la aplicación de estos plaguicidas.

El DDT fue uno de los plaguicidas más usados después de la II Guerra Mundial (ha sido utilizado para eliminar el mosquito transmisor de la malaria). Sin embargo, el uso del DDT ha evidenciado que la gran estabilidad del mismo da lugar a que afecte a toda una cadena alimentaria, acumulándose en los tejidos grasos de seres superiores, cuya concentración puede ser tóxica. Por ello, el uso del DDT ha sido prohibido en muchos países, aunque se sigue empleando para luchar contra la malaria en amplias zonas de Iberoamérica.



La enorme estabilidad de productos como el DDT (una molécula de DDT se descompone tan lentamente que puede permanecer años inalterada), la no especificidad de la toxicidad del plaguicida que daba lugar a la muerte de otros seres vivos (pájaros, peces, animales ...) y la disminución de la eficacia de los plaguicidas, por el incremento de especies resistentes a los mismos, dieron lugar a una seria reflexión sobre el uso y fabricación de los plaguicidas.

Por otra parte, productos como el hexaclorobenceno (HBC), usado como fungicida en las plantaciones de trigo, provocaron la muerte de más de 4000 personas en Turquía, dando lugar al nacimiento de una nueva enfermedad bautizada con el nombre de "porfiria turca". Otro caso documentado se refiere al uso del paratión (plaguicida que posee un agente inhibidor de una enzima del sistema nervioso) que dio origen a graves enfermedades y muertes en Túnez a finales de los años 70. Pero no sólo se han detectado grandes peligros en la salud humana por el uso de ciertos plaguicidas, sino que se ha comprobado la existencia de graves perjuicios en el medio ambiente.

El riesgo del uso de ciertos plaguicidas ha dado origen a la adopción, en los países desarrollados, de normativas destinadas a regular la composición y uso de los mismos, con el objetivo de evitar los riesgos de intoxicación y daños medioambientales. Sin embargo, dichas normativas no son iguales en todos los países, e incluso no existen en algunos, dando lugar a una diferenciación entre países productores de plaguicidas (tecnológicamente avanzados) y países consumidores (carentes de recursos).

Un ejemplo demostrativo de la ambigüedad reseñada es el plaguicida denominado fosvel. Dicho producto, de origen norteamericano, es un compuesto orgánico de fósforo, que posee una acción neurotóxica, irreversible y retardada (sus efectos aparecen al cabo de días). Por ello ha sido terminantemente prohibido en Estados Unidos. Sin embargo, el fosvel es producido en Estados Unidos y vendido en otros países (latinoamericanos, africanos y asiáticos).

Pero nuestra sociedad exige la búsqueda de productos alternativos más eficaces, menos tóxicos y no contaminantes. Distintas disciplinas científicas han unificado sus esfuerzos para dar soluciones apropiadas a las exigencias sociales. Así por ejemplo, la manipulación genética o el uso de **feromonas** son aplicados con resultados muy positivos en el control de las plagas.

Las feromonas son sustancias químicas usadas en la comunicación entre los insectos, siendo la feromona sexual la de mayor poder fisiológico. El biólogo identifica los insectos perjudiciales de un determinado cultivo, estudiando su ciclo de reproducción. Por su parte, el químico analiza y sintetiza la feromona sexual del insecto con el objetivo de defender el cultivo de la acción del insecto. Las feromonas son aplicadas mediante trampas o son dispersadas al medio ambiente con la finalidad de confundir al macho, e impedir su reproducción (el macho copula sobre cualquier cosa que posea la feromona).

Actividad: Nombra sustancias que conozcas, tanto naturales como artificiales, e indica los beneficios que comporta su empleo, señalando las posibles precauciones que deben tomarse en su utilización.

Realiza una tabla comparativa mostrando las ventajas de las feromonas y los plaguicidas.

Tabla comparativa mostrando las ventajas de las feromonas y los plaguicidas.

