

## INTRODUCCIÓN

# La química, una ciencia



### TEMARIO

CON ESCEPTICISMO: Entre los dos extremos del cosmos: ¿cómo conocemos? 1

LA CIENCIA 2

Ciencia y metaciencia 3

Los procesos de pensamiento de los científicos 4

La validez de la ciencia, en tela de juicio 4

QUÍMICA 7

Química, ¿benefactora... 7

TE TOCA A TI: Fertilizantes, lo bueno y lo malo 10

...o villana? 11

EN EQUIPO: Química, ¿benefactora o villana? 13

PROBLEMAS Y ACTIVIDADES 13

BIBLIOGRAFÍA 14



CON ESCEPTICISMO:<sup>1</sup>

### Entre los dos extremos del cosmos: ¿cómo conocemos?

Un bote de vela. Una mujer en la cubierta. Un mosquito sobre la mano de ella.

La cámara se acerca y enfoca al mosquito. Sigue aproximándose. El mosquito se ve enorme. Alcanzamos a percibir la fina y ramificada estructura de sus alas.

La cámara entra en una de ellas. Vemos las células y, dentro de ellas, muchas estructuras: el citoplasma, el núcleo celular, las vacuolas... Más allá, moléculas proteicas formadas por átomos. En los átomos vemos el núcleo, con protones y neutrones, y, rodeándolo, la nube de los electrones.

Repentinamente la cámara se detiene y comienza a alejarse. Volvemos al bote de vela, la mujer en él, el mosquito sobre la mano de ella. La cámara se aleja más, no se detiene. Alcanzamos a ver el lago en el que flota el bote y en su orilla un pueblo, el pueblo en un continente de la Tierra, la Tierra en el Sistema Solar, el Sistema Solar en la Vía Láctea... La cámara se retira aún más, detecta las galaxias... Finalmente, se detiene. Regresa al bote de vela, la mujer en la cubierta, el mosquito sobre la mano de ella.



**Figura 0.2**

Mosquito visto por un microscopio electrónico.



**Figura 0.1**

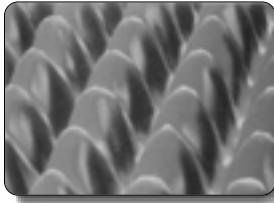
El barco y la mujer.

<sup>1</sup> La sección llamada "CON ESCEPTICISMO" contiene más preguntas que respuestas. Su objetivo es promover la indagación, hacer preguntas como las que hacen los científicos. Los descubrimientos inician por lo general con una buena pregunta.



## 2 PRIMERA PARTE

### Manifestaciones de la materia



**Figura 0.3**  
Átomos de níquel.



**Figura 0.4**  
El planeta Tierra.

Esta toma hipotética e imposible, aunque nos parezca plausible a pesar de nunca haberla visto, sugiere que aceptamos que el ser humano se encuentra en un punto medio entre lo más pequeño y lo más grande del Universo, entre los llamados “microcosmos” y “macrocosmos”. Esto es lo que hemos aprendido desde niños, si hemos creído lo que indican las evidencias indirectas y las mediciones directas realizadas hasta la fecha con equipos especializados. Pero siempre nos quedan dudas: ¿realmente existen los átomos? ¿La vida del mosquito se debe ciertamente a las propiedades de replicación de ciertas moléculas y a un estado de desequilibrio promovido por reacciones químicas? ¿De verdad las estrellas están tan lejos? ¿Vivimos en un Universo que se expande?

Pasa por nuestra cabeza la idea de lo relativas que pueden ser estas “verdades”. Eso, que hemos aprendido, ¿será cierto? ¿No será producto de las limitaciones del ser humano, de su imperfecta “visión”? ¿Ciertamente existen cosas mucho más pequeñas que nosotros, que no alcanzamos a percibir con los sentidos? ¿Por qué tenemos que confiar en los aparatos? ¿Por qué tenemos que confiar en las leyes científicas? ¿Por qué hay leyes y teorías para describir el mundo macroscópico y otras para el microscópico? ¿Las leyes de ambos dominios son diferentes debido a que la naturaleza no se comporta igual en el microcosmos que en el macrocosmos? ¿Será que dichas leyes están incompletas, que aún no lo hemos descubierto todo? ¿Llegaremos alguna vez a conocer lo que realmente ocurre, a tener verdades absolutas acerca del comportamiento de la naturaleza?

Si la humanidad ha tratado de ampliar sus formas de percibir el mundo es porque ésa es una forma de conocerlo. A la especie humana le gusta indagar, actividad posible gracias al complicado cerebro que le legó la evolución. Pero ¿qué tanto las interpretaciones de lo observado dependen de la persona que mira y de lo que ya cree saber previamente? ¿No es cierto que, después de un asalto, hay varias interpretaciones diferentes de lo que sucedió, según el testigo al que se le pregunte? ¿Cómo hacen los científicos para evitar ese sesgo? En breve, ¿cómo conocemos mediante la ciencia?

## LA CIENCIA



**Figura 0.5**  
Ruy Pérez Tamayo, patólogo mexicano dedicado también al estudio de la filosofía de la ciencia.

*El espacio de Einstein no está más cerca de la realidad que el cielo de Van Gogh. La gloria de la ciencia no estriba en una verdad más absoluta que la verdad de Bach o Tolstoi sino que está en el acto de la creación misma. Con sus descubrimientos, el hombre de ciencia impone su propio orden al caos, así como el compositor o el pintor impone el suyo: un orden que siempre se refiere a aspectos limitados de la realidad y se basa en el marco de referencias del observador, marco que difiere de un periodo a otro, así como un desnudo de Rembrandt difiere de un desnudo de Manet.*

Arthur Koestler

Ciencia es la palabra latina equivalente a “conocimiento”; no es más que un modo específico de ampliar, organizar y renovar la experiencia humana. Ruy Pérez Tamayo aporta la siguiente propuesta para definir la ciencia:

*Actividad humana creativa cuyo objetivo es la comprensión de la naturaleza y cuyo producto es el conocimiento, obtenido por medio de un método científico organizado en forma deductiva y que aspira a alcanzar el mayor consenso posible.*

Si se define la palabra cultura como “aquello que una sociedad sabe, hace y comparte”, sin lugar a dudas la **ciencia** es una pieza de la cultura de una sociedad, pues forma parte de sus saberes, de su práctica y de lo aceptado por consenso, al menos por el consenso de los expertos.

## Ciencia y metaciencia

El ser humano tiene y ha tenido la necesidad ancestral de conocer, aprovechar y respetar el mundo que lo rodea, lo que lo ha llevado a tratar de organizar y ampliar el conocimiento de la naturaleza y de los fenómenos que en ella ocurren. Para lograrlo ha empleado diversos acercamientos, primero precientíficos y luego científicos.

