

APUNTES DE CIENCIAS

Panorama general de la Química: didáctica, investigación y nuevas posibilidades

LA Asamblea General de las Naciones Unidas ha proclamado 2011 como Año Internacional de la Química. Este hecho nos obliga a reflexionar sobre el desarrollo y evolución de dicha disciplina tanto en nuestra vida diaria, como en otras múltiples facetas relacionados con la salud o las nuevas tecnologías. Entre las primeras, podemos citar el tratamiento y elaboración de los alimentos, la mejora de la agricultura, la potabilización del agua, la fabricación de detergentes, la iluminación, el equipamiento de los edificios, la elaboración de papel, la confección de tejidos, la producción de medios de transporte, la manufactura de artículos de construcción y un largo etcétera.

Igualmente los avances de esta ciencia han desempeñado un papel primordial en nuestro bienestar material, como la desinfección o eliminación de microbios patógenos, la obtención de vacunas que han erradicado numerosas enfermedades o el descubrimiento de ciertos medicamentos, como las sulfamidas o los antibióticos. También han contribuido a mejorar nuestra salud y alargar la esperanza de vida otros aspectos como la construcción de aparatos de diagnóstico, el equipamiento quirúrgico o la utilización de productos sanitarios. Por último, la Química ha tenido además un gran protagonismo en la aparición de modernos materiales que han permitido la creación de computadoras, DVD, CD o teléfonos móviles, tan importantes para el desarrollo de las nuevas tecnologías.

En estas páginas, encaminadas a la celebración de este Año Internacional de la Química, se pretenden resaltar algunas de las aportaciones de esta ciencia a los avances de la humanidad. Constan de cuatro artículos que analizan, por un lado, los aspectos didácticos de la mencionada asignatura y, por otro, la trascendencia de esta actividad científica en determinadas parcelas relacionadas con la sanidad, medio ambiente o nanotecnología. El primero de ellos, titulado *La enseñanza de la Química*, de D. José Luis Negro Fernández, señala la dificultad que nor-

malmente presenta el aprendizaje de esta materia y recomienda al docente abandonar el modelo memorístico y aplicar, en cambio, metodologías basadas en el razonamiento y la comprensión.

El segundo, llamado *Los contaminantes ambientales: una respuesta desde la Química*, de D. Mariano Segura Escobar, analiza la participación de esta especialidad en la mejora y mantenimiento de nuestro planeta y en la aparición de la llamada «Química Verde», orientada a eliminar el uso y formación de compuestos peligrosos para la conservación del planeta. El tercero, denominado *Las asombrosas estructuras del carbono: fullerenos, grafenos y nanotubos*, de D. Angel Herráez Sánchez, aborda las distintas formas en que puede manifestarse este elemento tan versátil y las nuevas aplicaciones que ofrecen dichas estructuras a la nanotecnología del futuro. El cuarto, denominado *Interferencia entre fármacos y hábitos de consumo*, de la coordinadora de estos **Apuntes de Química**, expone los mecanismos de las mencionadas interacciones, cuyo conocimiento evita alteraciones de la efectividad de los medicamentos y previene la aparición de reacciones adversas al organismo.

Finalmente, sólo queda añadir que la Química tiene todavía por delante importantes retos por resolver en el futuro desde diferentes ámbitos como el terapéutico, farmacéutico, médico, tecnológico, medioambiental, alimentario, etc. Nosotros, los docentes, podemos hacer mucho en este sentido debido a nuestra capacidad de influir en el primer eslabón de esta cadena creativa. Efectivamente, tenemos en nuestras manos la posibilidad de aumentar el interés, fomentar la curiosidad, contagiar la pasión y despertar en el alumnado una vocación que les convierta en auténticos investigadores apasionados por esta esencial materia.

**PROF. DRA. MARISA GONZÁLEZ MONTERO
DE ESPINOSA**

*Coordinadora del Seminario de Biología,
Geología, Física y Química*

Sumario:

La enseñanza de la
Química

Los contaminantes
ambientales. Una
respuesta desde la
Química

Las asombrosas estructuras
del carbono: fullerenos,
grafenos y nanotubos
Interferencia entre
fármacos y hábitos de
consumo

Coordinación

Marisa González Montero
de Espinosa

Colaboradores

José Luis Negro Fernández
Mariano Segura Escobar
Angel Herráez
Marisa González Montero
de Espinosa

APUNTES DE CIENCIAS

La enseñanza de la Química

José Luís Negro Fernández

El maestro, el profesor del siglo XXI, se aleja tanto del ilustrado que admiraba el pueblo hace cien años como del profesional poco considerado socialmente de hace cincuenta. Se le pide que dé clase de forma interactiva, que enseñe a través de proyectos, que sepa resolver conflictos, que utilice las nuevas tecnologías en el aula, que eduque en valores, que respete y conozca las diferentes culturas, que enseñe a los alumnos a aprender por sí solos, que en vez de hacer haga que hagan, que utilice técnicas de aprendizaje cooperativo y que sea capaz de desarrollar tareas de gestión y organización, y hasta que dé clases en inglés, es decir, se le pide que sea un superprofesor y se le exige que sea un verdadero facultativo de la docencia, como lo es el médico de la salud, aunque por desgracia este incremento de exigencia no se corresponde con el de consideración social.

Y a todo ello, en el campo de la Química, se suma la necesaria y constante actualización del saber científico en vertiginosa evolución en los últimos tiempos y lo que es más difícil todavía, ser capaz de filtrar y equilibrar los estímulos sobre problemas candentes de nuestro planeta: energía, contaminación, alimentación, etc., para no desorientar a los alumnos ni adoctrinarlos hacia adhesiones integristas a posturas y movimientos radicales.

Quizá sea la Química la disciplina de más difícil didáctica de las ciencias tradicionales, por la conjunción de múltiples factores y circunstancias entre las que destacan las contradicciones inconcebibles que aún hoy existen entre los químicos, referidas a su lenguaje específico y, en general, a sus tendencias didácticas, cambiantes con volatilidad excesiva en los últimos decenios y que, proyectadas sobre la enseñanza, provocan absurdas dificultades añadidas a las normales.

APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO EN LA QUÍMICA

Poco a poco, y ha costado mucho, se ha consolidado que la enseñanza no tiene sentido si no está ligada y supeditada al aprendizaje. Agustín de la Herrán lo ha puesto en evidencia irónica y magistralmente en la anécdota con la que comienza su libro «El ego docente»:

Un gran prevoste de la educación explicaba que había enseñado a hablar a un perro y cuando éste, interpelado, no le contestó, dijo a sus oyentes: «yo lo enseñé, pero él no aprendió».

El aprendizaje significativo, único que debe interesar al profesor, es el que logra cambiar el yo del alumno: después de aprender, el alumno es otro, es más. Para ello es necesario partir del alumno real y concreto para ayudarlo a incorporar a su yo ese incremento, que le cambia a mejor. David P. Ausubel en su «*Psicología educativa*» establece que la adquisición de significados, como fenómeno natural, ocurre en los seres humanos específicos y no en la humanidad en gene-

ral. Un jeroglífico de *tebeos* y *semanales* ilustra y populariza lo que los profesores podemos hacer para seguir lo que Ausubel dice:

¿Por dónde irá Carpanta para llegar al pollo? ¿Por dónde irá el profesor para llegar al alumno? Está muy claro, hay que hacer trampa y partir del alumno para, marcha atrás, llegar al profesor y así saber cuál es el camino

En el aprendizaje de la Química se tiene un punto seguro de anclaje personal porque el material potencialmente significativo para el alumno, es decir aquel material que, aprendido, se incorpora a su yo, se apoya en él mismo y en su entorno; y así, sobre todo en las primeras etapas de enseñanza de la Química, no es imprescindible la experimentación en el laboratorio, que siempre resulta algo artificial; el mundo, la naturaleza, nuestro cuerpo constituyen el mejor laboratorio.

Pero para que se produzca la transformación del yo (significado fenomenológico idiosincrático) se precisa disposición personal, es necesario *querer*, incorporar emociones y llegar a disfrutar, enseñando el profesor y aprendiendo el alumno.

Resulta absurdo, y a veces trágico, que niños, adolescentes y jóvenes pasen sus veinte mejores años haciendo algo que no quieren, dissociando estudios y vida, adquiriendo complejos de culpabilidad y fracaso y, peor aún, que les pongamos vallas de juicio y rechazo. E igualmente irracional, y siempre trágico, que pasen así toda su vida algunos profesores sin disfrutar de su profesión, amargados y en callejones sin salida, proyectando hacia los alumnos actitudes negativas que calan perceptivamente y dificultan el éxito en el binomio enseñanza-aprendizaje.

El equilibrio entre ideas y emociones, la incorporación de componentes afectivas en todo nuestro trabajo docente, el



¿Por dónde irá el profesor para llegar al alumno?

tener en cuenta nuestro yo y el de cada alumno de forma integral, *mente y corazón*, ayuda de modo muy significativo al éxito escolar. Es conocido el hecho de que hasta en el tratamiento de los animales la afectividad juega un papel fundamental:

En un laboratorio de investigación farmacológica los conejos-cobaya de las jaulas bajas respondían mucho mejor a los tratamientos que los de las jaulas altas y la razón era simplemente que los cuidadores tenían más facilidad para atenderlos y acariciarlos al estar en el suelo; los cuidadores de las jaulas altas tenían que hacer equilibrios en lo alto de unas escaleras



«Los conejos de las jaulas superiores sufren más y mueren antes»

La facilidad, que la Química da para hibridar experiencia personal, prácticas y modelos de explicación de los hechos, supone un primer paso para la integración de todos los aspectos de nuestro yo en los procesos de enseñanza aprendizaje, un punto de apoyo del profesor para interesar, motivar y provocar emociones positivas en los alumnos.

MODELOS CIENTÍFICOS

La Química ha sido una de las últimas disciplinas científicas en formalizar sus contenidos en todos los niveles, especialmente en los de enseñanza. A principios del siglo XX esta formalización comenzaba en ámbitos universitarios y de investigación, pero hasta muy entrado el mil novecientos no llegaba a la enseñanza secundaria.

Costó mucho desterrar la seguridad, aceptar la incertidumbre y poner los hechos como centro indiscutible de todo avance científico, también en la enseñanza.

