



Xavier Giménez

El aire que respiramos

**Historias sorprendentes sobre la atmósfera,
los gases que contiene y nuestro entorno**



Índice

Introducción	15
El papel de la química.	17
Parte I. La atmósfera. Una tenue capa muy perceptible.	21
El mundo electromagnético	31
La radiación electromagnética	34
Los tipos de radiación y sus efectos	37
Capas de la atmósfera	44
Composición de la atmósfera	47
Parte II. Átomos y moléculas. La materia es atómica	51
El átomo y el hombre primitivo	55
Los atomismos griego y chino, medieval y árabe.	58
El Renacimiento. Pierre Gassendi y Robert Boyle	61
El impulso definitivo. John Dalton.	65
La base experimental.	67
Espectroscopia	69
La mecánica cuántica.	71
El atomismo, probado	74
Lucha entre contrarios.	75
Iones	77
Moléculas.	78
Iones moleculares y radicales	85

Miniaturización de gigantes	86
Moléculas vivas.	88
Diamantes y minas de lápiz.	89
Parte III. Oxígeno. Necesario y tóxico.	93
Respirar el oxígeno	98
El oxígeno en la sangre	100
Oxímetros	103
El oxígeno en el aire	106
Oxígeno y electrólisis.	111
Magnetismo del oxígeno.	112
Propiedades y un poco de historia	115
Oxígeno en el agua.	119
Solubilidad y temperatura	120
Usos recreativos del oxígeno.	122
Parte IV. Ozono. El protector irritante	123
Combustión con ozono	131
Producción de ozono en la troposfera.	132
Fabricación y usos del ozono.	134
El ozono y la salud	138
El ozono estratosférico	139
Chapman y el modelo de producción y destrucción de ozono.	143
La destrucción catalítica del ozono	144
Crutzen, Johnston y los óxidos de nitrógeno, con una incursión en el Concorde	147
Molina, Rowland y los CFC	150
Nubes estratosféricas polares	153
Parte V. Dióxido de carbono. Multifuncional	157
El CO ₂ que respiramos	161
CO ₂ y regulación del pH en la sangre.	164
Fijación bioquímica del CO ₂	166

El experimento fallido de Van Helmont	168
La combustión	169
¿Qué es el fuego?	171
CO ₂ y extinción de incendios	176
CO ₂ como refrigerante y espuma aislante	177
CO ₂ , cáscaras de huevo y bebidas efervescentes	179
CO ₂ ambiental	180
El efecto invernadero y el calentamiento global	183
Estrategias contra el cambio climático	185
Secuestro del CO ₂	187
CO ₂ y el planeta helado	190
CO ₂ y la atmósfera de la Tierra, Venus y Marte	192
 Parte VI. Agua. Ubicua y sorprendente	195
El agua sólida, líquida y gaseosa	198
Sequía y predicción del tiempo	203
¿Por qué tanto sudor?	207
El agua sorprende nuestra intuición	209
¿Es potable el agua que bebemos?	211
Las gotas de lluvia no son alargadas	215
Agua exótica: supercrítica, iónica y superiónica	220
Agua, ¿cristal líquido?	225
¿Agua casi sin viscosidad?	227
 Parte VII. Nitrógeno e hidrógeno. Fijación y combustibles limpios	229
El nitrógeno: tan inerte como vital	232
Las aplicaciones del nitrógeno	234
No todas las formas de nitrógeno son útiles para los seres vivos	236
Gracias a ser inerte, nos da más seguridad: airbags	238
Hidrógeno, el combustible limpio del futuro	240
El protón: ácidos y bases	244
El pH	247
Hidrógeno en la naturaleza	249