Daniel Boorstin, bibliotecario emérito del Congreso estadounidense propone tres períodos diferenciados en los que la civilización occidental ha intentado acercarse al conocimiento.

1. El primero es el de los profetas y los filósofos: unos tras la búsqueda de canales hacia la “Voz Superior”, los otros en labor de parir las voces humanas interiores. Los profetas indagaban el mensaje divino, eran los reveladores del propósito de Dios, mientras que para los filósofos griegos la búsqueda fue más allá de la divinidad, con base central en el razonamiento puro.

En el México prehispánico, existía el convencimiento de que la lluvia se debía al dios Tláloc (ver figura 0.6) y, por lo tanto, que de él dependía el éxito de las cosechas. En el Perú, entretanto, las divinidades eran el Sol, Inti, y la Tierra, Pachamama. Los antiguos pobladores del continente adoraban a estas deidades, entre otras, para intentar garantizar su bienestar.

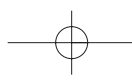
2. El segundo período de búsqueda propicia la civilización actual, ya que su propósito es develar el papel del hombre en la sociedad. En este tiempo de grandes descubrimientos geográficos, “civilizar” es el significado y el propósito de la comunidad. Los enciclopedistas franceses propician el clímax de ese proceso civilizador que se inicia en Grecia, continúa en Roma, y desemboca en el Renacimiento y en la filosofía racional europea.
3. El tercer período es el contemporáneo, dominado por la ciencia y la tecnología como instrumentos de búsqueda, en el cual surgió la química como ciencia, el objeto de estudio de este libro.

Si bien las creencias mágicas o religiosas no estaban basadas en conocimiento científico alguno, tenían igualmente la motivación de explicar y predecir los fenómenos naturales, de conocer sus causas, para así tratar de mejorar las condiciones de vida. Esa misma necesidad es la que se tiene cuando se procura predecir el futuro. Pero, otra vez, la astrología no tiene fundamentos científicos. Entonces, ¿qué es lo que distingue un conocimiento científico de uno que no lo es?

La diferencia entre la actividad científica y la que no lo es, estriba en su reproducibilidad y en su capacidad de predicción. Para entender mejor, tomemos el ejemplo de la astrología. Es posible que un lector de la carta astral de algún sujeto que nació bajo el signo de Piscis con ascendente en Leo “diga” que se ganará una fortuna. Sin embargo, sabemos que esto puede ocurrir, o no. En efecto, algunos pocos Piscis-Leo tendrán suerte en algún sorteo en su vida, pero lo más probable es que ello no suceda en la mayoría de los casos. A veces los astrólogos aciertan debido a la vaguedad, ambigüedad y generalidad de sus afirmaciones, lo que no quiere decir que tengan poder predictivo. Leer en el horóscopo del día que los Tauro encontrarán la felicidad o el amor, es algo sumamente ambiguo.



**Figura 0.6**  
Tláloc. Divinidad de la lluvia del México precortesiano.



## 4 PRIMERA PARTE Manifestaciones de la materia

Así, aunque existan algunos Tauro afortunados ese día, no se puede garantizar que se repita el hecho ni que ocurra para todos los de ese signo. A diferencia, un conocimiento científico se basa en múltiples observaciones controladas y rigurosas que se han cumplido siempre que el experimento se realiza bajo las mismas condiciones. La capacidad de predicción hace que los sucesos científicamente explicados no sean casuales, sino que se puedan comprobar y repetir cuantas veces se desee.

### Los procesos de pensamiento de los científicos

Son variadas las aproximaciones que se usan en ciencia para acercarse al conocimiento. No es posible establecer unas reglas simples que describan lo que ha dado en llamarse “el método científico”. Éste cambia de un hallazgo a otro, de una comunidad científica a la otra, de una época a otra, de una rama de la ciencia a otra. No hay un método de la ciencia, sino muchos. Sin embargo, y sólo a manera de ejemplo, una aproximación factible en ciencia se presenta en las siguientes líneas (ver figura 0.7):



a) Una buena pregunta y una buena respuesta



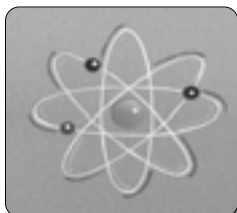
b) Observación del sistema



c) Búsqueda de patrones



d) Establecimiento de leyes



e) Construcción de modelos y teorías



f) Predicciones a partir de la teoría

1. Lanzar una buena pregunta sobre algún hecho natural; es decir, tener una buena **hipótesis**.
2. Hacer observaciones controladas y rigurosas, al concentrarse en una pequeña porción del Universo, llamada “sistema”, aislada para su estudio.
3. De un conjunto de observaciones puede derivarse una **ley** acerca de su comportamiento, al identificar patrones que se repiten en los datos obtenidos.
4. Intentar construir un modelo del sistema y unas ecuaciones que describan y relacionen algunas de sus variables, hasta alcanzar una **teoría** sobre el objeto modelo.
5. Comparar los resultados teóricos con los experimentales para poner a prueba la validez de la teoría.
6. Si la comparación es exitosa, utilizar dicha teoría para hacer nuevas **predicciones** sobre el sistema, lanzar nuevas preguntas y hacer nuevas observaciones.

Cuando los sistemas no se pueden aislar o intentar reproducir una medición es imposible —como en la astronomía o en la paleontología, por ejemplo— el método anterior es inaplicable, pero es factible también plantear hipótesis, hacer numerosas observaciones, analizarlas y sacar conclusiones que puedan ser consideradas válidas por la comunidad científica. Es el respaldo de la comunidad internacional de científicos lo que da soporte a la validez de los conocimientos.

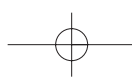
Ciertamente, las observaciones, leyes y teorías se refieren solamente al objeto bajo estudio. Por ejemplo, las leyes de Newton son válidas para describir los aspectos mecánicos del mundo macroscópico. Para el microscópico, son las ideas de los científicos del siglo XX las que prevalecen. Como producto de haber dividido al mundo en sistemas para su estudio, las leyes de ambos dominios resultan ser diferentes en ocasiones.

### La validez de la ciencia, en tela de juicio

A pesar del alto grado de confianza que tenemos en los conocimientos derivados de la ciencia no contamos con verdades ab-

**Figura 0.7**

Ejemplo de un procedimiento sistemático en el trabajo científico.





**Figura 0.8**

La ciencia nos ha enseñado a no confiar en el sentido común. La Tierra parece ser plana cuando vemos el horizonte.

solitas. El conjunto del saber de una época puede ser superado por los resultados de nuevas investigaciones, que conducen a la construcción de nuevas teorías que engloban a las anteriores y, en ocasiones, las invalidan.