FEROMONAS	PLAGUICIDAS
Son selectivos, sólo aceptan a ciertas especies.	Dan muerte a un gran conjunto de insectos distintos.
No alteran el <u>equilibrio ecológico</u> .	<u>Destruyen el equilibrio biológico</u> .
No son tóxicos y son biodegradables, lo <u>cual impide su acumulación</u> .	Algunos plaguicidas son muy tóxicos, <u>pudiendo ser altamente estables</u> .
No se han detectado mecanismos de <u>defensa por parte de los insectos</u> .	Los insectos con el tiempo se hacen <u>resistentes al plaguicida</u> .
Se precisa poca cantidad de producto.	Es necesario aplicar grandes cantidades de producto, e incluso combinar distintos plaguicidas.

S. Ramón y Cajal (1852-1934) premio Nobel en medicina del año 1906) escribía: "La producción del hombre de ciencia, como toda actividad del espíritu, brillase condicionada por el medio físico y moral. Con razón se ha dicho que el sabio es planta delicada susceptible de prosperar solamente en terreno especial, formado por el aluvión de secular cultura y labrado por la solicitud y estimación sociales. En ambiente favorable, hasta el apocado siente crecer sus fuerzas, en medio hostil e indiferente abate el ánimo del más templado".

Enrique Moles (1883-1953) aplicó métodos físico-químicos en las determinaciones de las masas atómicas y moleculares, tomando como patrón la masa atómica del oxígeno ($m_o = 16,0000$). Sus determinaciones másicas fueron desarrolladas con métodos de alta precisión experimental. En esta tarea tuvo que desarrollar un amplio trabajo en la obtención y purificación de las sustancias químicas en estado gaseoso

¿CÓMO SE TRABAJA EN QUÍMICA?

El hombre, por su propia condición humana, necesita conocer los secretos de la naturaleza. Para responder a los interrogantes planteados, la humanidad ha tratado de relacionar la caótica diversidad de nuestra experiencia personal con un sistema lógico y uniforme de pensamiento.

El trabajo en Química, igual que el trabajo del científico en otras disciplinas como la Física, la Biología, la Medicina, etc. Se fundamenta en la denominada genéricamente **metodología científica**.

La metodología científica es el proceso creativo en el que confluyen e interaccionan tres actividades básicas: observar críticamente, generar ideas y contrastarlas. La observación inquisitiva y crítica es el proceso que permite plantear interrogantes por resolver e iniciar el proceso de búsqueda de respuestas. Todas las observaciones están mediatizadas por el interés y las concepciones personales del investigador, y son precisamente dichas concepciones las que proporcionan posibles soluciones cuya contrastación experimental les dará validez. Este proceso creativo está influenciado por el contexto personal, científico y social de las personas que lo desarrollan. Además, el proceso de formación de un investigador requiere un proceso lento de aprendizaje dentro de un equipo de trabajo para familiarizarse con un lenguaje determinado, unas técnicas concretas, en donde el tesón es una cualidad determinante. El científico debe estar abierto a cualquier novedad o crítica, aprender a valorar las cosas bien hechas y desarrollar capacidades relacionadas con la originalidad, la creatividad y la curiosidad.

Sin pretender analizar todos los aspectos que intervienen en el trabajo científico intentaremos responder tres preguntas básicas:

¿Por qué surgen las investigaciones?

¿Cómo se desarrollan las investigaciones?

¿Qué sucede con los resultados de las investigaciones científicas?

¿POR QUÉ SURGEN LAS INVESTIGACIONES?

G. Bachelard, profesor francés de química e influyente pensador del siglo XX señaló: "Para un espíritu científico, todo conocimiento es una respuesta a una pregunta. **Sin problema previo no puede haber conocimiento científico**. Nada es espontáneo. Nada está dado. Todo se construye. El hombre, animado por el espíritu científico, sin duda desea saber, pero es, por lo pronto, para interrogar mejor."

El origen de una investigación se enmarca dentro de un problema que debe ser resuelto y posee una naturaleza muy diversa: una necesidad técnica, una demanda social o una inquietud meramente científica. No obstante, toda investigación requiere medios técnicos, humanos y económicos importantes, los cuales condicionan la puesta en marcha y su posterior desarrollo. Por ello, muchas investigaciones se inician con el objetivo de obtener aplicaciones prácticas inmediatas que permitan costearlas o justificarlas. Sin embargo, este afán de rentabilizar los procesos de investigación ha despertado la alarma en el mundo científico, puesto que la investigación encaminada a comprender el mundo que nos rodea y enajenada de utilidades prácticas corre el peligro de verse privada de la financiación necesaria. La curiosidad y la creatividad científicas encuentran difícil justificación dentro de parámetros puramente eficientistas. Una mínima mirada a la historia de la ciencia muestra los peligros que una política restrictiva de este tipo puede ocasionar en la generación del conocimiento científico.