—Profesor, ¿por qué sale verde?
—No es correcto tu planteamiento. *Sale verde, éste es el punto de partida. Ahora vamos a intentar un explicación, que no será ni verdad ni mentira, será simplemente nuestro modelo de explicación de por qué sale verde, con los datos que tenemos. Es posible que mañana, con más datos, la cambiemos.*

—No lo entiendo.
—Atiende, te voy a contar lo que le pasó al pequeño de los Tanner, cuando llegó Alf a la Tierra. ¿Sabes quién era Alf

—Creo que sí.
—Pues Alf, extraterrestre recién venido a nuestro planeta, y el niño salieron a dar una vuelta por la noche, para que empezase a conocer dónde había caído. En las afueras del pueblo, allá lejos, en la oscuridad, se adivinaba un coche que venía. El niño se comunicó con Alf. ¡Coche, Alf, coche! Y Alf estableció un modelo para lo que en la Tierra era coche: una luz. Y no era ni verdad, ni mentira, simplemente explicaba el hecho del que era receptor. A los pocos segundos Alf tuvo información complementaria y cambió su modelo: en la Tierra coche es un conjunto de dos luces... ¿Lo entiendes?

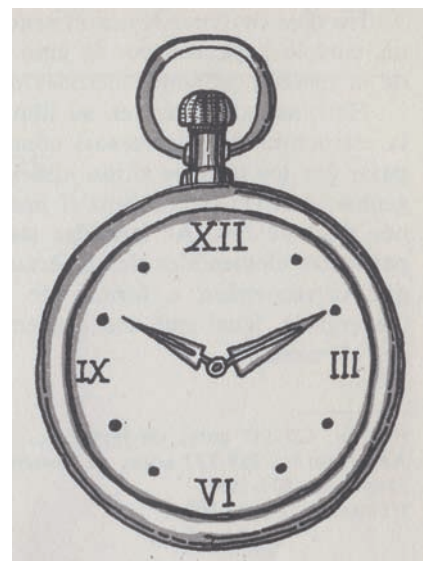
—Profe, sí me gusta el cuento, pero no me entero mucho de lo quiere decirme.

—Bueno, pues sigue atento. No un cuento, sino una historia de verdad de la que fue protagonista nada menos que Einstein. Albert Einstein en una conferencia decía que los átomos no existen y, ¡claro!, además de causar estupor, tuvo que explicarse ante las diversas reacciones de los oyentes.

«Atiéndanme señoras y señores, díganme qué es un átomo, como es un átomo, cómo funciona un átomo? Todas las contestaciones que ustedes y yo podemos dar a mis preguntas definirían lo que llamamos átomo, átomo que no existe. Todas ellas suponen explicaciones de los hechos que conocemos de los átomos, siendo los que no conocemos mucho más numerosos. Esos átomos nuestros solo existen en nuestras mentes. Cojan sus relojes, miren cómo funcionan y admitan que no pueden abrirlos y dominar por completo sus maquinarias, como nos pasa con los átomos. ¿Ya lo han visto?, pues imaginen ahora unos mecanismos interiores para que los hechos que ven se

realicen. ¿Serán reales esas maquinarias? En cuanto estén más atentos verán manecillas que parecían quietas y que ahora ven que giran. Tendrán que cambiar el modelo de reloj... Y ninguna de sus explicaciones será verdad ni mentira, simplemente explicará lo que ven en ese momento».

—¡No se enfada, Profe?
—No, ¿por qué lo dices?
—Es que ahora sí lo he entendido. Einstein era más listo que usted.
—No, hijo, no me enfado, yo también lo creo.



«Los átomos no existen»

LA QUÍMICA, UNA CIENCIA EXPERIMENTAL

¡Claro que sí! Y mucho antes, con más significatividad, ciencia de la naturaleza, pero desde que el hombre dominó el fuego y empezó a experimentar con piedras, minerales, maderas, vegetales y animales también ciencia experimental.

La didáctica de la Química que no aprovecha y exprime todo el conocimiento sencillo y cotidiano sobre la materia y después lo apoya con experimentación artificial, pero después, es muy cuestionable. Todos los niños han visto arder leña o quemarse un papel y, alrededor de este hecho, se pueden organizar unidades didácticas completas. Todo un sin fin de hechos para buscarles modelos de explicación: energías de activación, exotermia, barreras de potencial,

APUNTES DE CIENCIAS

reacciones en cadena, basicidad de las cenizas (óxidos iónicos, atención a los cultivos), acidez de los humos (óxidos covalentes, atención a la lluvia ácida), más estabilidad de los óxidos frente a otros compuestos oxigenados, etc. Todos hemos tenido en las manos chapas de metal limpio, brillante y otras sucias, oxidadas. ¿cómo no partir de ahí para empezar a estudiar procesos de oxidación-reducción? Vinagres, lejías, zumos, siempre antes que frascos de laboratorio de ácidos y bases que luego, pero luego, tienen que venir.

En cualquier caso sea bienvenida la didáctica de la Química que se apoya en hechos y mejor cuando somos actores protagonistas de ellos..

El aula laboratorio con puestos individuales para los alumnos, en anfiteatro, en la que el profesor ayuda e inicia experiencias que los alumnos siguen, es un lujo que difícilmente se logra, pero que en los primeros pasos del aprendizaje de la Química es idónea. Supone, además, un espacio para que dentro de límites lógicos se experimente en libertad.

Ya en los niveles de Bachillerato es deseable que las prácticas se desarrollen en instalaciones con mesas amplias de unos ocho alumnos, con dotación básica permanente de reactivos y material, que permita no tener que improvisar constantemente el material ni los productos y solamente para prácticas complicadas sea necesario preparar los puestos. Por desgracia no es así; las instalaciones son frecuentemente muy ligeras, con mesas de cuatro alumnos, sin dotación básica permanente alguna, lo que obliga a los profesores a una dinámica casi imposible de preparación de las prácticas, resultando tan difícil hacerlas que apenas se hacen... En los laboratorios de Colegios e Institutos que «están a la última»

bajan conducciones del techo, hay enchufes por todas partes, pero ni una grilla de tubos de ensayo, ni una mínima colección de reactivos, ni un erlenmeyer, ni un matraz, ni un vaso, ni una bureta en la «mesita», a nos ser que los profesores, día a día, se pongan de acuerdo y dispongan lo que necesitarán para llevar a hacer prácticas a sus alumnos al día siguiente...

También es verdad que la didáctica experimental de la Química supone una actitud en el profesor que, si no tiene instalaciones de laboratorio adecuadas, las inventa o se lleva a los alumnos fuera o hace lo que sea necesario para que su didáctica sea experimental y, si su actitud es otra, acaban con telarañas las cajas de material y productos químicos que se almacenan en el sótano.

DIDÁCTICA DEL LENGUAJE QUÍMICO. «DESAJUSTES»

No hemos acertado los químicos en la didáctica del Lenguaje Químico. Las cuestiones sobre los contenidos de Formulación y Nomenclatura son absurdamente desesperantes en sus conflictos y aún es peor todo lo que atañe a su didáctica. Sigue siendo normal la aberración de considerar este tema como uno más en las programaciones, en lugar de diluirlo, como lenguaje que es, a lo largo de todo el curso y de todos los cursos donde se estudie la Química e irlo «trabajando» según haga falta. Se estudian los átomos, se dan sus nombres y su organización; se ve que pueden perder o coger electrones, formando iones, se dan los nombres y las fórmulas de los iones; se estudia cómo se pueden unir los iones en sustancias, formadas y organizadas por atracción electrostática, se dan los

nombres y fórmulas de las sustancias iónicas... Y sin exigir aprender de pronto de memoria nada: se aprende a hablar en Química, consultando todo, con ejercicios continuos que acompañan el avance de la teoría. Al final, pero al final de su trayectoria preuniversitaria el alumno, habrá aprendido a hablar en Química, como los niños aprenden a hablar normalmente.

No es lógico ni oportuno dar lecciones desde estas líneas y solo con la cualidad de anécdota vamos a analizar los «desajustes» que se dan en los dos casos siguientes, lamentablemente frecuentes en textos y catálogos actuales y ejemplos de los numerosísimos fallos que aún tenemos:

NO_2 Óxido de Nitrógeno (IV), que debe ser óxido de nitrógeno(IV).

La O de óxido puede ser mayúscula, pues se puede considerar principio de párrafo, pero la N de nitrógeno no puede ser mayúscula, pues nitrógeno se escribe con minúscula en español. El espacio gráfico entre nitrógeno y la notación de Stock es un error pues nitrógeno (IV) es una única palabra química y no puede contener espacios vacíos. El tamaño de la notación (IV) debe ser en versalitas, es decir del tamaño de las letras minúsculas de la palabra. ¡Son acuerdos internacionales de 1957!

$\text{PO}_4\text{H}_2\text{Na}$ Fosfato monosódico, que debe ser NaH_2PO_4 dihidrofosfato de sodio.

Aquí la sustancia está formada por cationes sodio, Na^+ y aniones dihidrofosfatos, H_2PO_4^- y su fórmula debe tener el componente positivo delante y su nombre respetar la norma siguiente

nombre del negativo	preposición de	nombre específico del positivo
---------------------	----------------	--------------------------------

En la Química Orgánica la disciplina es mayor, por la necesidad de precisión al existir millones y millones de compuestos orgánicos, aunque no es suficiente. Tampoco ayuda a los alumnos la diversidad artificial de sistemas que los profesores no sabemos unificar y simplificar.



¡Un laboratorio de química para Bachillerato!

DIDÁCTICA DE LOS PROBLEMAS. «DESAJUSTES»

Lo tortuoso del camino químico para llegar a un sistema de medidas de masa, coherente con las demás ramas de la ciencia, prolongado durante todo el siglo XIX, continúa hasta nuestros días. Fue lógico jugar con pesos atómicos relativos, cuando aún no se dominaba el mundo singular de los átomos, pero mantenerlo hoy es absurdo y pone dificultades añadidas para el aprendizaje.

Se propuso hace ya medio siglo no usar pesos, que son fuerzas variables porque no dependen solo de los objetos, y usar masas: masa equivalente, masa atómica, masa molecular en el mundo microfísico, y como unidad la u, la uma. Equivalente-gramo, átomo-gramo (mol de átomos), molécula-gramo (mol de moléculas o simplemente mol) en el mundo macrofísico de balanzas y matraces y como unidad, el g, el gramo. Pero la inercia y la indisciplina nos han ganado e imposibles establecemos barbaridades como que para hallar el número de moles de una muestra dividimos su gramos de masa entre el peso molecular de la sustancia. ¡Masa dividida entre peso! Y para tener algo de coherencia tendríamos que dividir por el peso de una molécula, peso molecular, y nos saldría, como es obvio, un número con decenas de cifras, del orden de los cuatrillones... Absurdo, pero real en las aulas.

¡No!, porque ya sabemos qué es lo que queremos decir, aunque no lo digamos.

Es posible que esto no sea admisible, pero muchos químicos y profesores lo hacemos. Nosotros nos «bandeamos» bien, porque conocemos las historias de las conquistas de los químicos del siglo XIX y al escribir peso molecular queremos decir los gramos de masa que en número, solo en número, indican las veces que tiene más masa la molécula en cuestión que la unidad de referencia. ¡Absurdo!, cómo para que los alumnos lo entiendan. La tabla adjunta de medidas de masa en Química quizá sí puede ser entendida por todos.