Un ejemplo de ello es la teoría atómica. El átomo indivisible de Dalton se abandonó después de un siglo, al aparecer evidencia de partículas más ligeras: electrones, protones y neutrones. Lo que pudo explicarse con el átomo de Dalton se puede también entender con las teorías atómicas modernas, que a su vez esclarecen otros fenómenos que Dalton no había comprendido. El aparente carácter transitorio del conocimiento científico surge por la continua necesidad de renovarlo, refinarlo y ampliarlo.

En ocasiones, las explicaciones científicas van en contra de lo que nos dice el sentido común y por ello hay una gran resistencia para aceptarlas. Sin embargo, la experiencia ha demostrado en múltiples ocasiones que una actitud escéptica conduce, a la larga, a hallar nuevos conocimientos y nuevas interpretaciones. Como ejemplos de ello:

- Cuando vemos el horizonte, el sentido común nos dice que la Tierra es plana, que no puede ser redonda. Hoy tenemos muchas evidencias de lo contrario, pero fue crucial el primer viaje naval de circunnavegación como demostración irrefutable.
- El movimiento de la Tierra alrededor del Sol es otro fenómeno difícil de asimilar por cualquiera, ya que parece ser el Sol el que se mueve. Contra el esquema de Aristarco y Ptolomeo, que colocaba a la Tierra en el centro del Sistema Solar, Copérnico afirmó que ésta gira alrededor del Sol y Kepler se encarga de demostrarlo por la rigurosa observación de los planetas.
- La existencia de los átomos reta asimismo al sentido común. Nuestros cinco sentidos son demasiado “cortos” para que muestren evidencia alguna de que todos los objetos están finalmente compuestos de partículas; que la materia no es un medio continuo. Hoy, todas nuestras interpretaciones sobre el comportamiento material se basan en la existencia de los átomos.

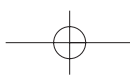
Admitir que existe la posibilidad de que un conocimiento aún no refutado pueda ser superado por nuevas investigaciones es fundamental para el avance de la ciencia. También lo es no rechazar ideas, por mucho que parezcan ofender la sensibilidad humana, hasta que la experimentación las ratifique o las refute.

La resistencia a reconocer nuevas ideas nos lleva en ocasiones a no aceptar que lo ya entendido antes no es vigente ahora. La renuencia a admitir el nuevo conocimiento fue enorme cuando se descubrieron los elementos químicos, cuando se plantearon las leyes de Newton de la mecánica o cuando Einstein introdujo el concepto de la relatividad.

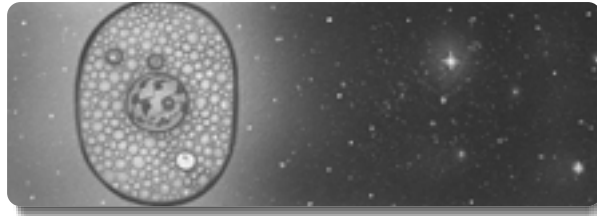
Los mismos científicos dudan en un principio de las propuestas de los otros. Cuando sobreviene una propuesta revolucionaria en ciencia, según lo ha interpretado Thomas Kuhn, se entra en un período de crisis, en el que el viejo paradigma (los compromisos compartidos por los científicos hasta entonces) se tambalea al aparecer un nuevo paradigma (una nueva forma de interpretar esa rama del conocimiento).

Einstein, por ejemplo, se resistió a aceptar algunas ideas de Bohr, de la misma forma que otros de sus contemporáneos se resistieron a aceptar las suyas. Aunque las leyes de Newton se reconocen como válidas para describir los aspectos mecánicos del mundo macroscópico, para el microscópico son las de Einstein, Bohr y otros las que prevalecen. Aceptarlo fue difícil, pero así es en la actualidad. Este último ejemplo nos conduce a pensar que el microcosmos no se puede explicar con las mismas reglas que el macrocosmos, pero de ahí a asegurar que no aparecerá una teoría unificadora que los englobe hay una gran distancia.





## 6 PRIMERA PARTE Manifestaciones de la materia



**Figura 0.9**  
Micro y macrocosmos.

La escala de tiempo y espacio de lo que los seres humanos podemos “ver” es sumamente restringida, por lo que hemos inventado equipos que nos permiten fotografiar vagamente a los átomos o bien observar las estrellas y, aún así, no podemos todavía generalizar el conocimiento científico en las dos escalas. De alguna manera es el precio que el ser humano paga por ser tan grande en el mundo atómico y tan pequeño en el mundo Universal. Los científicos suman esfuerzos para tratar de unir lo que alguna vez separaron, para darle a todo una explicación integral. Esta síntesis, sobra decirlo, es uno de los aspectos más difíciles de la investigación científica.

El conocimiento científico tiene siempre un grado de incertidumbre: el proceso de inducción, que permite generalizar a partir de muchas observaciones, no tiene un fundamento lógico estricto. Por ejemplo, por más que hayamos observado 1000 cuervos negros no existe la seguridad de que en algún lugar y algún día no aparezca un cuervo albino.



**Figura 0.10**  
El cuervo albino y la falla del proceso inductivo.

En efecto, la inducción falla en ocasiones. Por ejemplo, durante decenas de años se creyó que los gases nobles no reaccionaban químicamente, porque se erró muchas veces en el intento de hacerlos reaccionar. No obstante, para sorpresa de todos, en 1962 se obtuvieron los primeros ejemplos de los compuestos del xenón.

Entonces, ¿para qué aprender la Ley de la Conservación de la Materia, las diferencias entre una mezcla y una sustancia pura, las leyes de los gases o la supuesta estructura de los átomos, si dentro de 100 años podría cambiar nuestra concepción al respecto?

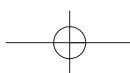
A pesar de que en el futuro suceda algún experimento en el que no se conserve la materia o un gas muy peculiar no se expanda al calentarlo, ello no alteraría prácticamente la estructura de la ciencia actual. En todo caso, habría que acomodar ese caso excepcional en el edificio de la ciencia para darle explicación a esa singularidad, y nada más. Las leyes fundamentales ya descubiertas conservarán su veracidad, porque se han repetido innumerables veces. No sólo eso, también existen aplicaciones evidentes de esos conocimientos, que han permitido aumentar el bienestar de la humanidad.

El estudio del comportamiento de los gases y los líquidos, por ejemplo, ayudó al invento de la olla exprés o al advenimiento de la era de los cohetes espaciales. Aun si dentro de 100 años las leyes de los gases sufren de una generalización debido a algún experimento particular que nos llevara a conclusiones distintas, ello no haría que la olla exprés dejara de cocinar los alimentos en menos tiempo. Quizás la explicación de por qué funciona sería ligeramente distinta, pero el hecho sería el mismo, la aplicación no se vería modificada.