¿Cómo se desarrollan las investigaciones?

Cada investigación desarrolla su propio método. Por ello, no podemos hablar de un prototipo o método general. Sin embargo, todas las investigaciones científicas comparten un conjunto de características:

☞ **La consulta bibliográfica:** Toda investigación es precedida de un amplio e intenso estudio de la información disponible sobre el origen de la misma. Dicho trabajo de recopilación de información tiene una doble finalidad: obtener información sobre los conocimientos del problema y orientar el procedimiento para resolverlo.

☞ *La emisión de hipótesis de trabajo:* El análisis de la información disponible permite formular suposiciones lógicas y contrastables (**hipótesis**) que ofrezcan posibles soluciones al problema planteado. Dichas tentativas de solución son planteadas desde un determinado marco teórico que condiciona el desarrollo de la investigación.

☞ *La contrastación de las hipótesis:* Toda hipótesis viene acompañada de un proceso de búsqueda de datos cuyo análisis permita verificarla. Este proceso conlleva el diseño de los **experimentos** necesarios que proporcionarán los resultados para comprobar la posible validez de las hipótesis formuladas. El análisis de los datos experimentales permite establecer relaciones invariables entre magnitudes (**leyes**), las cuales son expresadas mediante un enunciado verbal o matemático conciso, y poseen un determinado y siempre restringido campo de validez.

☞ *Establecimiento de teorías:* El objetivo último de los científicos es establecer **teorías científicas**. Las teorías suponen un intento de explicar las observaciones, hipótesis y leyes.

¿Qué es una Teoría científica? La **teoría científica** es una estructura compleja de conceptos basada en la abstracción humana, y que se fundamenta en su capacidad de describir, relacionar y predecir hechos experimentales y observaciones.

Toda teoría condiciona las futuras observaciones y posee un carácter activo, puesto que cambia y se desarrolla en función de los hechos experimentales, pudiendo ser sustituida por otras teorías mejores (estatus temporal).

¿Qué sucede con los resultados de las investigaciones científicas?

Toda investigación se comunica al resto de científicos. En este proceso se establecen los mecanismos de comunicación apropiados: revistas especializadas, congresos y seminarios e incluso medios como internet o vídeo-conferencias. El objetivo de dicha labor divulgadora es dar a conocer toda nueva investigación o descubrimiento a la comunidad científica para su análisis, crítica, comprobación, revisión, ampliación o refutación. En este proceso evaluador pueden entrar factores subjetivos de distinta índole que traten de impedir o limitar aportaciones novedosas o que planteen contradicciones a las teorías vigentes. En otras ocasiones, una vez publicado un artículo puede pasar inadvertido o ser ignorado por la comunidad científica. En otras, por el contrario, el prestigio de uno de los firmantes puede ser suficiente para que un artículo se publique o que se cite reiteradamente, a pesar de que pueda ser de escasa relevancia o incluso tener datos o interpretaciones incorrectas. En cualquier caso, el conocimiento científico es un conocimiento público y consensuable (consenso de la comunidad científica) de modo que un principio democrático general permite rebatir por unos científicos los resultados y predicciones realizados por otros.

Los trabajos científicos pueden servir para consolidar las teorías científicas vigentes o pueden dar lugar al cuestionamiento de determinados aspectos de dichas teorías. Debemos tener en cuenta que una teoría generalmente no puede explicar satisfactoriamente todos los fenómenos, y no por ello deja de ser buena. Sólo aquellos hechos que no pueden ser explicados y que son considerados fundamentales, provocarán un proceso de reformulación de la teoría a fin de adaptarla y ampliarla o, si no hay más salida, desarrollar nuevas teorías que expliquen los hechos anteriores, predigan nuevos hechos y orienten el trabajo futuro de los científicos.

Como ejemplo del comportamiento de la comunidad científica a dos aportaciones novedosas proponemos dos lecturas. En la primera se muestra la actitud reticente de los científicos a aceptar la ley de las octavas de Newlands. En la segunda centraremos nuestra atención aparte de otros aspectos también relevantes, en la importancia de la reproducibilidad como elemento esencial que garantiza la validez de los descubrimientos científicos.