La solución que frecuentemente se da a esta cuestión es lamentable.

Tú aplica la fórmula y ya está, no te preocupes de más.

MUNDO MICROFÍSICO Átomos y moléculas	EQUIVALENCIA	MUNDO MACROFÍSICO Matraces y balanzas
1 u (uma)	6,02 · 10 ²³	1 g (gramo)
1 masa atómica		1 mol de átomos, átomo-gramo
1 masa molecular		1 mol de moléculas, molécula-gramo, MOL
1 masa equivalente		1 equivalente-gramo
1 electrón		1 faraday

Unidades en los «mundos de la química»

Otro «desajuste» generalizado en la didáctica de los problemas de Química es el abuso de fórmulas, cuando sustituyen al sentido común. El alumno sabe lo que es dividir cantidades de la misma magnitud (división homogénea) y lo usa fácilmente en su vida normal; por ejemplo divide n huevos entre 12 huevos para saber la cantidad de docenas y no necesita aplicar una fórmula. También sabe lo que es dividir cantidades de distintas magnitudes (división heterogénea) y lo usa con igual cotidianidad. Él divide cantidad de caramelos entre cantidad de niños para saber a cuántos toca cada uno. Bien, pues en Química nos empeñamos con frecuencia en que los alumnos usen fórmulas para estas sencillas operaciones.

—¿Cómo se halla la molaridad de una disolución?

—Aplica esta fórmula y ya está (no decimos y no pienses, porque no nos atrevemos...)

Quizá debiéramos contestar a nuestro alumno así: Sabes que Molaridad es una expresión de la concentración que nos da el número de moles de soluto que hay (que tocan) en un litro de disolución. ¿Conoces alguna operación aritmética para hallarlo? ¡Claro que sí, verdad! Pues, ánimo busca un número de moles y un número de litros y los divides.

PERO TODO FUE PEOR

A pesar de los desajustes actuales, la didáctica de la Química se integra positivamente en las didácticas modernas y se despoja del enfoque memorístico que no hace muchos años tuvo. Numerosos capítulos, entonces, se dedica-

ban a estudiar elementos y compuestos así:

Fórmulas y nombres
Estado natural
Propiedades físicas
Propiedades químicas
Obtención
Aplicaciones

Y los alumnos afinaban las técnicas de hacer «chuletas», como es lógico. Hoy se pueden hacer exámenes y pruebas con libros y apuntes, pues se incide mucho más en los procesos de razonamiento y construcción de edificios coherentes y lógicos que en el aprendizaje de una información que está siempre a disposición de todos.

Pero que para esto sea posible hay que tener una didáctica comprensiva que integre todos los aspectos de la vida y de los intereses del alumno, en la que la química no sea un lastre, una obligación odiosa, algo a aprobar como sea, en la que la química —y no solo la química, sino todo lo que significa aprendizaje y estudio— tenga el premio extraordinario de saberse más sabio, más dominador de lo que es el entorno donde vivimos y a la postre más feliz. Para ello, antes que el alumno, el profesor tiene que alcanzar los mismos objetivos.

joseluis.negrofernandez@gmail.com

OPOSICIONES

Bibliotecas, Archivos y Museos

- Facultativos / Ayudantes / Auxiliares
- Madrid, Valencia y Córdoba
- Cursos diarios y fin semana

MATRÍCULA ABIERTA

IMED

Ppe. Vergara, 57-59 - esc. dcha. Bº C
 28006 Madrid
 www.imed.es
91 562 23 04

Los contaminantes ambientales. Una respuesta desde la Química

Mariano Segura Escobar

Profesor de Secundaria del IES Santa Eugenia

mariano.segura@gmail.com

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La Contaminación Ambiental consiste en la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o bien, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos, ocasionando alteraciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Las sustancias contaminantes pueden ser de naturaleza física, biológica o química y presentarse en todos los estados físicos (sólido, líquido o gaseoso).

Los contaminantes físicos se caracterizan por un intercambio de energía entre los individuos y el ambiente en una dimensión y/o velocidad tan alta que el organismo no es capaz de soportarlo. Este es el caso de la contaminación originada por radioactividad, calor, ruido,

Los contaminantes biológicos son desechos orgánicos que al descomponerse fermentan y causan contaminación. A este grupo pertenecen los excrementos, la sangre, desechos de fábricas de cerveza, de papel, serrín de la industria forestal, desagües, etc

Los contaminantes químicos son toda sustancia orgánica e inorgánica, natural o sintética que tiene probabilidades de lesionar la salud de las personas en alguna forma o causar otro efecto negativo en el medio ambiente. Los agentes químicos representan seguramente el grupo de contaminantes más importante debido a su gran número y a la omnipresencia de la química en todos los campos de nuestra vida.

En todos los lugares y ecosistemas se manifiesta la contaminación, así podremos hablar de:

- La contaminación del aire: es la perturbación de la calidad y composición de la atmósfera por sustancias extrañas a su constitución normal. Se produce por la adición dañina a la atmósfera de gases tóxicos, CO, u otros que afectan negativamente a la salud de los humanos y al normal desarrollo de plantas, animales.
- La contaminación del agua: se produce por la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos (detergentes, abonos, pesticidas, insecticidas, vertidos de petróleo...), aguas residuales (urbanas e industriales) o residuos industriales y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.
- La contaminación del suelo: se produce por la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales que producen un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente a las plantas, animales y humanos.

Centrándonos en los contaminantes químicos, cabe señalar que el peligro que acarrearán éstos se puede deber a una o varias de las siguientes características: *la explosividad* o capacidad de una sustancia para expandir sus moléculas en forma brusca y destructiva; *la inflamabilidad* o capacidad de una sustancia para producir combustión de sí misma, con desprendimiento de calor; *la toxicidad* o capacidad de una sustancia para producir daños a la salud de las personas que están en contacto con ella; *la reactividad* o capacidad de una sustancia para combinarse con otras y producir un

compuesto de alto riesgo (como compuesto inflamable, explosivo, tóxico etc.); y la *corrosividad* que tienen las sustancias con propiedades ácidas o alcalinas.

Los principales efectos que produce la contaminación química en la naturaleza y sobre los seres vivos son: *el calentamiento global* como consecuencia del aumento de gases de *efecto invernadero*, *la lluvia ácida*, *la destrucción de ozono estratosférico*, *la niebla urbana* o *smog*, *la eutrofización de las aguas* y *los efectos tóxicos* en humanos o especies de un cierto entorno (ecotoxicidad).

Los cuatro primeros efectos señalados los encuadramos como los efectos de la contaminación atmosférica, que se produce por la emisión de gases y partículas a la atmósfera

Los principales gases contaminantes atmosféricos son:

- *Monóxido de carbono (CO)*: Gas inodoro, incoloro, inflamable y muy tóxico, producido como consecuencia de una combustión incompleta en calderas, chimeneas, etc
- *Dióxido de carbono (CO₂)*: Gas de efecto invernadero, incoloro e inodoro y necesario para el desarrollo del ciclo del carbono producido por el uso de los carburantes fósiles como fuente de energía.
- *Monóxido de nitrógeno (NO)*: Gas incoloro y poco soluble, producido por la quema de combustibles fósiles que al convertirse en ácido nítrico (HNO₃) produce la lluvia ácida.
- *Dióxido de azufre (SO₂)*: Gas incoloro, producido por la combustión del carbón, que al convertirse en ácido sulfúrico (H₂SO₄) produce la lluvia ácida.
- *Metano (CH₄)*: Gas de efecto invernadero, incoloro, inodoro e infla-

mable que se forma cuando la materia orgánica se descompone.

- **Ozono (O₃):** Gas constituyente natural de la atmósfera, que cuando se encuentra en la estratosfera retiene las radiaciones UV impidiendo la llegada de estas a la superficie terrestre, pero cuando se encuentra en la troposfera resulta contaminante, tóxico y puede causar la muerte.
- **Clorofluocarbonados (CFCl₃):** Son gases de efecto invernadero derivados de los hidrocarburos, que cuando llegan a la estratosfera liberan Cl que descompone el ozono estratosférico.

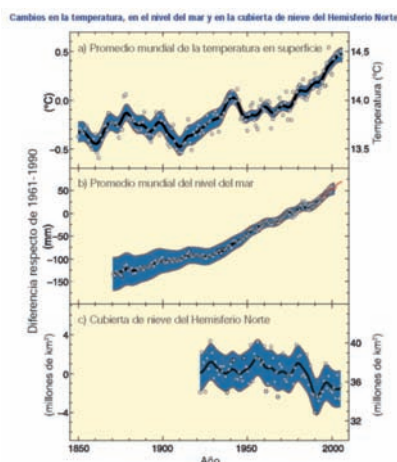
El calentamiento global es el incremento a largo plazo de la temperatura media de la atmósfera. Se debe a la emisión de gases de efecto invernadero que se desprenden por actividades humanas.

El 30% de la radiación solar que llega a la Tierra es reflejada por la atmósfera o por la superficie terrestre y se devuelve al espacio, el 19 % es absorbido por las nubes y otros componentes atmosféricos y el 51% restante es absorbido por la superficie de la Tierra que incrementa su temperatura (efecto invernadero). La superficie terrestre devuelve esta energía absorbida al espacio pero en forma de radiación infrarroja. Los gases de efecto invernadero - H₂O (g), CO₂, CH₄, NO_x, O₃ y los CFCs - absorben la radiación infrarroja, calientan el aire y dificultan la emisión de la energía hacia el exterior.

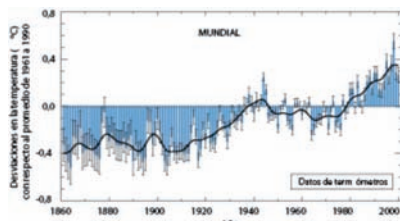
El efecto invernadero natural constituye un fenómeno imprescindible para la vida en la Tierra. Sin la concentración natural de gases con efecto invernadero la temperatura media sería 30° C más baja.

El efecto invernadero inducido consiste en el sobrecalentamiento producido por el exceso de gases procedente de las actividades humanas que absorben la radiación infrarroja.

El calentamiento global provocará un aumento de temperatura (gráficas 1 y 2), la elevación del nivel de los océanos, mayores precipitaciones en las latitudes más altas y menores en las zonas subtropicales, el traslado de las especies animales y vegetales a lugares de mayor altura buscando temperaturas más frías, aumento de enfermedades e incremento de muertes relacionadas con el calor y el incremento de CO₂ en la atmósfera (gráficas 3 y 4) provocará mayor acidez de los océanos.