**Figura 0.11**  
La olla exprés. Aunque las teorías se transformen, las aplicaciones del conocimiento permanecen.

En resumen, el conocimiento científico no nos conduce a verdades absolutas, pero indudablemente contribuye a aumentar el bienestar de la humanidad, a incrementar nuestro conocimiento del mundo y a saber cómo protegerlo. En la ciencia, la última palabra no está dicha y lo más probable es que nunca lo esté, pero el saber, el conocimiento acumulado, es estrictamente necesario para continuar con la búsqueda.



## QUÍMICA

Para la química, por ser una ciencia, se cumple todo lo dicho hasta ahora. Podemos definir esta ciencia, adoptando la definición del canadiense Nyholm:

*La química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de los elementos y sus compuestos, así como de los sistemas que forman.*

Aquí es evidente que se da por entendida una multitud de conceptos: “preparación”, “propiedades”, “estructura”, “reacciones”, “elementos”, “compuestos” y “sistemas”, a los que tendremos que volver en varios momentos, con el avance de este texto.

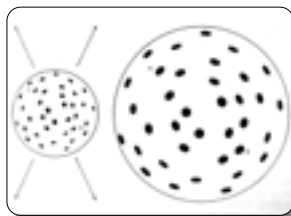
A lo largo de esta obra, según te nutras del lenguaje de la química, podrás estudiar los ensayos de este libro, los cuales te mostrarán el papel protagónico que esta ciencia juega para mejorar la calidad de vida de la humanidad. De seguro en el futuro, la química nos ayudará todavía más a resolver los problemas actuales y a ahondar en el conocimiento de lo aún oculto. Pero también aprenderás que se han presentado muchos problemas con el manejo de las sustancias químicas peligrosas.

### Química, ¿benefactora...

Como un adelanto de dichos ensayos, los siguientes apartados resumen los aportes más importantes de esta ciencia en el siglo XX. Hablan, sin duda, del papel central de la química para el bienestar del género humano:

- **Alimentación:** Los vegetales requieren de nitrógeno asimilable para crecer. A principios del siglo XX se logró en Alemania la síntesis del amoníaco. Éste quizás es el proceso químico que más beneficio ha aportado al género humano, ya que la comida de la población depende actualmente de él. Hoy se producen unos 70 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados a partir del proceso descubierto por Fritz Haber y Carl Bosch.

Con la química se producen los fertilizantes que han multiplicado el rendimiento agrícola por hectárea. Al producirse más alimentos se ha contribuido a un explosivo crecimiento demográfico (de 1.7 a casi 6 000 millones de habitantes en un siglo).



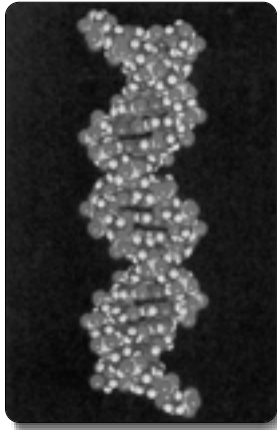
**Figura 0.12**

El universo, la gran explosión. Las galaxias se alejan unas de otras como si se tratara del proceso de inflar un globo.

- **Origen de la vida y del universo:** En el siglo XIX, se desarrolló la espectroscopía atómica (el estudio de la emisión de luz por átomos excitados). Pronto se reconoció la presencia de hidrógeno y helio en el Sol y, más tarde, de otros elementos. Con el telescopio se obtuvo el resultado de que esos mismos elementos aparecían en todo el Universo, y en proporciones similares. Gracias al análisis de la luz de las estrellas, en el siglo XX se encontró que las galaxias se alejan unas de las otras, dando lugar a la hipótesis de un Universo en expansión. Ello condujo a la teoría de que toda la materia estaba concentrada inicialmente y que el Universo se originó con una Gran Explosión (ver figura 0.12).
- En 1920, el ruso Alexander Oparin sugirió que los primeros aminoácidos se formaron a partir de los componentes de la atmósfera primitiva. Más tarde, los químicos estadounidenses Harold Urey y Stanley Miller demostraron experimentalmente que así es factible obtener una buena cantidad de ellos.

## 8 PRIMERA PARTE Manifestaciones de la materia

Más recientemente, se han develado los mecanismos de la formación primitiva de los componentes del ácido desoxirribonucleico (ADN), de polímeros de aminoácidos que exhiben formas primitivas de metabolismo, y se han lanzado propuestas para la síntesis de las primeras moléculas con capacidad de autorreplicarse.



**Figura 0.13**  
La doble hélice de ADN.  
Ambas hélices están unidas  
por bases nitrogenadas.

¡El análisis químico estelar dio luces sobre la teoría actual de la formación del Universo!  
¡Estamos lejos todavía, pero la química empieza a mostrar cómo se formó la vida en la Tierra!

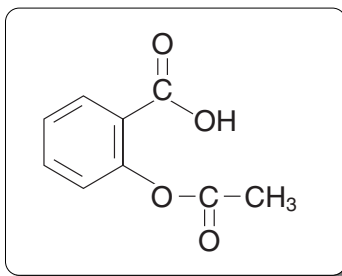
- **Biología molecular y el genoma humano:** En 1962 el Premio Nobel de Química fue otorgado a James Watson y Francis Crick por descifrar en 1953 la estructura tridimensional del ácido desoxirribonucleico (ADN). La figura 0.13 presenta la ya famosa estructura de la doble hélice.

Con este descubrimiento se abrieron las posibilidades para el estudio de la genética y de las bases moleculares de la vida. El ser humano tiene 3 000 millones de bases nitrogenadas, mientras que una mosca drosófila sólo tiene 165 millones, el hongo de la levadura cuenta con 14 y una bacteria como la que provoca la influenza posee únicamente 1.8 millones.

El Proyecto del Genoma Humano nace en 1990 con el objetivo de identificar el conjunto completo de instrucciones genéticas (60 a 80 mil genes) y, más tarde, el “texto” completo escrito en el ácido desoxirribonucleico (ADN) por medio de las bases nitrogenadas. Hacia el año 2001 se concretó el conocimiento de la secuencia del 100% del genoma.

Se presume que alrededor de 3 000 enfermedades tienen origen genético. Este proyecto dará luz sobre la esquizofrenia, el alcoholismo, el cáncer de mama, la enfermedad de Alzheimer o la depresión maníaca, entre otros males. Son varias las enfermedades en las que la diagnosis ha avanzado gracias al conocimiento de la alteración genética que las produce: la distrofia muscular de Duchenne, el retinoblastoma, la fibrosis cística, la neurofibromatosis y la obesidad, entre otras.

¡La química nos permite conocer las bases moleculares de la herencia y de la evolución de las especies!  
¡El análisis químico del genoma humano nos llevará a entender muchas enfermedades y cómo atacarlas!