Como resumen final podemos afirmar que el conocimiento científico es el producto de una actividad compleja que está integrada esencialmente por tres etapas: generación de hipótesis (etapa creativa), la comprobación de las hipótesis (etapa de *validación*) y la incorporación al cuerpo de conocimientos (etapa de *evaluación*). Este proceso se inscribe en un marco científico y social que lo condiciona, y es controlado por la comunidad científica. Así, precisamente, la comprobación experimental y la contrastación (**reproducibilidad**) por los miembros de la comunidad científica garantiza la objetividad y validez de los descubrimientos científicos, independientemente de los intereses o preferencias personales de los individuos que la integran.

Científico	Tema	Año	Actitud de la comunidad científica
H. Eyring	Teoría del complejo activado	1935	El artículo fue rechazado inicialmente. Actualmente, la teoría del complejo activado es fundamental en la química.
G. Seatchurd	Interacciones proteínas-iones	1949	Inicialmente fue ignorado por la comunidad científica; posteriormente se convirtió en uno de los 100 artículos más citados.
B. P. Besulov	R. químicas oscilantes	1959	Teoría rechazada por parecer que contradecía los principios básicos de la termo- dinámica; actualmente es un área importante de investigación.
S. Weinberg	Física nuclear	1967	Su trabajo sobre los leptones fue ignorado inicialmente por la comunidad científica, siendo posteriormente galardonado con el Premio Nobel.
M. J. Berridge	Mensajes celulares	1993	Su publicación fue rechazada por varias revistas científicas, y una vez publicad recibió cuatro prestigiosos premios internacionales.

ASPECTOS SOCIALES DE LA QUÍMICA

La Química es una ciencia que desarrolla su actividad en un marco social, cultural e histórico que condiciona su evolución. Por una parte, la sociedad adquiere una imagen del químico y de su actividad, y por otra parte el trabajo de las personas dedicadas al desarrollo de la Química está influenciado por su entorno social y político.

La imagen social de la Química

La sociedad muchas veces ha creado estereotipos sobre la Química y los químicos, fundamentados en simplificaciones y generalizaciones que tienen connotaciones más emocionales que de tipo racional. No obstante, es posible que en determinados contextos históricos las actividades de ciertos científicos hayan potenciado dichos estereotipos.

Uno de los estereotipos existentes es identificar lo artificial como nocivo (ej. contaminante, tóxico, explosivo, venenoso, etc.), en oposición a lo natural como bueno o saludable, atribuyendo el proceso de creación de los productos artificiales a la química. Es frecuente oír expresiones del tipo "no comas eso que es todo química", "ese producto no lo compres, mira la etiqueta y comprobarás que es todo artificial", que contienen connotaciones negativas hacia la Química. Sin embargo, un análisis racional nos permitirá comprender la simplicidad de dichas afirmaciones.

Si entendemos como naturales aquellos productos que no han sufrido la acción directa o indirecta del hombre, comprobaremos que el conjunto de productos posibles es muy escaso. En dichos supuestos productos naturales podríamos encontrar los venenos más potentes de la naturaleza, pertenecientes a **ciertos** reptiles e insectos. Sin embargo, no es necesario recurrir a sustancias "especiales" para evidenciar la toxicidad de algunos "productos naturales": determinados vegetales tan cercanos a nosotros como el tomate, las habas, las manzanas, el plátano, la zanahoria ... han desarrollado sus propias defensas hacia los insectos en forma de alcaloides, que pueden ser tóxicos en determinadas dosis. Por otra parte, nuestro organismo no diferencia si las vitaminas esenciales para su correcto funcionamiento proceden de un producto natural o son de origen sintético, ya que ambas sustancias son indiferenciables. Pese a la supuesta nocividad de los productos no naturales, la síntesis de vitaminas en los laboratorios ha garantizado su accesibilidad en los casos de no poder disponer de ellas.

Son innumerables los ejemplos mediante los cuales podemos demostrar cómo la síntesis de nuevos productos ha permitido imitar, reproducir e incluso mejorar las propiedades de las sustancias naturales. Nuevamente, a título de ejemplo, te sugerimos que recuerdes o vuelvas a leer las lecturas que te proporcionamos acerca de la obtención de la aspirina y la síntesis del amoníaco.