Gráfica 1
Fuente: Informe Cambio climático 2007. IPCC



Gráfica 2
Fuente: Informe Cambio climático 2003. IPCC

La lluvia ácida es la incorporación de sustancias ácidas, principalmente H₂SO₄ y HNO₃ en el agua de la lluvia por la oxidación de los correspondientes óxidos, ya sea en fase de gas o en fase acuosa. Este fenómeno se produce principalmente como consecuencia de las emisiones de SO₂ y de NO al quemar los combustibles fósiles en las centrales eléctricas, en las calderas industriales y en los vehículos.

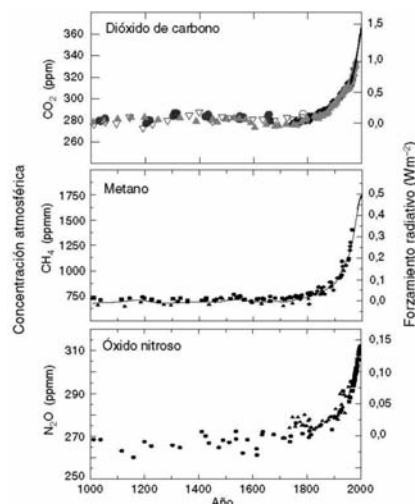
El SO₂ por oxidación en fase gaseosa con el radical hidroxilo pasa a dar SO₃ según:



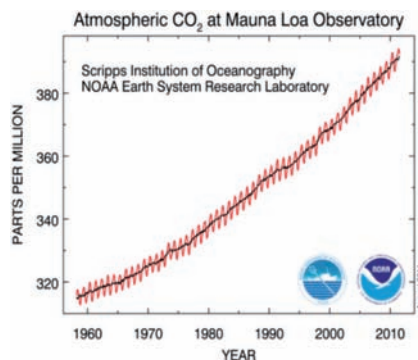
El NO se oxida con el oxígeno atmosférico y pasa NO₂ según:



El SO₃ y el NO₂ al unirse con el agua de las nubes donde se altera la composición normal de las gotas de agua, forman H₂SO₄ y HNO₃, produciendo así la

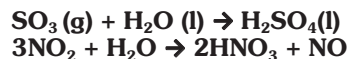


Gráfica 3
Fuente: Informe Cambio climático 2003. IPCC.



Gráfica 4
Fuente: Observatorio de Mauna Loa. Hawái

lluvia ácida en caso de la precipitación de las gotas.



La lluvia ácida daña los ecosistemas terrestres y acuáticos, tanto el biotopo como la biocinesis. Afecta a los bosques (en mayor intensidad a las coníferas como pinos y abetos), a las aguas continentales (ríos y lagos) disminuyendo la biodiversidad, al suelo, produciendo la acidificación del terreno y a todos aquellos materiales que puedan ser atacados por los ácidos.

El Ozono se encuentra de forma natural en la Estratósfera, formando la denominada capa de ozono. Se forma por acción de la radiación ultravioleta, que

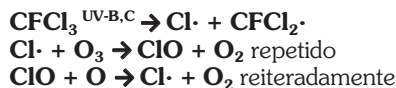
APUNTES DE CIENCIAS

disocia las moléculas de oxígeno molecular en dos átomos, los cuales son altamente reactivos, pudiendo reaccionar estos con otra molécula de O_2 formándose el ozono.

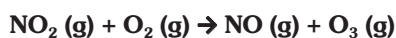


Se denomina agujero de la capa de ozono a la zona de la atmósfera terrestre donde se producen reducciones anormales de la capa de ozono. Es un fenómeno anual que se observa durante la primavera en las regiones polares y que es seguido de una recuperación durante el verano.

El ozono troposférico se destruye por la acción de los CFCs según la siguiente reacción:



También podemos encontrar ozono en la zona más baja de la atmósfera, la Troposfera, que se convierte en un problema por su toxicidad. Aquí no llegan directamente las radiaciones ultravioletas y el ozono en este caso, se forma a partir de ciertos precursores contaminantes provenientes de la actividad humana como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), como el formaldehído),



El conjunto del ozono, NO_x y VOCs forma una neblina visible en zonas muy contaminadas denominada Smog fotoquímico.

El Smog es una mezcla de niebla con partículas de humo, formada cuando el grado de humedad en la atmósfera es alto y el aire está tan quieto que el humo se acumula cerca de su fuente, reduciendo la visibilidad. Se produce con más frecuencia en las ciudades con costa y en las grandes ciudades. Hay dos tipos: Smog industrial formado por una mezcla de dióxido de azufre, ácido sulfúrico y partículas sólidas en suspensión; y smog fotoquímico que se forma por la acumulación de los óxidos de nitrógeno, los VOCs y el ozono

La Eutrofización está provocada por un exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, que hace que las plantas y otros organismos crezcan en abundancia. Cuando muer-

ren, se pudren y aportan importantes cantidades de materia orgánica, llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, descuidado, lo que provoca una disminución drástica de su calidad. Durante su crecimiento y su putrefacción, consumen una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos

Un tóxico es cualquier sustancia que, introducida en el cuerpo por la epidermis, inhalación o ingestión, en una cierta cantidad, ocasiona graves trastornos o la muerte.

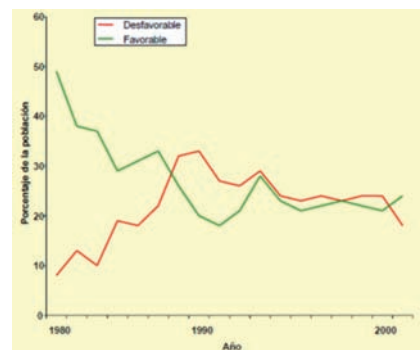
Aunque se conocen algunos casos con efectos tóxicos extremos, son muy escasos aquellos en que una contaminación ambiental cause una intoxicación tan grave que produzca la muerte instantánea o al poco tiempo, siendo más frecuente que se produzcan enfermedades (incluido el cáncer) o reacciones alérgicas.

Paracelso (1493-1541) ya señalaba que todas las cosas son venenosas y nada es inocuo y que únicamente la dosis determina lo que es un veneno. Existen numerosos sustancias que, en pequeña dosis, son necesarios o beneficiosos para el cuerpo o la salud y que ingeridas en dosis superior a un cierto límite pueden dañar al organismo. El objetivo principal de la toxicología es la definición del límite o concentración en que una sustancia comienza a tener efectos nocivos

Los contaminantes químicos por su efecto tóxico en el organismo los podemos clasificar como: *irritantes* que producen inflamación en piel, ojos y mucosas del aparato respiratorio (H_2SO_4); *neumoconióticos* que en forma de pequeñas partículas se depositan y acumulan en los pulmones, produciendo una fibrosis en el tejido pulmonar (Silice, carbón, asbesto); *anestésicos* que actúan por depresión del sistema nervioso central, son sustancias muy liposolubles (disolventes orgánicos); *tóxicos sistémicos* que se distribuyen por todo el organismo produciendo diversos efectos: nefrotoxicidad, hematotoxicidad, hepatotoxicidad, etc. (Pb, hidrocarburos aromáticos); *cancerígenos* que generan daño al ADN celular, produciendo el desarrollo de células malignas (asbesto); *alérgicos* que se presentan si existe una predisposición individual y después de una sensibilización previa (Cr, monómeros); y *asfixiantes* que impiden la llegada de oxígeno a los tejidos (CH_4 y CO)

LA RESPUESTA DE LA QUÍMICA AL PROBLEMA AMBIENTAL

Ante este panorama la química tiene una mala imagen social y es sin duda considerada la principal fuente de contaminación ambiental (gráfico 5).



Gráfica 5. Percepción social de la Química
Fuente: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/viforo/Salvatella.pdf>

En 1987 la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas elaboró el informe «Nuestro Futuro Común», más conocido como el Informe Brundtland, presentado al Congreso Internacional de Moscú sobre Educación Ambiental, donde se define el concepto de *Desarrollo Sostenible* como: «El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades».

Una civilización sostenible para los procesos químicos implica que: Las tecnologías para producir bienes de consumo no deben dañar el medioambiente o la salud; se deben usar materias primas renovables frente a las materias fósiles, de duración limitada; se han de desarrollar productos que no dañen la salud ni el medioambiente, siendo estos materiales al final de su uso biodegradables, o en caso contrario deben reciclarse; y los procesos de fabricación han de diseñarse para no producir residuos y si se producen han de ser biodegradables o han de reciclarse.

La química puede y debe participar de forma positiva para la mejora y mantenimiento del medioambiente investigando y cuantificando las sustancias químicas existentes en el ambiente; determinando el grado de toxicidad de los compuestos químicos y descubriendo, en colaboración con los biólogos, los mecanismos de su acción biológica; dise-

ñando y sintetizando productos químicos con actividad biológica beneficiosa que en la concentración adecuada puedan paliar la toxicidad de otros; desarrollando procesos químicos industriales que sean más respetuosos con el medio ambiente; investigando nuevos procesos físicos y físico-químicos para la separación selectiva de sustancias tóxicas; diseñando e implantando rutas químicas para el tratamiento de residuos; e investigando y poniendo en marcha procesos de generación de «energía limpia»

Con esta filosofía apareció la **Química Verde (Green Chemistry)**, con la tarea de promover tecnologías químicas innovadoras que reduzcan el uso o generación de sustancias químicas peligrosas en el diseño, fabricación y uso de los productos químicos. De este modo, el objetivo principal de la Química Verde es reducir los problemas medioambientales generados por la producción química no con soluciones de final de tubería, no eliminando la contaminación una vez producida, sino atacando el problema de raíz: *utilizando procesos químicos que no produzcan residuos.*

Implica el uso de doce principios, que fueron escritos originalmente en 1998 por Paul Anastas y John Warner en su libro *Green Chemistry: Theory and Practice.*, encaminados a reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas, en el diseño, manufactura y aplicación de productos químicos. Estos principios son:

- 1. Prevención de vertidos.** Es preferible evitar la producción de un residuo que tratar de limpiarlo una vez que se haya formado.
- 2. Economía atómica.** Los métodos de síntesis deberán diseñarse de manera que incorporen al máximo, en el producto final, todos los materiales usados durante el proceso. Ejemplo: La síntesis del ibuprofeno anterior a 1990 tenía una economía atómica del 40%. En la actual, es del 77%, con un 30% de ahorro energético.
- 3. Usar metodologías que generen productos con toxicidad reducida.** Los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.

4. Generar productos finales más seguros (eficaces pero no tóxicos). Los productos químicos deberán ser diseñados de manera que mantengan su eficacia a la vez que reduzcan su toxicidad. Ejemplos: eliminación de plomo (gasolina, soldaduras, empastes) y mercurio, sustitución del percloroetileno por CO₂ supercrítico en la limpieza en seco.