**Figura 0.14**  
Fórmula del ácido acetilsalicílico  
(aspirina).

- **Medicamentos y salud:** La aspirina (figura 0.14) es el medicamento que más se ha consumido en la historia de la humanidad. Félix Hoffmann lo obtuvo en 1898.

Otros medicamentos fundamentales para la erradicación de enfermedades son los antibióticos. Primero aparecen las llamadas “sulfas” o sulfonamidas, y luego la penicilina. Las nuevas generaciones de antibióticos han tenido un papel principal en el alargamiento de la vida humana en este siglo y la disminución de la mortalidad infantil. El problema es que un abuso en el uso de los antibióticos o su empleo sin receta médica ha vuelto resistentes a muchos microorganismos.

Gracias al conocimiento de la mecánica de los fluidos, el transporte a través de membranas y la fisicoquímica de las superficies, el primer órgano artificial fue desarrollado en la década de 1960: el riñón artificial. Pocos años después la



hemodiálisis era una realidad que salvaba vidas de pacientes con falla renal aguda.

La bioingeniería y la ingeniería genética actuales obtienen moléculas humanas importantes para el tratamiento de enfermedades a partir de cultivos de bacterias inoculadas con genes humanos. Así se fabrican hoy la insulina para la diabetes, el interferón (para regular la respuesta celular a las infecciones virales y a la proliferación del cáncer), antígenos, hormonas de crecimiento, anticuerpos monoclonales, factores antihemofílicos y tantos otros.

La industria farmacéutica desarrolla la síntesis de los medicamentos que previenen o atacan las enfermedades humanas.  
¡La biotecnología y la biomedicina, con toda la química que hay detrás, avanzan para extender el período de la vida humana!

- **Materiales:** La química ha desarrollado materiales sintéticos cuyas propiedades superan a las de los productos naturales. Aparecen primero una multitud de polímeros sintéticos con los que se fabrica ropa y materiales de consumo. Más tarde surgen prótesis, así como órganos y tejidos artificiales. Luego cerámicas y materiales compuestos (fibras embebidas en una matriz polimérica) han revolucionado las industrias de la construcción y del transporte por su inigualable resistencia.

La revolución informática actual, fruto del “chip” y la microcomputadora fue posible gracias a la refinación del silicio. Igualmente, para la transmisión eficaz de las telecomunicaciones hoy se emplean vidrios de alta pureza (las fibras ópticas, ver figura 0.15A).



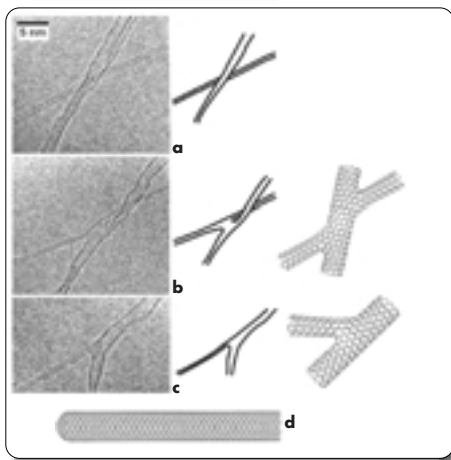
A)

A últimas fechas ha nacido la nanotecnología. No existe una definición precisa de lo que significa esto, pero los científicos han aprendido cómo controlar el tamaño y forma de una amplia gama de materiales, a nivel atómico y molecular.

En ese proceso han descubierto propiedades interesantes y potencialmente útiles, muchas de ellas no anticipadas por nadie.

Los últimos 15 años han sido testigos de la explosión de herramientas relativamente baratas para interrogar y manipular materiales a escala de los nanómetros, tales como microscopios de exploración y sondeo.

Al mismo tiempo, varios campos antes no relacionados (tales como la ingeniería eléctrica y la biología) han empezado a enfocarse a entender y controlar fenómenos físicos y químicos sobre esta escala de longitudes, típicamente de 1 a 100 nm. Dentro de esta nueva rama de la ciencia de los materiales existe un nuevo grupo de mexicanos, en San Luis Potosí, dedicados a trabajar sobre nanotubos de carbono, que son estructuras formadas únicamente por átomos de carbono (ver figura 0.15B).



B)

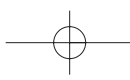
La química nos provee de los materiales que han revolucionado la industria, la informática y el consumo.

**Figura 0.15**

**A)** Fibras ópticas. **B)** de **a)** a **c)** Nanotubos de carbono fotografiados por los hermanos Mauricio y Humberto Terrones en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. **d)** Nanotubo de carbono de pared sencilla. Tomado de la “Image Gallery” del grupo de Richard E. Smalley. Ver [www.mb.tn.tudelft.nl/projects/carbon\\_nonotubes.html](http://www.mb.tn.tudelft.nl/projects/carbon_nonotubes.html)

- **Energía:** El petróleo aporta hoy 60% de la energía mundial. Los procesos químicos de refinación nos permiten mejorar día con día la calidad de los combustibles.

Respecto al carbón es importante idear procesos químicos que lo conviertan en combustibles gaseosos o líquidos, más manejables y menos contaminantes.



## 10 PRIMERA PARTE Manifestaciones de la materia

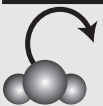
La química nos da pilas y acumuladores como fuentes de energía eléctrica. De la misma manera, la transformación económicamente viable de la energía solar en energía eléctrica o química se dará mediante el estudio de materiales con mayor eficiencia fotovoltaica.

La química es la base para la obtención de energía y la explotación racional de los recursos naturales.

- **Reducción del impacto ambiental:** En 1974, Mario Molina y Sherwood Rowland proponen que las moléculas de los llamados freones pueden afectar la capa de ozono estratosférica, que nos protege de la radiación ultravioleta del Sol. Reciben el Premio Nobel de Química en 1995, después de detectarse el hoyo de ozono en la Antártida y de comprobarse que dichos compuestos son los responsables del mismo. Un problema realmente global que amenaza la presencia de la humanidad en la Tierra será resuelto por el conocimiento químico de los mecanismos de reacción en la atmósfera terrestre.

¡Hoy más de 100 países han firmado protocolos para detener la producción de estos compuestos y la química ha desarrollado sustitutos menos dañinos para el ambiente!

No todos los casos han sido tan exitosos como los mencionados hasta ahora. También ha habido fracasos, accidentes y malos usos de la química. Conviene conocer estos malos ejemplos también, para que no se repitan más.