El futuro se llama hidrógeno	251
Pilas, pilas secas, pilas de combustible y Geoffrey Ballard	254
Coches híbridos, coches con pila de hidrógeno	258
El futuro puede ser más claro con el Clarity.	261
Parte VIII. Metano y amoníaco. Ganadería y agricultura.	267
CH ₄ y combustión	270
El metano se produce tanto naturalmente como industrialmente	272
Metano, gas de esquisto y fracturación hidráulica	274
El metano como gas de invernadero	277
Amoníaco.	278
Siete mil millones y el amoníaco	281
Amoníaco y lejía	287
Parte IX. Óxidos de nitrógeno y de azufre. Esmog fotoquímico y lluvia ácida.	289
Origen de los óxidos de nitrógeno y azufre. La lluvia ácida.	293
Episodios de esmog en Londres y Los Ángeles	296
Los síes del NO	297
N ₂ O, para reír sin querer, o para acelerarnos	301
Algunos hechos históricos clave para el medio ambiente.	302
Parte X. Petróleo volátil. Los vapores de la complejidad	309
El petróleo	313
Toxicidad de algunos componentes del petróleo	316
Biodiésel.	319
Parte XI. Iones. Electricidad molecular	329
Electricidad estática	332
Iones, generadores y aire acondicionado.	334
Parte XII. Aerosoles. Mucho más que polvo.	339
Procedencia y composición de los aerosoles	343

Transporte intercontinental de polvo	345
Aerosoles y cambio climático	347
¿Por qué el cielo es azul?	348
Aerosoles y los colores del cielo	351
Aerosoles y volcanes	352
Aerosoles y agua	354
Suspensiones coloidales.	356
Efectos sobre la salud.	358
Tabaco.	359
Tabaco y juventud	362
Tabaco y pulmones	366
Consecuencias de la ley del tabaco	368
Epílogo	371
Bibliografía	375
Agradecimientos.	377

Introducción

Inspiramos. Un gesto mecánico, que repetimos inadvertidamente entre ocho y quince veces por minuto cuando estamos en reposo y con una frecuencia mayor estando en tensión o haciendo ejercicio. A cada inspiración, introducimos en nuestros pulmones unos quinientos centímetros cúbicos de aire, aproximadamente medio litro. Esto significa que, por cada medio litro de aire que absorbemos, unos veinte mil trillones de moléculas entran en nuestro cuerpo. A cada inspiración. Veinte mil trillones. Un dos seguido de veintidós ceros de moléculas.

Son tantas moléculas, que perdemos la cuenta de su número. ¿Cómo sabemos que son tantas? ¿Qué moléculas respiramos? ¿Cómo actúan una vez que entran en nuestro cuerpo? ¿De dónde provienen? ¿Están sólo en el aire, o también en otros lugares? En poco tiempo podemos plantearnos muchas preguntas a este respecto. Tal vez sepamos responder a algunas, pero otras quizá se conviertan en interrogantes que aviven la curiosidad; y otras quizá nos susciten duda y preocupación.

Tenéis ante vosotros un libro que pretende responder a algunas de estas preguntas. Es un libro que trata de moléculas y de la atmósfera. Al inicio de esta introducción hemos inspirado y, en un sentido amplio, inspiración nos sugiere volar con la mente, dejar fluir las ideas para obtener una nueva perspectiva. Siguiendo esta inspiración, hemos dejado aflorar los temas, y el libro aborda también el medio ambiente, la historia, anécdotas científicas, la industria, la sociedad, el nuestro y otros planetas, el

universo... Se tratan neumáticos y los anillos de Saturno en un mismo párrafo, la llama de una vela y la atmósfera de Venus en pasajes casi consecutivos, o sustancias que nos permiten respirar y a la vez nos envenenan. La razón reside en que todo son moléculas, pero sus manifestaciones son múltiples y diversas. Nos ocuparemos de esta diversidad, tan fascinante como abrumadora, de la atmósfera y sus moléculas.

El libro consta de doce partes, cada una de las cuales contiene varios capítulos breves acerca de aspectos concretos. Estas partes están estructuradas por sustancias, y son independientes entre sí, de modo que prácticamente pueden leerse en el orden que se desee. En todo caso, es conveniente empezar por las dos primeras, «La atmósfera» y «Átomos y moléculas», para conocer mejor algunos conceptos que después se utilizan a menudo.

El orden que se sigue en el interior de cada parte no es estrictamente académico. A veces, se exponen las propiedades de un compuesto al principio, otras se dejan para más adelante, y en algún caso apenas se mencionan. La razón consiste en un hilo conductor basado en la historia que la propia sustancia nos explica a medida que nos vamos interesando por esta. El objetivo es mantener vivo el interés y entretener mientras se adquiere información.