5. Reducir el uso de sustancias auxiliares. Se evitará, en lo posible, el uso de sustancias auxiliares (disolventes, reactivos de separación, etc.) y en el caso de que se utilicen que sean lo más inocuo posible. Ejemplo: La utilización del agua como disolvente en pinturas o la utilización de disolventes supercríticos para la extracción de productos naturales como la cafeína.

6. Disminuir el consumo energético. Los métodos de síntesis se intentarán producir a temperatura y presión ambientales y/o reduciéndose en lo posible los requerimientos energéticos, que serán catalogados por su impacto medioambiental y económico. Ejemplo: Utilizar radiación de microondas y ultrasonidos para la aplicación de energía.

7. Utilizar materias primas renovables. La materia prima ha de ser preferiblemente renovable en vez de agotable, siempre que sea técnica y económicamente viable. Ejemplo: La utilización de disolventes renovables como el lactato de etilo, que se puede obtener de manera natural de la fermentación del maíz y es totalmente biodegradable.

8. Evitar la derivatización innecesaria. Se evitará en lo posible la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección/desprotección...).

9. Enfatizar en el uso de catalizadores. Se emplearán catalizadores (lo más selectivos posible) en vez de reactivos estequiométricos.

10. Diseño para la degradación. Los productos químicos se diseñarán de tal manera que al finalizar su función no persistan en el medio ambiente sino que se transformen en productos de

gradación inocuos. Ejemplo: las bolsas de plástico biodegradables fabricadas con fécula de patata.

11. Análisis en tiempo real para evitar la contaminación. Las metodologías analíticas serán desarrolladas posteriormente para permitir una monitorización y control en tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.

12. Minimizar el potencial de accidentes químicos. Se elegirán las sustancias empleadas en los procesos químicos de forma que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Los procesos industriales se deben adecuar para que cumplan el mayor número de estos principios y así evitar o minimizar el consumo de productos y la generación de residuos.

Como podemos apreciar en estos principios, la Química Verde no es una nueva rama de la Química, sino una filosofía que se ha de incorporar en todas sus ramas como una forma de trabajo más limpio. Está en todos nosotros poder conseguirlo.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBS

- Anastas, Paul y Warner, John. 1998. *Green Chemistry: Theory and Practice.*
- Meadows, Donella; y otros. 1992. *Más allá de los límites el crecimiento.* Círculo de lectores. Madrid
- PNUMA. 2001. *Tercer informe de evaluación. La base científica.* Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suecia
- PNUMA. 2008. *Cambio climático 2007. Informe de síntesis.* Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suecia.
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/index.html>
- <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/atmosfera.html>
- <http://www.icma.unizar-csic.es/Web/ICMA/>
- <http://www.losavancesdelaquimica.com/>
- <http://www.istas.ccoo.es/descargas/viforo/Salvatella.pdf>

APUNTES DE CIENCIAS

Las asombrosas estructuras del carbono: fullerenos, grafenos y nanotubos

Angel Herráez

Profesor titular. Dep. de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad de Alcalá

angel.herraez@uah.es

INTRODUCCIÓN: FORMAS ALOTRÓPICAS DEL CARBONO

Se denomina alotropía a la existencia de formas de un elemento químico con estructura diferente pero un mismo estado físico. Por ejemplo, el oxígeno gas se presenta como dióxígeno (O_2) y ozono (O_3), el fósforo sólido en formas blanca y roja, el azufre sólido como plástico, rómbico y monoclinico, etc. En cuanto al carbono, desde hace tiempo se conocen dos formas alotrópicas (fig. 1): el diamante –con los átomos en una red tetraédrica– y el grafito –una red hexagonal plana–. Más recientemente, se han descubierto otras estructuras, elevando el número de alótropos principales del carbono al menos a cuatro; éstas son el objetivo de este artículo. (Puede consultarse una revisión reciente¹, más profunda en términos químicos de lo que se pretende aquí.)

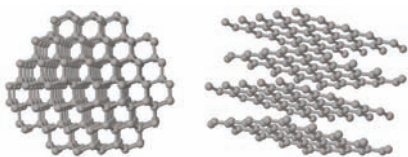


Figura 1: Estructuras del diamante y el grafito.

FULLERENOS

¿Por qué ese nombre?

Richard Buckminster Fuller (1895-1983) es un famoso inventor, diseñador y visionario del siglo XX. Desarrolló sus ideas en forma de «artefactos» –como él

bien llamaba–, en diversos campos del conocimiento. Su interés general era la aplicación del diseño y los principios científicos a problemas relacionados, por ejemplo, con el transporte, la construcción de edificios, la energía, la pobreza y los problemas ecológicos. Como consecuencia consiguió 28 patentes, publicó 30 libros y recibió numerosos títulos honoríficos.

Su influencia sobre arquitectos, diseñadores, artistas y científicos se refleja, por ejemplo, en la fundación en 1983 del Instituto Buckminster Fuller, dedicado inicialmente a mantener el archivo de documentos e invenciones y en la actualidad a «acelerar el desarrollo de soluciones que hacen avanzar de modo radical el bienestar humano y la salud de los ecosistemas de nuestro planeta» (<http://www.bfi.org/>).

El diseño más popular de Richard Buckminster Fuller (década 1960) es la cúpula geodésica, la cual se dice que se ha empleado más de 300.000 veces en todo el mundo (fig. 2). La similitud de su aspecto con el de las estructuras pseudo-esféricas que adopta el carbono llevó a llamar a éstas *buckminsterfullerenes* o

bien simplemente *fullerenes* (y en español, buckminsterfullerenos o fullerenos). El primer nombre se usa más para la primera estructura descubierta, el C_{60} , mientras que fullerenos se usa para toda la familia estructural. Coloquialmente se denomina a menudo en inglés *buckyball* (*Bucky* era el apodo familiar de Richard).

Descubrimiento

En 1966 David E. H. Jones fue el primero en sugerir que el carbono (gracias a algunas impurezas) formase moléculas huecas gigantes. En 1970 Eiji Osawa propuso la existencia del fullereno C_{60} , pero su artículo en japonés no recibió mucha atención. En el mismo año Robert W. Henson planteó también la estructura, que no publicó y recibió poca credibilidad. El descubrimiento se atribuye comúnmente a Curl, Kroto y Smalley² en 1985.

Harry Kroto, un químico que trabajaba en astrofísica en la Universidad de Sussex (Inglaterra), viajó a Houston (EEUU) para realizar experimentos en la Universidad Rice con Richard Smalley y



Figura 2: Cúpulas geodésicas del Proyecto Edén, en St. Austell, Cornualles (Reino Unido).

Robert Curl, en relación con las reacciones posibles en una estrella gigante roja con atmósfera rica en carbono. Concretamente, buscaban la formación de largas cadenas de carbono (cianopoliinos, $H[-C\equiv C]_nN$). Encontraron, en efecto, tales compuestos pero además, de forma inesperada, moléculas formadas sólo por carbono, en número par de átomos, entre 38 y 120 y mayoritariamente 60.

El impacto, tanto científico como mediático, de este descubrimiento se muestra, por ejemplo, con la denominación del fullereno C_{60} como «molécula del año» en 1991 según la revista Science, la concesión del premio Nobel en 1996 a Curl, Kroto y Smalley, y el nombramiento de Kroto como Caballero por la Reina de Inglaterra.

Con posterioridad se han ido descubriendo y caracterizando otros fullerenos (desde 20 hasta cientos de átomos), aunque son más difíciles de obtener que el C_{60} . La complejidad alcanzada por este área se refleja, por ejemplo, en la existencia de un documento para normalizar su nomenclatura³ y de una revista⁴ dedicada en exclusiva a su investigación.

Estructura

Los fullerenos son estructuras huecas formadas exclusivamente por carbono –aunque también existen derivados sustituidos– con una forma aproximadamente esférica (estrictamente, un poliedro con un elevado número de caras; fig. 3).

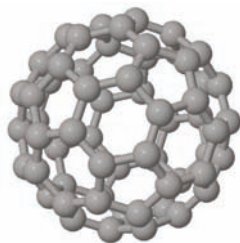


Figura 3: Fullereno C_{60} (véase nota c)

Cada átomo de carbono está enlazado a otros tres, es decir, posee un estado de hibridación sp^2 (similarmemente, en principio, al grafito y el grafeno, pero véase la nota a). A pesar de ello, la estructura obviamente no es plana, sino que los 3 enlaces de cada carbono se desvían (fig. 4). Como consecuencia, existe una tensión, pero la elevada simetría la distribuye por igual sobre toda la estructura.

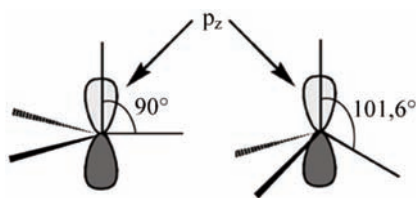


Figura 4: Ángulos en la hibridación sp^2 en grafito (izquierda) y en fullereno C_{60} (derecha). El ángulo de 101° está exagerado en el dibujo.

Desde el punto de vista geométrico⁵ tal estructura cerrada sólo es compatible con 12 anillos pentagonales y un número variable de anillos hexagonales. En todos los fullerenos se cumplen estas relaciones:

$$p = 12; c = 2h + 20; h = c/2 - 10$$

($p = n^\circ$ de pentágonos; $h = n^\circ$ de hexágonos; $c = n^\circ$ de carbonos)

El más pequeño posible se denomina C_{20} y está formado exclusivamente por 12 pentágonos, sin ningún anillo hexagonal (es un dodecaedro con 20 átomos de carbono). El primer fullereno descubierto por Kroto y col., el C_{60} , tiene 20 hexágonos además de los 12 pentágonos (se puede considerar un icosaedro truncado, fig. 5) y, además de su similitud con las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, es completamente análogo a los balones de fútbol tradicionales (blancos con pentágonos negros).

Mientras todos los anillos hexagona-

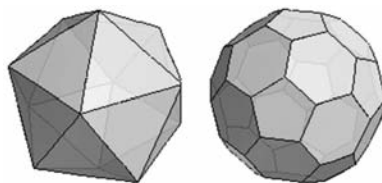


Figura 5: Icosaedro e icosaedro truncado.

les pueden considerarse equivalentes al benceno, los pentagonales no son tan favorables para alojar electrones (o, formalmente, dobles enlaces); por ello, la estructura del fullereno no es completamente superaromática (nota a), sino que se comporta más como un alqueno deficiente en electrones y reacciona con facilidad con compuestos nucleófilos como los halógenos. Se ha comprobado que los fullerenos C_{60} y C_{70} pueden captar hasta 6 electrones en sucesivas reacciones de reducción reversibles.