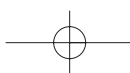


TE TOCA A TI:<sup>2</sup>

### Fertilizantes, lo bueno y lo malo

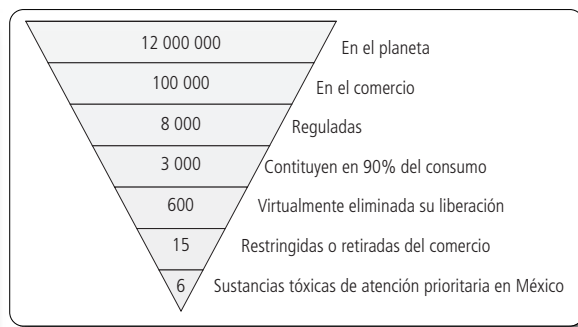
1. Consulta el artículo “Global Population and the Nitrogen Cycle”, escrito por Vaclav Smil, y publicado en el número de julio de 1997 en la revista *Scientific American* (si deseas leerlo en español, la traducción de esta revista se llama *Investigación y Ciencia*). Se trata de un artículo que pondera los beneficios y los riesgos de un proceso químico; su subtítulo dice “Alimentar ahora a la humanidad demanda tanto fertilizante nitrogenado, que la distribución del nitrógeno en la Tierra ha cambiado de una forma dramática y, en ocasiones, peligrosa”. En él se analiza el efecto positivo de la producción de fertilizantes químicos para combatir el hambre mundial, pero también se citan los problemas que la humanidad enfrenta por obtener hoy, industrialmente, una tercera parte del nitrógeno fijable disponible para las plantas.
2. Anota los riesgos que representa la proliferación de fertilizantes a base de nitrógeno en el medio ambiente. Son estos riesgos los que han llevado a varios grupos ecologistas a defender y promover la producción y el consumo de vegetales con abonos no sintéticos, mediante los llamados “cultivos orgánicos”.
3. Con un pequeño grupo de compañeros, intenta una entrevista con un representante de estos grupos y anota sus argumentos, o consulta otras fuentes impresas sobre el tema de la producción orgánica de vegetales. Indaga en particular sobre el precio al que se ofrecen en el mercado estos vegetales cultivados orgánicamente, en comparación con los obtenidos con fertilizantes inorgánicos sintéticos.
4. Desarrollen en el salón de clases una discusión sobre las ventajas y las desventajas de la producción de fertilizantes industriales, en la que se adelanten propuestas razonables para su desarrollo futuro.

<sup>2</sup> La sección “TE TOCA A TI” es una invitación a aplicar lo desarrollado en el texto en un ejemplo específico. Se trata de problemas provocativos que te permitirán apreciar si has entendido.



**Figura 0.16**

Universo de las sustancias químicas. Son 8 000 las que han sido clasificadas con diverso grado de peligrosidad. (Tomado de Cristina Cortinas *et al.*, *Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria*, México: Instituto Nacional de Ecología, 1995; consultar también la página de esta autora en <http://cristinacortinas.com>). La figura tiene validez en enero de 2005, ya que la autora nos dice "La figura sigue en lo general siendo válida, quizás haya unos cuantos miles de sustancias comerciales más. El dato sobre las 8 000 sustancias reguladas no ha cambiado. Los datos sobre las 3 000 sustancias de amplio consumo y las 600 prohibidas o restringidas tampoco. Las 15 sustancias eliminadas virtualmente corresponden a las que son objeto del Convenio de Rotterdam de las Naciones Unidas. En cuanto a las seis sustancias prioritarias en México en el periodo 1994-2000, correspondían a las que estaban sujetas a planes de acción nacional o comprendidas en programas de atención prioritaria: DDT, clordano, bifenilos policlorados, mercurio, plomo y cadmio.



### ...o villana?

Las sustancias químicas con propiedades de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad (propiedades CRETI) representan un peligro para la salud humana y para el ambiente. El manejo de dichas sustancias implica un riesgo, ya que existe cierta probabilidad de daño como consecuencia de la exposición al peligro. La figura 0.16 muestra que es una fracción relativamente pequeña la de las sustancias químicas peligrosas y aún menor la de las realmente letales. No obstante, es importante prevenir que no se haya las condiciones de exposición que impliquen un grado importante de vulnerabilidad para la población.

Veamos otro ejemplo que es una muestra clara de lo limitado o ilimitado del peligro producido por las sustancias químicas. El rectángulo negro de la figura 0.17 es nuestro grado de ignorancia respecto al efecto carcinogénico de todas las sustancias conocidas, porque únicamente hemos probado los efectos de 7000 (cuadrado blanco) y encontrado unas 30 sustancias claramente carcinogénicas (punto blanco a la derecha de la flecha).

Cuando no se establecen procedimientos rigurosos para el manejo de sustancias peligrosas, o cuando ocurren accidentes lamentables por la falta de mantenimiento o supervisión suficientes, o cuando definitivamente se piensa en la química como un arma para matar enemigos, nuestra ciencia acumula puntos negativos en la percepción de la sociedad. He aquí algunos ejemplos:

- **Accidentes industriales:** El isocianato de metilo se utiliza para sintetizar plaguicidas. En 1984, en Bophal, India, ocurrió una fuga industrial importante de este compuesto líquido. Su toxicidad es tan grande, que murieron alrededor de 2500 personas, entre obreros y habitantes de la ciudad.

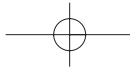
Otro accidente similar había ocurrido años antes, en 1976, en la ciudad italiana de Seveso. La sustancia tóxica en este caso fue la dioxina (ver figura 0.18), con efectos teratogénicos, es decir, que causa anormalidades en el feto.

En la Ciudad de México, se presentaron, en 1984, seis explosiones en la planta de tratamiento de gas licuado de San Juanico. El informe oficial habla de 324 muertos, 200 casas totalmente destruidas y otras 500 con daños diversos.

¡Se requieren planes de seguridad integral que minimicen la probabilidad de accidentes industriales!

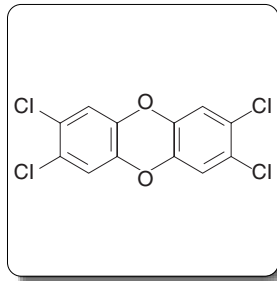
**Figura 0.17**

Comparación de las 30 sustancias con probados efectos carcinogénicos (punto blanco a la derecha de la flecha) contra las sustancias que han sido probadas para estos mismos efectos (cuadrado blanco de la izquierda), que son 7000. El rectángulo negro representa los 12 millones de sustancias que existen sobre la superficie de la Tierra.



## 12 PRIMERA PARTE

### Manifestaciones de la materia



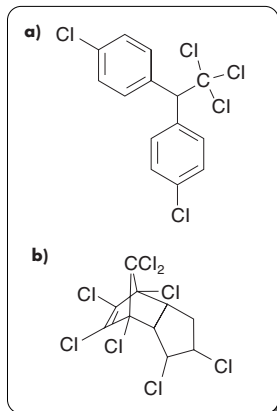
**Figura 0.18**

Dioxina: 2,3,7,8 tetracloro-dibencen-p-dioxina.



**Figura 0.19**

Paisajes como éste nos alertan del daño ecológico de los detergentes no biodegradables.