Este libro versa sobre química y, por lo tanto, utiliza el lenguaje de la especialidad, si bien el uso de tecnicismos se ha reducido al mínimo o, cuando menos, los términos técnicos se explican de la forma más sencilla posible. A la luz de un acontecimiento que tuvo lugar hace años y vuelve a ser actual, plantearemos ahora unas reflexiones a modo de preparación para el camino que vamos a emprender.

EL PAPEL DE LA QUÍMICA

Hacia septiembre de 2004 salió a la luz pública un vertido contaminante en el río Ebro, a su paso por Flix, muy cerca del lugar en el que se emplazaba una planta de producción de la empresa Ercros, entonces denominada Erkimia. Esta compañía es hija de la antigua Cros, una de las empresas químicas más tradicionales de Cataluña. El vertido descubierto era ya bastante antiguo y estaba siendo evaluado por expertos para determinar su peligro real. Refleja, pues, una situación que, desgraciadamente, se repite a menudo: ciertas ligerezas en la política medioambiental de épocas pasadas se convierten en una verdadera bomba de relojería. Ello nos recuerda lo que sucedió en Aznalcóllar en abril de 1998, cuando unos lodos depositados por Explosivos Río Tinto (ERT) desbordaron e inundaron parte del Parque Natural de Doñana. Hoy en día, tanto la antigua Cros como ERT pertenecen al mismo grupo químico Ercros. Obviamente, los errores o las malas prácticas de algunos no deben servir para condenar a todos, pero sí son una buena advertencia que, como mínimo, debería llevar a la autocrítica. El vertido incontrolado de Ercros en Flix, además de poner de relieve cómo han cambiado los criterios de seguridad en poco tiempo, muestra que la química está muy presente en todas partes de múltiples maneras.

Herbert N. Casson, un importante escritor sobre temas económicos, propuso en los años treinta del siglo xx una interesante forma de darnos cuenta de la función que la química desempeña en nuestras vidas. Una traducción libre de su texto dice:

«¿Qué significa la química para mí?», se dice pensativo el señor Medio, mientras lee en el periódico de ayer una noticia acerca de un escape tóxico. Este periódico ha sido impreso con tinta fabricada mediante un proceso químico. A continuación, el señor Medio se agacha para atarse los zapatos, fabricados de piel curtida mediante un proceso químico. Al dirigirse hacia la puerta de

casa, mira a través de la ventana de vidrio, material igualmente obtenido por un proceso químico. Avista una carretilla llena de pan, que la levadura también esponja mediante un proceso químico.

También ve a un repartidor entregando un elegante paquete envuelto en seda obtenida mediante un proceso químico. Mientras abre la puerta de su casa, se pone el sombrero, teñido mediante un proceso químico. Una vez en la calle, empieza a caminar sobre el asfalto, preparado mediante un proceso químico. Se detiene ante el quiosco para comprar el periódico. Lo paga con una moneda de un metal refinado mediante un proceso químico.

«No», se dice con firmeza, «por suerte la química no tiene nada que ver conmigo».

Estas reflexiones ilustran la imagen de la química común en la sociedad. Se refieren sobre todo a la química creada por el hombre, que se traduce en aparatosos, y a veces peligrosos, procesos industriales.

Pero lo cierto es que estas reflexiones pueden llevarse más lejos, por ejemplo, como sigue:

Al mismo tiempo que el señor Medio se plantea la primera pregunta, respira profundamente, lo que le permite renovar el oxígeno de su sangre. Al atarse los zapatos, su cerebro emite una gran cantidad de órdenes neuroquímicas con el fin de contraer las fibras musculares y los tendones, que están constituidos por distintos tipos de proteínas. Al salir a la calle, la luz del Sol estimula la rodopsina, una proteína de la retina del ojo, que transmite la señal al nervio óptico para procesar la visión.