Por otra parte, debemos tener presente que la acción inconsciente e irreflexivo de determinadas actividades humanas ha dado lugar a problemas como la disminución de la capa de ozono, el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación de aguas ... y una larga lista. Pero, es indudable que la solución de todos los problemas existentes y futuros debe contar con la participación activa y coordinada de científicos de distintos campos. La solución de un problema requiere muchas veces la acción conjunta de la Biología, de la Medicina, de la Física, de la Química, etc. Las soluciones corresponde presentarlas a los científicos; su grado y plazos de aplicación es una responsabilidad política y administrativa, que debe ser controlada por la sociedad.

El trabajo de químico condicionado por su entorno social e histórico

La historia de la ciencia muestra que factores religiosos, culturales, concepciones vigentes, etc. han sido determinantes a la hora de orientar, desarrollar, descartar e incluso frenar el conocimiento científico. En este sentido, el contexto **histórico** y las propias características personales son dos factores que condicionan el trabajo científico.

BIOGRAFIAS DE CIENTÍFICOS Y SUS INFLUENCIAS SOCIALES

Como ejemplos ilustrativos de la interacción del científico con su entorno, analizaremos la vida de dos químicos reconocidos por la comunidad científica. En primer lugar, analizamos la vida del químico español Enrique Moles (1883-1953), centrada en impulsar el desarrollo científico de su país, y que acabó siendo víctima de su entorno histórico (la guerra civil española y sus consecuencias). Para finalizar, presentamos un resumen de la vida de Linus Pauling, prestigioso químico norteamericano cuyo activo papel pacifista condicionó su actividad científica en una época caracterizada por la denominada guerra fría, otorgándole el premio Nobel de la Paz cuando ya se le había concedido el premio Nobel de Química anteriormente.

ENRIQUE MOLES ORMELLA (1883-1953)

En todos los libros de texto suele hacerse mención de los grandes científicos que impulsaron el desarrollo de alguna disciplina. Dichos científicos son más destacados cuando son originarios del país donde se edita el libro. Sin embargo, pocos libros de texto de química hacen referencia a españoles relevantes.

No obstante, la carencia de referencias a científicos españoles no significa, obviamente, que no hayan existido importantes personalidades nacionales que obtuvieran un reconocimiento internacional por su trabajo. Quizás el químico Enrique Moles Ormella (Barcelona, 1883 - Madrid, 1953), sea uno de los casos más significativos de nuestra historia.

La labor de **Enrique Moles** obtuvo el mayor reconocimiento científico de su época, pero a pesar de ello su trabajo fue inicialmente truncado y posteriormente silenciado como consecuencia de las circunstancias sociales y políticas, en las cuales se desarrolló su vida.

En la actividad profesional del científico Enrique Moles se presentan distintos aspectos dignos de reseñar:

(a) Su preparación académica: Becado por la Junta de Ampliación de Estudios (organismo creado en 1907 para impulsar el desarrollo científico español), doctorado en Farmacia (Madrid, 1906), en Física (Ginebra, 1916) y en Ciencias Químicas por partida doble (Liepzig, 1928 y Madrid, 1922). Catedrático de Química Inorgánica de la Universidad de Madrid y jefe de la Sección del Instituto Nacional de Física y Química.

(b) Su labor docente: las innovaciones más importantes que introdujo Moles en el campo didáctico fueron la introducción del Sistema Periódico como elemento estructurante de su programación, dando lugar a una exposición más racional de la Química, e impulsar la realización de trabajos prácticos e investigaciones como elemento esencial de formación.

(c) Su labor investigadora: Su trabajo científico no se reduce a sus más de 260 artículos publicados (desde 1902 hasta 1953), ni a sus innumerables conferencias impartidas por España y Latinoamérica, sino que consciente de la importancia de las sociedades científicas impulsó la creación de las mismas en toda España; a la vez, participó activamente en la consolidación de la revista científica española "Anales". Dicha labor encontró su apogeo al organizar el IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada, celebrado en Madrid en 1934.