**Figura 0.20**

a) DDT. b) Clordano.

- **Exposición a sustancias peligrosas:** Hoy existe una conciencia creciente acerca de los efectos potenciales sobre la salud de los compuestos que se arrojan al ambiente, sea por su producción, almacenamiento, venta, uso, transportación y/o eliminación.

Quizás el caso más sonado fue el de las ciudades japonesas de Minamata (1956) y Niigata (1965), en donde la industria arrojaba mercurio al agua de la bahía, que se acumuló en la cadena alimentaria. Primero se detectó la muerte masiva de los gatos, pero más tarde miles de personas enfermaron por la ingestión de pescado. El mercurio provoca desórdenes mentales, perturbaciones motoras, afecciones renales, daños pulmonares y, finalmente, la muerte.

¡Los desperdicios industriales deben caracterizarse y disponerse de manera que no afecten la salud o el ambiente!

- **Contaminación del aire:** En las grandes ciudades, el uso de combustibles empobrece la calidad del aire. Estos procesos liberan gases que propician la formación de ozono (que irrita el sistema respiratorio), monóxido de carbono (gas tóxico que toma el lugar del oxígeno en la hemoglobina de la sangre) y dióxido de azufre (sustancia tóxica que produce ácido sulfúrico, que luego se precipita en forma de lluvia ácida).

El caso más grave, con miles de muertos, se dio en Londres en 1952 cuando, por el frío invernal, miles de hogares quemaron carbón con alto contenido de azufre durante varios días en los que persistió una inversión térmica sobre la atmósfera de la ciudad.

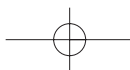
Los procesos de combustión son fuente de energía, ¡pero también de contaminación!

- **Productos no biodegradables:** Un problema grave de los desperdicios plásticos o de los detergentes es que muchos de ellos permanecen inalterados en el ambiente durante muchos años, ya que no pueden ser destruidos biológicamente por los microorganismos. Es lamentable la contaminación de los ríos y los mares con estas sustancias, pues amenaza con interrumpir la cadena alimentaria, con peligrosos efectos (ver figura 0.19).

Hay que producir benefactores equivalentes que sí puedan ser degradados por bacterias y microbios, ¡aunque resulte un poco más caro!

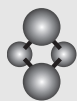
- **Plaguicidas:** Los cultivos son atacados por insectos, babosas, caracoles, gusanos, hongos y bacterias, entre otras plagas. Las pérdidas de alimentos llegan a alcanzar 40% de las cosechas, por lo que es prioritario evitarlas. La química ha generado productos para ello, algunos de los cuales han resultado “remedios peores que la enfermedad”, por sus largos tiempos de permanencia en el ambiente y su efecto nocivo sobre la cadena alimentaria, como fue el caso del DDT. Los compuestos organo-clorados, como el DDT y el clordano (ver figura 0.20), provocan efectos degenerativos en el hígado. Su producción ha sido detenida en la mayoría de los países.

¡Todo producto que se introduce al ambiente debe pasar por pruebas irrefutables de toxicidad en vegetales y en animales superiores!



- **Armas químicas:** Los casos anteriores se deben de alguna u otra manera a la negligencia, pero la fabricación de armamento químico para aniquilar vidas humanas es absolutamente perversa, como perverso es todo tipo de guerra. El fosgeno o el gas mostaza —utilizados de forma directa en la Primera Guerra Mundial—, el agente naranja —sustancia defoliadora que destruyó la tierra cultivable en la Guerra de Vietnam—, y tantos otros, son ejemplos lamentables del mal uso de la ciencia hecho por cerebros execrables.

La ciencia es conocimiento. Puede usarse para salvar vidas o ¡para matar!



EN EQUIPO:<sup>3</sup>

### Química, ¿benefactora o villana?

Acabamos de decir que con la química se obtienen beneficios y riesgos, ventajas y desventajas, se salvan vidas o se aniquilan. Imagina que un medio de comunicación organiza una discusión para determinar si “la química debe o no permanecer como actividad humana”. Organicemos en el grupo un debate como simulacro.

Organízate en equipos de cuatro personas. Determinen en conjunto quién quiere participar del lado de la “química como benefactora” y quiénes lo harán del lado de la “química como villana” (dos por cada posi-

ción). Antes del debate, averigüen la mayor cantidad de información posible para tener los argumentos que les permitan defender su punto de vista, es decir, qué pasaría a favor y en contra, en un mundo en el que la química no fuera una actividad humana permitida. Con posterioridad, sugieran al profesor la organización de un debate en el que participen todos los alumnos del grupo y del que saquen todos ustedes sus propias conclusiones, entre otras, cómo maximizar los beneficios y minimizar los riesgos.

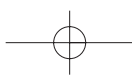
### PROBLEMAS Y ACTIVIDADES<sup>4</sup>

1. Propón una respuesta a las siguientes preguntas, planteadas en la sección CON ESCEPTICISMO:
  - a) ¿Ciertamente existen cosas mucho más pequeñas que nosotros, que no alcanzamos a percibir con los sentidos?
  - b) ¿Qué elementos tienes para sostener la afirmación anterior?
  - c) ¿Podemos confiar en los aparatos? ¿Por qué?
  - d) ¿Podemos confiar en las leyes? ¿Por qué?
  - e) ¿Por qué hay unas leyes para describir el mundo macroscópico y otras para explicar el microscópico?
  - f) ¿Qué tanto las interpretaciones de lo observado dependen de la persona que mira y de lo que cree saber previamente?
  - g) ¿Cómo intentan los científicos evitar ese sesgo?
2. Ciencia y tecnología son, aparentemente, dos conceptos diferentes. A partir de una búsqueda bibliográfica, desarrolla un trabajo de unas pocas cuartillas sobre los conceptos de ciencia y tecnología, sus nexos y sus diferencias.
3. Parece que no podemos fiarnos mucho del sentido común. ¿Cuáles serían tus argumentos para convencer a una persona iletrada de que la Tierra es redonda y de que gira alrededor del Sol?

<sup>3</sup> La sección “EN EQUIPO” es una invitación al trabajo colectivo. En la sociedad moderna, los proyectos se abordan en grupos de profesionales, en los que cada uno aporta lo que sabe. El resultado, al contener diversas visiones sobre el problema, es superior al del trabajo individual.

<sup>4</sup> Al final de cada capítulo del libro se te propone una serie de PROBLEMAS Y ACTIVIDADES para reforzar el aprendizaje.





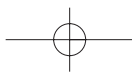
## 14 PRIMERA PARTE      Manifestaciones de la materia

Si no crees ser suficientemente convincente, trabaja en equipo y consulta la bibliografía para alcanzar una argumentación más sólida.