Algunos fullerenos mayores, con cientos de átomos de carbono, son grandes pseudoesferas huecas, pero también se forman fullerenos multilamelares, donde cada estructura queda encerrada en otra mayor; a éstos se les ha dado el intuitivo nombre de «nanocéboas».

Formación y producción

Los fullerenos se pueden formar en la naturaleza, como consecuencia de fuegos o rayos. Sin embargo, es mucho más significativa su producción artificial en el laboratorio y en la industria. Inicialmente se consiguió vaporizando grafito con un láser pulsado. En seguida se descubrió⁶ que bastaba una instrumentación más asequible, la descarga de un arco eléctrico entre dos electrodos de grafito en una atmósfera inerte de helio (fig. 6). Del «hollín» formado sobre el cátodo se extraen con disolventes orgánicos los fullerenos.

Empleando corrientes de alrededor de 50 amperios parte del grafito se va-

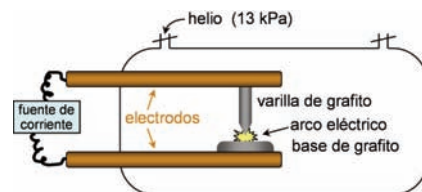


Figura 6: Esquema de una cámara de producción de fullerenos mediante arco eléctrico.

poriza y posteriormente condensa sobre las paredes de la cámara de reacción y sobre el cátodo. La clave no parece ser tanto el método de vaporización como las condiciones en las que tiene ocasión de condensar. Principalmente, ajustando la presión del helio se controla la velocidad con la que los átomos en el vapor se alejan del electrodo caliente, y así se modula a su vez la temperatura y la densidad de los radicales de carbono que conducen a la formación de agregados de tipo fullereno C_{60} –o, alternativamente, a otras estructuras como los nanotubos–. El rendimiento de fullereno C_{60} puede alcanzar el 40% de todo el carbono vaporizado.

Propiedades

La forma cerrada y altamente simétrica de los fullerenos les aporta gran resistencia física: bajo presiones extremas –3.000 atm– se deforman, pero regresan

APUNTES DE CIENCIAS

a su estructura inicial al relajar la presión. Por ello su adición a algunos materiales poliméricos les proporciona resistencia.

Los fullerenos (habitualmente con un tamaño cercano a 1 nm) se asocian espontáneamente en agregados de varias moléculas que alcanzan tamaños desde 10 nm hasta varias micras. Suelen formar un hollín, polvo negro muy fino, pero también cristalizan formando fullerita. La densidad de los fullerenos es moderada, cercana a 1,65. Finalmente, aunque no en agua, pueden solubilizarse en disolventes como benceno, tolueno y cloroformo.

Debido a las uniones intermoleculares débiles mediante fuerzas de van der Waals, el hollín de fullerenos posee propiedades lubricantes.

Se ha observado asimismo una acción catalítica de las nanocebollas; por ejemplo, en la producción de estireno a partir de etilbenceno mejoró el rendimiento en un 12%.

Aplicaciones

Se han propuesto numerosas aplicaciones potenciales para los fullerenos, aunque su utilización real avanza más lentamente. Cabe citar la química de síntesis, la catálisis, la fabricación de células solares, en fotodetectores de rayos X, en telecomunicaciones, como recolectores de radicales libres, en pilas de combustible... Dado que sus propiedades ópticas cambian mucho al exponerse a la luz, se propone también su uso en dispositivos fotónicos.

Se ha sugerido incluso su uso como inhibidor de la proteasa del virus de inmunodeficiencia humana (VIH), cuyo sitio activo tiene forma cilíndrica con un diámetro similar al del fullereno C_{60} y está recubierto casi exclusivamente por residuos aminoácidos hidrófobos, un entorno favorable para la fijación del fullereno, que bloquea así el centro activo e impide la propagación del virus.

GRAFENOS

El descubrimiento de esta estructura del carbono ha sido de nuevo motivo de un premio Nobel, en este caso el de Física de 2010 para Andre Geim y Konstantin Novoselov. La estructura no resulta tan llamativa, pues equivale a una capa de las que forman el grafito. Sin embargo, su existencia como lámina bidimensional con grosor monoatómico (fig. 7) le confiere propiedades diferenciadas.

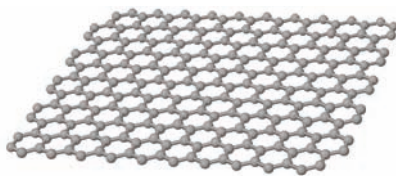


Figura 7: Estructura del grafeno (véase nota c)

Uno de los modos de obtener grafenos –en forma de «nanocintas»– es la apertura longitudinal controlada de nanotubos (descritos en el siguiente apartado). Las aplicaciones de este material dependen del desarrollo de tecnologías de fabricación que proporcionen una superficie con propiedades bien definidas y controladas y, en particular, con grupos funcionales añadidos que permitan la unión a otros materiales. Entre los productos potenciales puede mencionarse sensores y transistores.

NANOTUBOS DE CARBONO

Los nanotubos de carbono pueden considerarse cilindros resultantes del enrollamiento sobre sí misma de una lámina de grafeno, uniendo sus bordes (fig. 8).

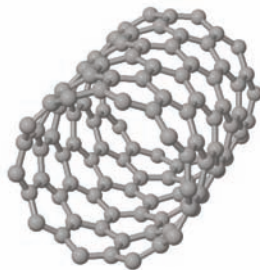


Figura 8: Porción de nanotubo de pared sencilla (véase nota c)

Descubrimiento

Los primeros nanotubos se observaron en 1991; cuando el físico japonés Sumio Iijima⁷ empleaba un sistema de evaporación mediante arco eléctrico, típico para la obtención de fullerenos, observó la formación de agujas de hasta 1 mm de longitud sobre el cátodo de grafito. Más tarde se comprobó que tales agujas constaban de varias capas cilíndricas concéntricas, de estructura similar a las del grafito pero curvadas: lo que hoy conocemos como nanotubos de pared múltiple. En 1993 se consiguieron los primeros nanotubos de carbono de pa-

red sencilla, gracias a la adición de cobalto, níquel u otros metales en el ánodo.

En realidad, se conocían nanotubos de carbono desde muchos años antes pero éstos, generados catalíticamente, no despertaron interés debido a que su estructura era muy imperfecta y, por ello, también sus propiedades.

Estructura

Los nanotubos son estructuras cilíndricas, con extremos abiertos o bien cerrados con una semiesfera, la mitad de un fullereno. Su diámetro es de unos pocos nanómetros, mientras que su longitud puede alcanzar escala macroscópica.

Los primeros nanotubos conseguidos constaban de hasta 20 capas de cilindros concéntricos, con diámetros entre 3 y 30 nm y cerrados en sus extremos por hemifullerenos. La proximidad entre las capas es similar a la presente entre las capas planas del grafito. Por otro lado, los nanotubos de pared sencilla tienen típicamente un diámetro de 1 a 2 nm. Por lo común, las preparaciones de nanotubos son heterogéneas, con una mezcla de tubos de diferente diámetro y longitud, que tienden a empaquetarse en haces; además, son frecuentes los defectos estructurales tanto en las paredes como en los extremos.

Pueden distinguirse 3 tipos de nanotubo (fig. 9), dependiendo de la forma como se produzca el cierre de la lámina de grafeno para formar el cilindro:

En sillón; se cierra por los vértices de los hexágonos; la línea axial del cilindro pasa por un vértice de cada hexágono sucesivo.

En zig-zag; se cierra por los lados de los hexágonos; la línea axial del cilindro pasa por un lado de cada hexágono alterno.

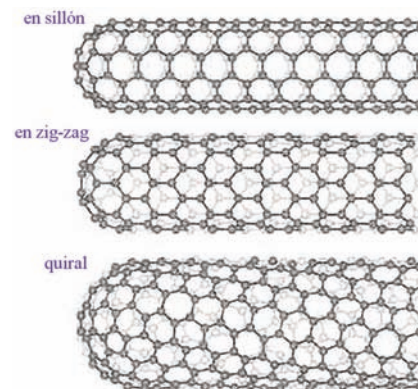


Figura 9: Tipos de nanotubo, dependiendo del modo como se cierra la lámina.

Quiral; es la forma más común; hay inclinación, menor simetría y, como consecuencia, dos formas enantioméricas; la línea axial forma un ángulo con cualquier línea que una sucesivos átomos equivalentes en los hexágonos.

Formación

Desde al menos la década de 1950 se conoce la formación de nanotubos de carbono haciendo pasar un gas que contiene carbono –por ejemplo, un hidrocarburo– sobre un catalizador. Éste consiste en partículas de metal (Fe, Co, Ni) de tamaño nanométrico. Las moléculas del gas se fragmentan y los átomos de carbono van depositándose en forma de tubo a partir de un átomo metálico, que queda así cerrando el extremo del tubo. En general, los nanotubos producidos catalíticamente son menos perfectos que los conseguidos con arco eléctrico, aunque las técnicas han mejorado mucho. La principal ventaja de los métodos catalíticos es que son más fáciles de ampliar para la producción a gran escala, y la investigación reciente se ha concentrado en la obtención de nanotubos con mayor calidad. También puede usarse el método de vaporización por láser, con particular éxito para los tubos de pared sencilla.

Propiedades

Aunque las láminas en el grafito se separan fácilmente, al curvarse y cerrarse en el tubo la situación cambia por completo y la estructura de los nanotubos es muy resistente. La resistencia a la tensión es hasta 20 veces superior a la de los mejores aceros, con un sexto de su densidad y la mitad de densidad que el aluminio. La rigidez de los nanotubos es igualmente elevada, hasta 5 veces superior al acero.

También son conductores eléctricos y térmicos, tan eficientes al menos como el cobre y el diamante, respectivamente. Estas propiedades se ven, no obstante, moduladas por el diámetro, longitud y quiralidad de los nanotubos. En particular, dependiendo del tipo de cierre de la lámina resultan ser conductores, semiconductores o incluso aislantes, o bien superconductores.

La solubilidad de los nanotubos en disolventes orgánicos habituales es reducida. Se pueden formar suspensiones empleando algunos disolventes polares como la dimetilformamida. En general,

cuando se desean solubles se añaden grupos funcionales en algunos puntos de la pared del tubo.