Los trabajos científicos de E. Moles abarcan un amplio campo de la Química: estudios sobre las propiedades magnéticas de las sustancias, investigaciones sobre las características de las disoluciones y disolventes, determinación de la composición de las sustancias.... Pero fueron sus determinaciones y revisiones experimentales de las masas atómicas las que le proporcionaron prestigio internacional.

Moles aplicó métodos físico-químicos en las determinaciones de las masas atómicas y moleculares, tomando como patrón la masa atómica del oxígeno ($m_o = 16,0000$). Sus determinaciones másicas fueron desarrolladas con métodos de alta precisión experimental. En esta tarea tuvo que desarrollar un amplio trabajo en la obtención y purificación de las sustancias químicas en estado gaseoso. Como muestra de la exactitud de sus resultados experimentales exponemos un cuadro comparativo de los valores de algunas masas atómicas.

Elemento	Masa atómica aceptada con anterioridad	Masa atómica determinada por E. Moles (1920 – 1936)	Masa atómica aceptada actualmente
H	1,00	1,0078	1,0079
F	19,02	18,998	18,998403
N	13,993	14,008	14,07
Ar	39,88	39,94	39,948



Como reconocimiento a su trabajo científico fue nombrado miembro permanente de las Comisiones Internacionales de Pesos Atómicos (llegando a ser designado secretario) y de Patrones químico-físicos.

El hecho más peculiar de la vida de E. Moles fue la influencia que tuvieron en su labor científica las circunstancias sociales y políticas en que vivió. Su trabajo fue marcado por las consecuencias de la guerra civil española (1936-39). Se exilió a París, donde en reconocimiento a su labor científica fue nombrado "Maitre de Recherche" por el gobierno francés. Posteriormente, en 1941, al volver a España fue encarcelado por razones políticas y condenado a muerte por rebeldía militar. La pena le fue conmutada a cadena perpetua; a sus 60 años fue liberado.

La vida de Enrique Moles constituye un claro ejemplo del científico entusiasmado en impulsar el avance científico de su país, más allá de las circunstancias adversas de su vida. Prueba de ello es que aún encarcelado publicó, en revistas extranjeras, varios artículos científicos. Una vez puesto en libertad, siguió investigando en los laboratorios farmacéuticos Ybys hasta su fallecimiento.

La labor científica de Moles fue ampliamente reconocida en los foros internacionales, como lo demuestran la gran cantidad de premios y distinciones que le fueron concedidos, mientras que en su país fueron intencionadamente ignorados y silenciados.

Otros químicos que habían hecho florecer la química española durante el primer tercio del siglo XX se vieron también obligados a abandonar nuestro país. En Química Orgánica destacaron J. Giral Pereira, su hijo F. Giral González, A. Medinaveitia Tabuyo y su hijo J. Medinaveitia Jungerson; todos ellos continuaron en México sus relevantes investigaciones. El catedrático de Química Inorgánica A. Pérez Vitoria emigró en 1939 a Francia donde colaboró con la UNESCO y fue director de la revista *Impact*.

El químico más importante de este siglo

Linus Pauling nace en el año 1901 en el estado de Oregón (USA). A los 21 años inicia sus estudios de doctorado en el *California Institute of Technology (CalTech)*. En esta época este centro de investigación se empezaba a convertir en uno de los más importantes del mundo. Allí trabajaban o realizaban visitas los científicos más relevantes interesados por el comportamiento de los átomos. Entre ellos, varios premios Nobel de Física como **N. Bohr**, **A. Einstein** y **R. Millikan**. Por tanto, las discusiones científicas que se producían eran constantes y de más alto nivel y Pauling tuvo la oportunidad de escuchar, discutir y aprender con esta pléyade de grandes científicos. Una vez finalizado su doctorado con la máxima calificación obtiene una beca que le permite trasladarse a Europa para trabajar en los laboratorios de los físicos más eminentes, algunos de ellos merecedores del premio Nobel de Física como el ya mencionado **N. Bohr** (Copenhague), **E. Schrödinger** (Zurich) y **W.H. Bragg** (Londres).



Una vez de vuelta a California se reincorpora al CalTech. En el año 1931 inicia la publicación de una serie de siete artículos en los que aplica al terreno de la Química sus enormes conocimientos mecanocuánticos. En el primer artículo de la serie sostenía, al igual que ya había hecho **G.N. Lewis**, que las propiedades de las moléculas dependen de sus enlaces. Sin embargo, hay ahora una nueva explicación del enlace químico derivada de la mecánica cuántica.