4. Con relación al asunto anterior, hay temas todavía más difíciles de explicar y de entender. ¿Qué elementos de análisis y persuasión utilizarías para convencer a un escéptico de que la materia está compuesta de pequeñas partículas, como átomos y moléculas? ¿Te sientes realmente convincente con dichos argumentos?
5. Consulta en varios libros la definición que aportan de química. Realiza una síntesis de todas ellas y formula una definición personal con la que te sientas a gusto. Contrasta con algunos compañeros tu propuesta y haz ante ellos una defensa de la misma, en la que recibas también sus argumentos. Escribe, como resultado del debate, una definición que te parezca más completa.
6. Haz una pequeña reseña acerca de las que consideras —mediante un investigación previa— como aportaciones importantes de la química en el terreno deportivo. Recoge de tus compañeros y tu profesor su propia visión al respecto y verás que hay contribuciones de las que no sospechabas.
7. En ciertas dosis, algunas sustancias químicas son sumamente benéficas, como la aspirina. Sin embargo, su empleo indiscriminado y a mayores dosis puede ser fatal. Investiga los efectos sobre la salud de diferentes dosis de aspirina y de otros medicamentos de uso común. Investiga sobre el llamado “síndrome de Reye”.
8. El manejo de las sustancias químicas implica un riesgo. El benceno es un disolvente orgánico muy utilizado en la industria y el laboratorio. Consulta los riesgos de su empleo debidos a su toxicidad y las medidas que deben tomarse para su manejo adecuado.

### BIBLIOGRAFÍA

- Amundson, N.R. (coord.), *Frontiers in Chemical Engineering. Research Needs and Opportunities*, National Academy Press, Washington, 1988.
- Ball, P., *Designing the Molecular World*, Princeton University Press, 1994.
- Boorstin, D.J., “The New Age of Discovery. A celebration of Mankind’s Exploration of the Unknown”, *TIME* número especial, diciembre de 1997/Enero de 1998.
- Bronowski, J. *El ascenso del hombre*, Fondo Educativo Interamericano, S.A., Estados Unidos de Norteamérica, 1979.
- Chalmers, A.F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI Editores, México, 1996.
- GENENTECH, “Introduction”, *The Human Genome Project*, [http://www.gene.com/ae/AB/IE/Intro\\_The\\_Human\\_Genome.html](http://www.gene.com/ae/AB/IE/Intro_The_Human_Genome.html)
- Hamburger, J., *La filosofía de las ciencias hoy*, Siglo XXI Editores, México, 1989.
- Hill, J.W., *Chemistry for Changing Times*, Macmillan, Nueva York, 6a edición, 1992.
- Instituto Nacional de Ecología, *Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México, 1997.
- Instituto Nacional de Ecología, *Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México, 1997.
- Joesten, M.D., Johnston, D.O., Netterville, J.T. y Wood, J.L., *The World of Chemistry*, Saunders, Filadelfia, 1991.
- Kauffman, G.B. y Szmant, H.H. (eds.), *The Central Science. Essays on the Uses of Chemistry*, Texas Christian University Press, Forth Worth, 1984.
- Leshan, L. y Margenau, H., *El espacio de Einstein y el cielo de Van Gogh*, Gedisa, Barcelona, 1985.
- March, R.H., *Física para poetas*. Siglo XXI Editores, México, 1982.
- McGlashan, M.L., *Physicochemical Quantities and Units*, Royal Institute of Chemistry, Londres, 1971.
- Nassau, K., “The causes of color”, *Sci. Am.* 243[4], 106-123, 1980.
- Pauling, L., *Química General*, Aguilar, Madrid, 1977.
- Pérez Tamayo, R., *Cómo acercarse a la ciencia*, Limusa Noriega, México, 1989.
- Sanjurjo, M., “La aspirina, legado de la medicina tradicional”, *Educ. Quím.* 7(1), 13-15, 1996.
- Sanjurjo, M., “La penicilina, pionera de la era de los antibióticos”, *Educ. Quím.* 8(2), 68-74, 1997.



## ÍNDICE DE MATERIAS DE LA INTRODUCCIÓN

- A**
- Accidentes industriales, 11
    - Acetilsalicílico
  - Ácido, 8
  - ADN, 8
  - Agente naranja, 13
  - Amoniaco
    - Síntesis del, 7
  - Antibióticos, 8
  - Aristarco, 5
  - Armas químicas, 13
  - Aspirina, 8
  - Astrología, 3
  - Átomo
    - de Dalton, 5
- B**
- Biodegradabilidad, 12
  - Bioingeniería, 9
  - Biología Molecular, 8
  - Bophal
    - Accidente de, 11
  - Bosch, Carl, 7
- C**
- Carbón, 9
  - Ciencia
    - definición de, 2
    - métodos de la, 4
  - Clordano, 12
  - Conocimiento científico, 4
  - Copérnico, Nicolás, 5
  - CRETI
    - Propiedades, 11
  - Crick, Francis, 8
  - Cultura, 3
- D**
- DDT, 12
  - Desoxirribonucleico
    - ácido, 8
  - Dióxido de azufre, 12
  - Dioxina, 11
- E**
- Energía eléctrica, 10
  - Espectroscopía atómica, 7
- F**
- Fertilizantes, 7
  - Fibras ópticas, 19
  - Fosgeno, 13
  - Freones, 10
- G**
- Gas mostaza, 13
  - Genoma humano, 8
  - Gran explosión
    - la, 7
- H**
- Heber, Fritz, 7
  - Hipótesis, 4
- I**
- Ingeniería genética, 9
  - Insulina, 9
  - Interferón, 9
  - Inversión térmica, 12
  - Isocianato de metilo, 11
- K**
- Kepler, Johannes, 5
- L**
- Lluvia ácida, 12
- M**
- Macrocosmos, 2
  - Materiales compuestos, 9
  - Mercurio
    - Toxicidad, 11
  - Microcosmos, 2
  - Miller, Stanley, 7
  - Minamata
    - Bahía de, 11
  - Modelo, 4
  - Molina, Mario, 10
- O**
- Observación, 4
  - Oparin, Alexander, 7
  - Origen de la vida, 7
  - Ozono
    - hoyo de, 10
- P**
- Ozono troposférico, 12
  - Penicilina, 8
  - Petróleo
    - energía mundial, 9
  - Plaguicidas, 12
  - Polímeros, 9
  - Productos no biodegradables, 12
  - Ptolomeo, 5
- R**
- Riñón artificial, 8
  - Rowland, Sherwood, 10
- S**
- San Juanico
    - accidente de, 11
  - Seveso
    - accidente de, 11
  - Silicio e informática, 9
  - Sistema, 4
  - Sol
    - composición del, 7
  - Sulfonamidas, 8
  - Sustancias peligrosas, 11
- T**
- Teoría, 4
- U**
- Universo
    - origen del, 7
  - Urey, Harold, 7
- W**
- Watson, James, 8