Aplicaciones

Varias compañías ya comercializan nanotubos con aplicación en electrónica, óptica, ciencia de materiales o nanotecnología. Hay gran interés para componentes electrónicos (semiconductores) de escala nanométrica, aunque por ahora no se puede controlar con precisión la necesaria disposición ordenada de miles de ellos. Tales componentes podrían revolucionar la construcción de ordenadores. Si se están usando en pantallas planas, microscopios de barrido y sensores. Otro área de interés es su inclusión en materiales compuestos, como refuerzo estructural de otros polímeros. Las «fibras de carbono» ya se combinan con resinas epoxi en palos de golf, raquetas de tenis, marcos de bicicleta o veleros; los nanotubos podrían sustituirlas, pues aportan una resistencia igual o superior con un diámetro mucho menor (entre 4 y 30 nm frente a 6-10 µm de las primeras).

NOTAS

a. La naturaleza aromática de los fullerenos es una primera aproximación. Estrictamente, la deslocalización de electrones en la estructura no es completa; domina la estructura resonante que posee los dobles enlaces en posición exocíclica a los anillos pentagonales.

b. Fuentes: Fig. 2: Jürgen Matern, Wikimedia Commons. Fig. 4: *Fullerene Science Module* (J. R. Bleeker, R. F. Frey, Washington University). Fig. 9: *A carbon nanotube page* (Peter Harris, University of Reading).

c. Pueden consultarse modelos tridimensionales interactivos de las estructuras en <http://www.cdlmadrid.org/cdl/archivospdf/ciencias/grafeno-tubo-fullereno.pdf>.

BIBLIOGRAFÍA

1. N. Martín (2011) Sobre fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura* **187** extra 2011: 115-131.
2. H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. E. Smalley (1985) C₆₀: Buckminsterfullerene. *Nature* **318**: 162-163.
3. International Union of Pure and Applied Chemistry (2002) Nomenclature for the C₆₀-I_h and C₇₀-D_{5h(6)} Fullerenes.
4. Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures. Taylor & Francis.
5. M. S. Amer (2010) Raman Spectroscopy, Fullerenes and Nanotechnology. Royal Society of Chemistry Publishing, pág. 117.
6. W. Krätschmer, L. D. Lamb, K. Fostiropoulos, D. H. Huffman (1990) Solid C₆₀: A new form of carbon. *Nature* **347**: 354-358.
7. S. Iijima (1991) Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature* **354**: 56-58.

* Las imágenes de este artículo se pueden ver en formato tridimensional en la web del Colegio www.cdlmadrid.es

PREPARACIÓN A DISTANCIA Y PRESENCIAL

CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

<ul style="list-style-type: none"> ~ FILOSOFÍA ~ LATÍN Y CULTURA CLÁSICA ~ GRIEGO Y CULTURA CLÁSICA ~ LENGUA CASTELLANA Y LITERATURA ~ GEOGRAFÍA E HISTORIA ~ MATEMÁTICAS ~ FÍSICA Y QUÍMICA ~ BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA ~ DIBUJO ~ INGLÉS ~ FRANCÉS ~ ALEMÁN 	<ul style="list-style-type: none"> ~ MÚSICA ~ EDUCACIÓN FÍSICA ~ PSICOLOGÍA Y PEDAGOGÍA ~ TECNOLOGÍA ~ ECONOMÍA ~ FORMACIÓN Y ORIENTACIÓN LABORAL ~ ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS ~ ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN COMERCIAL ~ INFORMÁTICA ~ ORGANIZAC. Y PROYECTOS DE FABRICACIÓN MECÁNICA 	<ul style="list-style-type: none"> ~ ORGANIZAC. Y PROCESOS DE VEHÍCULOS ~ ORGANIZAC. Y PROYECTOS DE SISTEMAS ENERGÉTICOS ~ SISTEMAS ELECTROTÉCNICOS Y AUTOMÁTICOS ~ SISTEMAS ELECTRÓNICOS ~ CONSTRUCCIONES CIVILES Y EDIFICACIÓN ~ PROCESOS DIAGNÓSTICOS CLÍNICOS Y ORTOPROTÉSICOS ~ PROCESOS SANITARIOS 	<ul style="list-style-type: none"> ~ PROCESOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ~ INTERVENCIÓN SOCIOCOMUNITARIA ~ HOSTELERÍA Y TURISMO ~ PROCESOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN ~ ASESORÍA Y PROCESOS DE IMAGEN PERSONAL ~ ANÁLISIS Y QUÍMICA INDUSTRIAL ~ PROCESOS DE PRODUCCIÓN AGRARIA
---	--	---	---

PROFESORES TÉCNICOS DE FORMACIÓN PROFESIONAL

<ul style="list-style-type: none"> ~ PROCESOS DE GESTIÓN ADMINISTRATIVA ~ PROCESOS COMERCIALES ~ SISTEMAS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS ~ MECANIZADO Y MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS ~ SOLDADURA ~ INSTALAC. Y MANTENIM. DE EQUIPOS TÉRMICOS Y DE FLUIDOS ~ MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS ~ INSTALACIONES ELECTROTÉCNICAS ~ EQUIPOS ELECTRÓNICOS 	<ul style="list-style-type: none"> ~ OFICINA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN ~ PROCEDIMIENTOS SANITARIOS Y ASISTENCIALES ~ PROCEDIMIENTOS DIAGNÓSTICO CLÍNICO Y ORTOPROTÉSICO ~ OPERACIONES Y EQUIPOS DE PRODUCTOS ALIMENTARIOS ~ SERVICIOS A LA COMUNIDAD ~ COCINA Y PASTERÍA ~ SERVICIOS DE RESTAURACIÓN ~ TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE IMAGEN Y SONIDO ~ OPERACIONES DE PRODUCCIÓN AGRARIA
--	---

CATEDRÁTICOS Y PROFESORES DE ESCUELA OFICIAL DE IDIOMAS

~ INGLÉS	~ ESPAÑOL	~ FRANCÉS	~ ALEMÁN
----------	-----------	-----------	----------

MAESTROS DE ENSEÑANZA PRIMARIA

~ EDUCACIÓN PRIMARIA	~ EDUCACIÓN INFANTIL	~ INGLÉS	~ FRANCÉS	~ EDUCACIÓN FÍSICA	~ AUDICIÓN Y LENGUAJE	~ EDUCACIÓN MUSICAL	~ PEDAGOGÍA TERAPÉUTICA
----------------------	----------------------	----------	-----------	--------------------	-----------------------	---------------------	-------------------------

C/ CARTAGENA, 129 - 28002 MADRID
 TELS.: 91 564 42 94 - FAX: 91 563 60 54
 www.cede.es - E-mail: oposiciones@cede.es

Interferencia entre fármacos y hábitos de consumo

Marisa González Montero de Espinosa

Grupo de Investigación UCM 920325 (www.epinut.ucm.es)

mglezmontero@gmail.com

En el año internacional de la Química hay que reconocer que cualquier aspecto de nuestro bienestar está condicionado por la gran variedad de información y conclusiones que suministra dicha rama científica. El avance de los conocimientos en esta disciplina ha sido fundamental para mejorar nuestra salud personal y poblacional. Por ello, es necesario progresar en la investigación de las posibles interrelaciones existentes entre los mecanismos fisiológicos y químicos que rigen nuestro organismo.

Vamos a centrar las próximas líneas en analizar las interferencias entre los medicamentos orales y nuestra ingestión habitual tanto de alimentos como de otras sustancias, a veces tóxicas, como el alcohol y el tabaco. La comprensión de estos mecanismos resulta de vital importancia para evitar la alteración de la eficacia del fármaco, prevenir las reacciones adversas al organismo o impedir casos de modificaciones del apetito, que pueden alterar el estado nutricional del individuo.

Las interacciones originadas con los alimentos no se producen siempre del mismo modo, ni con la misma intensidad. Los factores que más afectan, desde la perspectiva del fármaco, son el principio activo que lo constituye, la dosificación, la posología, la forma de presentación por vía oral (los comprimidos son más propensos a interactuar que las soluciones o suspensiones) y la duración del tratamiento. El significado clínico de estas interferencias no es uniforme en toda la población; así, la incidencia es superior en la tercera edad, por la mayor ingestión de fármacos y la posible disminución con la edad de las capacidades de absorción,

metabolismo o excreción. También la infancia es una etapa especialmente susceptible ya que los pequeños poseen sistemas de detoxificación poco desarrollados.

Del mismo modo, la administración de ciertas medicinas en el período de gestación puede resultar problemática para el feto ya que pueden interferir en el desarrollo embrionario, especialmente en los tres primeros meses de embarazo. Lo mismo ocurre en la lactancia porque dichas sustancias pueden aparecer en la leche materna y provocar efectos no deseados en el lactante. Como ejemplos de medicamentos contraindicados en estas circunstancias destacaremos muchos antibióticos, la aspirina, ciertos barbitúricos, etc.

Igualmente se pueden producir alteraciones en el estado nutricional del individuo debido a que determinados medicamentos, tomados durante largos períodos de tiempo, pueden originar pérdida de apetito o reducción en la absorción de ciertos nutrientes de los alimentos. Podemos citar las anfetaminas que menguan las ganas de comer, los antiácidos con sales de aluminio que disminuyen la asimilación de fosfatos y vitamina A o los laxantes que pueden producir malabsorción de minerales, como el calcio o la vitamina D.

INTERACCIONES ENTRE LOS ALIMENTOS O SUS COMPONENTES Y LOS FÁRMACOS

Podemos encontrar en la bibliografía científica diversos criterios para clasificar dichas interrelaciones. En uno de ellos se pueden diferenciar, por un lado, las interacciones en las

que los alimentos pueden potenciar o disminuir la eficacia de los medicamentos. En esta circunstancia, esos productos químicos podrían originar efectos adversos de toxicidad o inutilidad en el organismo, porque no realizarían la función para la que fueron recomendados. Por el otro, las interrelaciones en las que los medicamentos varían la absorción o utilización de los nutrientes de la dieta. Un ejemplo sería la reducida absorción de vitamina B₁₂ o cianocobalamina que se puede producir con un tratamiento de omeprazol, común para las úlceras gástricas y duodenales (Fig. 1). Estas incompatibilidades son especialmente importantes en tratamientos largos o crónicos, así como en poblaciones con desnutrición.

Otra de las clasificaciones, posiblemente la más utilizada, es la que se basa en los mecanismos de interacción; en función de ellos se pueden dividir en fisicoquímicas, farmacocinéticas y farmacodinámicas.

INTERACCIONES FISICOQUÍMICAS

No interviene para nada el organismo humano, es decir, dependen exclusivamente de las reacciones entre los elementos de la dieta y el fármaco. Su resultado es un cambio en la capacidad de absorción de alguno de los dos componentes.