En la década de los años treinta inicia una nueva actividad de investigación relacionada con la biología molecular. La compaginación de esta actividad con sus trabajos acerca del enlace químico fue decisiva a la hora de estudiar la estructura de las proteínas, la hemoglobina de la sangre y otras macromoléculas naturales. En el año 1939 publica el libro ***The Nature of Chemical Bond*** dedicado a G.N. Lewis que iba a causar una enorme influencia en la formación de los químicos de todo el mundo durante las siguientes décadas. Sus investigaciones en el campo del enlace químico y en la estructura de las moléculas le hicieron merecedor del premio Nobel de Química en 1954.

Pero Pauling tenía también otros intereses y preocupaciones. Las dramáticas consecuencias del lanzamiento de bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki y el desarrollo del armamento nuclear iniciado a partir de la Segunda Guerra Mundial, le hicieron tomar un posicionamiento activo en contra de la carrera armamentista. Esta actitud como ciudadano le generó dificultades con sus propios compañeros del Caltech y con las autoridades del gobierno. El mantener en público -prensa y televisión- opiniones contrarias a la oficial le ocasionaron problemas para realizar su trabajo como científico. Así, en mayo de 1952 se le negó el pasaporte para asistir en Londres a una conferencia internacional acerca de la estructura de las moléculas. Su postura antibélica no le permitió salir del país y tener acceso a fotografías de rayos X del ADN de gran calidad a las que sí tuvieron acceso otros investigadores como **J.D. Watson** y **F. Crick**. Todas estas circunstancias ayudaron a que estos dos científicos, basándose también en trabajos del propio Pauling, se adelantaran a la hora de establecer la estructura correcta del ADN, privándose así de un segundo (y merecido) premio Nobel. Sin embargo, toda su actividad en contra de las pruebas nucleares se vio recompensada por la concesión del premio Nobel de la Paz del año 1962.

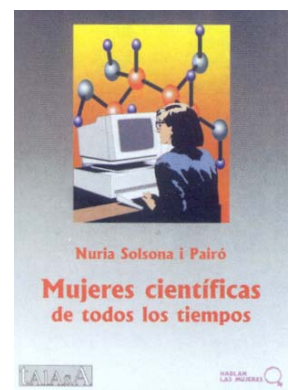
En 1964 Pauling abandona el CalTech pero sigue impartiendo clases e investigando, centrándose ahora en el conocimiento del metabolismo humano. La vitamina C es uno de sus objetos de estudio, llegando a tener la convicción de que grandes dosis de esta vitamina, ingeridas diariamente, prevenían contra el cáncer y otras enfermedades. Algunos de sus artículos en este campo fueron muy controvertidos. Pauling, sin embargo, decía probar consigo mismo los efectos de ingestión diaria de grandes cantidades de vitamina C. Murió el 19 de agosto de 1994.

En el curso de su vida publicó más de 600 artículos científicos y fue *Doctor Honoris Causa* de 40 universidades. Además, la publicación del libro ya citado y de otro de *Química General* -en donde daba un nuevo enfoque a la enseñanza de la Química basado en la estructura atómica y molecular- facilitaron de forma decisiva la formación de millones de estudiantes de todo el mundo.

A.1 Algunos libros y películas (recuerda por ejemplo "Frankenstein "o diferentes "profesores chiflados" como J. Lewis o R. Williams) nos muestran una imagen estereotipada de los científicos. De esta forma, suelen aparecer trabajando solos, únicamente muestran interés por sus investigaciones, viviendo casi ausentes del mundo que les rodea. Valora este tipo de presentación, realizando los comentarios que creas oportunos.

A.2 Nombra al menos diez personas cuya contribución al conocimiento científico haya sido de especial relevancia, señalando en cada caso sus contribuciones más sobresalientes.

A.3 ¿Cuántas mujeres has nombrado en la actividad anterior? Amplía la lista citando, al menos, diez mujeres de relevancia científica?



MIGUEL A. CATALÁN SAÑUDO Y SU APORTACIÓN AL DESARROLLO DE LOS MODELOS ATÓMICOS: EL DESCUBRIMIENTO DE LOS MULTIPLETES ESPECTRALES

La aportación más importante de la ciencia española al desarrollo de los modelos atómicos fue debida al eminente químico Miguel A. Catalán Sañudo (Zaragoza, 1894 - Madrid, 1957).

La labor investigadora de Catalán se inicia en 1915 cuando se traslada desde Zaragoza a Madrid para realizar sus tesis doctoral (en la actualidad siguen siendo los programas doctorales el comienzo de proyectos de investigación para los jóvenes científicos españoles). Allí, se incorporó a la sección de espectroscopia del laboratorio de Investigaciones Físicas bajo la dirección de Ángel del Campo y Cerdán (químico ilustre iniciador en España de la aplicación de técnicas espectrales). La preparación de la tesis doctoral permitió a Catalán adquirir una formación básica en la espectroscopia experimental y centrar su interés en la búsqueda de

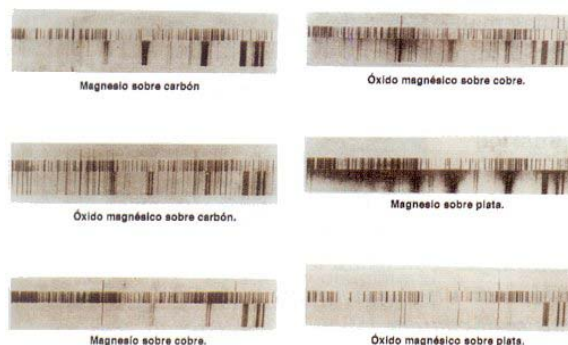


modelos interpretativos, que permitieran descifrar la información contenida en las rayas espectrales.

En 1920, Catalán fue becado para ampliar sus estudios en el londinense *Imperial Institute of Science and Technology* bajo la dirección del astrofísico Alfred Fowler. Durante su permanencia en Londres, Catalán realizó el descubrimiento que permitió revelar la clave interpretativa de los espectros complejos.

El descubrimiento realizado por Catalán se centraba en el análisis de los espectros de los átomos pesados (como el Mo o el Fe) caracterizados por su extremada complejidad: algunos de sus espectros contenían más de 3000 líneas. Hasta este momento, los científicos habían podido obtener éxitos notables en la interpretación de espectros simples, como el del hidrógeno, pero resultaba prácticamente imposible poder interpretar los espectros de átomos pesados.

Catalán realizó un amplio estudio del espectro del manganeso descubriendo la existencia de varios grupos complejos de líneas que denominó "multipletes", formados algunos de ellos por incluso 14 líneas. En



cada multiplete las líneas eran de carácter similar y poseían una distribución regular.

El primer fruto del descubrimiento realizado por Catalán lo obtuvo el físico alemán Sommerfeld, quien, basándose en la existencia de los multipletes, elaboró una teoría interpretativa de la estructura atómica del átomo según el modelo de Bohr, e introdujo la idea de números cuánticos internos que ampliaban las cuantizaciones al átomo. El propio Sommerfeld expuso en 1925 en una conferencia sobre física atómica pronunciada en la Universidad de Londres: "*Nuestro conocimiento de los espectros complejos ha hecho un rápido progreso los últimos cuatro años, y el ímpetu primordial de este desarrollo fue dado por una publicación de M. Catalán, sobre el espectro del manganeso; yo me beneficié de sus trabajos gracias a que conocí a Catalán en Madrid, y tuve información de primera mano sobre nuevos multipletes y pude entonces adscribir a esos niveles sus números cuánticos. Mi discípulo Karl Bechert, empieza también a trabajar con el método Catalán y tras él gran número de físicos de todos los países están trabajando en estas laboriosas pero en verdad importantísimas investigaciones*".

Sin embargo, la labor de tan eminente científico español se vio truncada por el entorno social en el que vivió. La guerra civil española (1936-39) y la postguerra apartaron a Catalán de sus investigaciones científicas.

No obstante, el trabajo científico de Miguel A. Catalán tuvo un reconocimiento oficial cuando en 1969 la Unión Internacional de Astronomía (doce años después de su fallecimiento) acordó dar el nombre de Miguel Catalán a uno de los cráteres de la Luna.