Entre las más analizadas mencionaremos, en primer lugar, las que conducen a la formación de precipitados entre las medicinas y los nutrientes, que suele originar un descenso en la absorción de la primera y una disminución de su eficacia terapéutica. Podemos aludir, como ejemplos, las tetraciclinas ingeridas

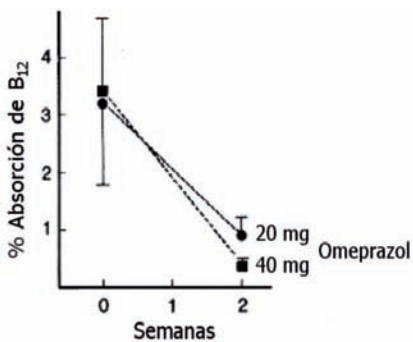


Fig.1. Disminución de la absorción de vitamina B₁₂ al ingerir Omeprazol (Marquard y col. *Ann Intern Med.* 1994)

junto con leche o derivados, la digoxina con la fibra de los alimentos o el haloperidol combinado con los taninos del vino o del té. Asimismo se ha demostrado que el tratamiento prolongado con tetraciclinas, al interrelacionar con el calcio, producen un cambio permanente de coloración dental en niños.

En segundo término señalaremos las interacciones originadas por alteración de la solubilidad del fármaco. Como muestra citaremos la halofantrina que es liposoluble, de modo que al ingerirla con alimentos muy grasos (que incentivan la secreción de sales biliares) se origina también la disolución de dicho antipalúdico y aumenta hasta seis veces su absorción. Por último, mencionaremos las producidas por reacciones redox; el ejemplo típico son los antianémicos (por ejemplo Normovite) y la vitamina C. Dicho nutriente es importante para la absorción del hierro de aquellos porque el ácido ascórbico promueve la reducción del Fe³⁺ a Fe²⁺, que favorece la biodisponibilidad del metal.

INTERACCIONES FARMACOCINÉTICAS

Participa la fisiología del organismo pues los alimentos pueden alterar la absorción, metabolismo o excreción de los medicamentos. Esto conlleva una variación de su concentración en el organismo y un retraso, aumento o disminución de su actividad clínica (Tabla 1).

Los mecanismos de asimilación intestinal del fármaco pueden modificar la cantidad del compuesto químico

que se absorbe o variar la velocidad de absorción. Uno de los procesos más importantes en esta interacción fisiológica es el cambio del pH gastrointestinal. Dicha variación se debe a la influencia de factores de diversa índole que confluyen entre sí; desde la perspectiva de los fármacos reseñaremos el hecho de que pueden ser ácidos o básicos y, desde el punto de vista de la comida, que la presencia de alimentos en el tracto digestivo origina aumento del pH gastrointestinal, retraso en el vaciado estomacal e incremento en la motilidad del intestino. Todo ello produce variación en la biodisponibilidad de la medicina.

El metabolismo de los fármacos ingeridos por vía oral comprende el conjunto de cambios químicos que sufren dichos productos por la acción de sistemas enzimáticos. Uno de los órganos más importantes en la transformación de los medicamentos es el hígado, donde las enzimas microsómicas intervienen en la mayoría de las reacciones metabólicas y son responsables de la mayor parte de las interacciones.

Los alimentos o los nutrientes pueden actuar bien como inductores o como inhibidores de los mencionados sistemas microsómicos hepáticos.

Si su acción es la primera origina una estimulación del metabolismo, con disminución de la actividad terapéutica de la medicina. Por el contrario, si es la segunda, origina una deceleración de su metabolismo y un incremento de su efecto clínico. El zumo de pomelo es uno de los casos más relevantes, ya que es un potente inhibidor enzimático y puede interactuar con fármacos como estatinas, antihistamínicos, inmunosupresores, etc.

El órgano más importante para la excreción de los fármacos es la vía renal. También la dieta tiene enorme influencia en la acidificación o alcalinización de la orina y, teniendo en cuenta que los medicamentos pueden ser ácidos o básicos, puede ocurrir que o bien el xenobiótico sea reabsorbido y prolongue su acción o bien se elimine más rápidamente.

En este sentido, los alimentos que acidifican la orina (cereales y los de origen animal, excepto lácteos) producen un aumento en la excreción de los fármacos básicos (quinina, morfina, anfetaminas). Lo mismo ocurre con los alimentos alcalinizantes (lácteos y vegetales, excepto los cereales) y medicamentos ácidos, como la aspirina o ácido acetilsalicílico. Esta propiedad se utiliza en ca-

Mecanismo	Fármacos - alimentos o nutriente de éstos	Resultado
Absorción de los fármacos	Aspirina - alimentos en el estómago	Disminución de la absorción del medicamento
	Eritromicina base - alimentos en el estómago	
	Penicilinas - alimentos en el estómago	
	Amoxicilina - presencia de alimentos	
Metabolismo de los fármacos	Antipirina - coliflor, repollo, coles, etc.	Bajada de la concentración sérica del medicamento
	Warfarina - alimentos vegetales con flavonoides	Reducción del metabolismo del medicamento
	Simvastatinas - zumo de pomelo	Aumenta la concentración sérica del medicamento
	Teofilina - carnes a la brasa	Acelera el metabolismo del medicamento
Excreción de los fármacos	Anfetaminas - alimentos ácidos	Aumento de la excreción del medicamento

Tabla 1: Interacciones farmacocinéticas

sos de intoxicación farmacológica; así, por ejemplo, la ingestión excesiva de barbitúricos se neutraliza con bicarbonato sódico o la de anfetaminas con cloruro de amonio.

INTERACCIONES FARMACODINÁMICAS

En este apartado se encuentran aquellos casos en los que la presencia de componentes de la dieta aumenta o disminuye la acción de medicinas (Tabla 2) son mucho menos frecuentes que las analizadas anteriormente.

Entre las interacciones farmacodinámicas son importantes, desde el punto de vista clínico, las producidas entre los anticoagulantes orales y los nutrientes, que pueden potenciar o contrarrestar su efecto. Concretamente se ha descubierto que las cebollas presentan actividad fibrinolítica y que los alimentos ricos en vitamina K pueden neutralizar su efecto hipotrombinémico.

INTERACCIONES ENTRE LOS ALIMENTOS O NUTRIENTES Y EL CONSUMO DE SUSTANCIAS TÓXICAS

Fumar y beber son comportamientos adictivos fuertemente ligados a determinados hábitos de vida y suelen iniciarse de manera simultánea; estas prácticas también pueden provocar reacciones no deseadas frente al consumo de ciertas medicinas.

El tabaco y alcohol, cada uno por separado, interactúan con la in-

gestión de fármacos pero, al combinar ambas costumbres, dichas interacciones son mucho más abundantes. Asimismo, el tabaco reduce de modo significativo la concentración de etanol sanguíneo y atenúa sus efectos. Igualmente interfiere sobre la cafeína ya que el nivel de ésta en sangre puede llegar a duplicarse, con la misma cantidad de café ingerida, si se suprime el tabaco.

Los adolescentes son proclives a este tipo de interacciones ya que pueden mezclar medicamentos (psicofármacos, hipoglucemiantes) con cafeína, alcohol y tabaco. Además, al intentar paliar clínicamente el efecto de dicha mezcla, suele desconocerse la dosis ingerida y la concentración en sangre de dichas sustancias.

Alcohol y tabaco

Existen muchas interferencias químicas entre las bebidas alcohólicas y los productos curativos; una de las más destacadas produce el llamado «efecto antabus», cuyo principio activo es el disulfiram. El fármaco impide la degradación adecuada del etanol y conduce a un aumento de acetaldehído, que ocasiona náuseas, sudoración, vómitos, bajada de tensión, etc. Los fármacos que producen esos efectos son antibióticos (tetraciclina, cefalosporina).

En general, es recomendable evitar la combinación de alcohol con fármacos, debido a que puede producir problemas clínicos e incluso llegar a la toxicidad (Tabla 3). Se ha comprobado que el etanol es incom-

patible con medicinas como antihistamínicos, barbitúricos, antihipertensivos, diuréticos, ansiolíticos, antidepresivos, anticoagulantes, etc.

Fármacos	Resultado de las interacciones
Haloperidol, insulina, diazepam	Potencia el efecto del fármaco
Paracetamol	Riesgo de hepatotoxicidad
Anfetaminas, epinefrina	Disminuye el efecto del fármaco

Tabla 3: Interacciones de ciertos medicamentos con el alcohol

Algunos componentes del humo del tabaco pueden interactuar con los medicamentos por un mecanismo farmacocinético activando sistemas enzimáticos involucrados en la eliminación de éstos. Ello origina una disminución de su concentración sanguínea que reduce su eficacia terapéutica. Así ocurre con ciertos antidepresivos, heparina, cafeína, etc.

Es muy conocida la interacción entre el tabaco y los anticonceptivos orales (estrógenos). Los estudios epidemiológicos muestran que estos fármacos en mujeres fumadoras pueden incrementar el riesgo de infarto, ictus, etc. sobre todo si son mayores de 35 años y fuman más de 15 cigarrillos diarios.

Las interferencias farmacodinámicas se deben a la nicotina y se hallan ligadas a los efectos cardiovasculares por liberación de catecolaminas. Se produce una vasoconstricción de las coronarias, aumento de la frecuencia cardíaca y de la tensión arterial e incremento de las secreciones gástricas. Esto ocurre con algunos beta-bloqueantes, antiulcerosos, opioides, etc.

BIBLIOGRAFÍA ORIENTATIVA

- Gaudoneix-Taieb, M.; Beauverie, P. Y Poisson, N. (2001): Tabaco y medicamentos: ¿amistades peligrosas? *Adicciones*. 13 (2): 229-234.
- Martín Conde, JA y Mora Fernández, C. (2006): Interacciones de los fármacos con los alimentos y las hierbas. *Jano*. 1613: 61-63.
- Salazar, E y Pimentel, E. (2003): Interacciones entre medicamentos y alcohol. *Acta Odontol. Venez.* 41 (1): 88-89.
- San Miguel Samano MT y Sánchez Méndez JL (2011): Interacciones alimento/medicamento. *Inf Ter Sist Nac Salud*. 35: 3-12.

Fármacos - alimentos o nutrientes de éstos	Efecto
Fenelzina, Isocarboxácida - alimentos con gran cantidad de tiramina (vinos tintos, aguacates maduros, salsa de soja, quesos curados)	Hipertensión arterial
Anticoagulantes (Cumarina, Dicumarol, Warfarina) - cebollas	Potencian la acción del fármaco
Relajantes musculares (Myolastan) - alimentos con abundante magnesio (frutos secos, soja)	
Anticoagulantes - alimentos ricos en vitamina K (Vegetales verdes, aceite de girasol)	Contrarrestan la acción del fármaco
Antihipertensivos (Espironolactona) y digitálicos (Digoxina) - regaliz	
Diuréticos (Furosemida) - sal y alimentos ricos en sodio (conservas, bacón)	
Levodopa - dieta con abundantes proteínas	

Tabla 2: Interacciones farmacodinámicas