También, nada más salir, el señor Medio siente un golpe de aire refrescante en la cara, cuando millones y millones de moléculas chocan contra su piel desnuda. Cada choque permite que se evapore un poco de agua de la piel, proporcionando así la sensación de frescura. Al empezar a caminar, la energía requerida proviene de la glucosa, un azúcar. La cantidad de glucosa en la sangre está a su vez regulada por la insulina, proteína sintetizada en el páncreas y cuya carencia provoca una forma de diabetes. Finalmente, la reflexión que lleva al señor Medio a pronunciar su respuesta ha creado un rápido movi-

miento de moléculas, los neurotransmisores, en las zonas de contacto entre sus neuronas.

Todos estos procesos son transformaciones químicas totalmente naturales. Ocurren de forma perfectamente sincronizada para que nuestro cuerpo realice mecánicamente las actividades fundamentales. Para tratar enfermedades y salvar vidas humanas, los químicos tenemos que conocer estos procesos. Y aplicar unos conocimientos exactamente del mismo tipo que los requeridos para fabricar los productos químicos industriales. En suma, no podemos permitirnos el lujo de pasar por alto la química: la química está en todas partes. Por eso, hablar del aire atmosférico es hablar de química —y de átomos, moléculas y muchas más cosas que iremos desgranando poco a poco—. Sin construir meros castillos en el aire: tomad aire, comienza la aventura.

Parte I

**La atmósfera.
Una tenue capa muy
perceptible**

La atmósfera es una fina capa de gas que, rodeando la Tierra, representa tan sólo el 0,3 % de su diámetro. Desde el espacio exterior es, pues, una capa muy tenue, casi imperceptible. Ahora bien, su composición única en el sistema solar le confiere unas propiedades igualmente únicas, que convierten el planeta en una absoluta excepción: el planeta azul. Ello se debe a diferencias muy pequeñas en las condiciones de temperatura y de historia geológica, respecto a los planetas vecinos.

Vivimos gracias al aire que nos rodea y respiramos, que no vemos y notamos poco, pero que —sabemos— nos hace mucha falta.

Seguramente percibimos el aire desde una edad muy temprana. Una cuestión diferente es desde cuándo recordamos una referencia explícita al aire. En mi caso, recuerdo haber tomado conciencia del aire en la escuela, a los trece años. El profesor de ciencias naturales, Pedro Sánchez, nos mandó leer en el libro de texto el inicio del tema dedicado a la atmósfera y los gases. Al poco tiempo, el texto explicaba por qué un balón inflado pesa más que uno deshinchado. La diferencia de peso, argumentaba el libro —e insistía el «profe Pedro»—, se debe al aire que infla el balón.

Interrumpiendo la lectura escasamente fluida, algún compañero espetó al aire, con esa voz quebrada que no es de niño ni de adulto: «¡Qué descubrimiento, el aire pesa!», en una interesante demostración de ignorancia, tan arrogante como preadolescente. A la *afortunada* frase le siguieron unos momentos de risa histriónica, muy preadolescente también, hasta

que el habitual rostro circunspecto y la mirada intensa del sufrido maestro dieron a entender que ya bastaba.

Parece una trivialidad, pero no lo es tanto. El aire pesa, pero se mueve alrededor nuestro, sin dificultad aparente. Decimos, pues, que es un fluido. Que el aire se mueva no es ninguna sorpresa. El viento es un fenómeno cotidiano, tanto que incluso identificamos su dirección y su intensidad con nombres tan sugerentes como tramontana, siroco, lebeche o brisa marina.

Así como pesamos nosotros, también el aire pesa. Aunque, en su interior, ciertas cosas pueden sustentarse. Las nubes se desplazan, suspendidas a una altura considerable. En ciertas épocas del año, la niebla se mantiene durante unas horas a poca altura. Y con tiempo seco, la polvareda que levanta un vehículo al circular por un camino sin asfaltar puede permanecer en suspensión durante un buen rato, permitiéndonos seguir el recorrido del coche a lo lejos.

El aire es incoloro, aunque el cielo es azul. Sin embargo, a larga distancia puede mostrar tenues matices, principalmente sobre las grandes áreas metropolitanas, como Barcelona y su gran cinturón industrial. Desde la distancia prudente que proporciona la comarca del Vallès, la cuenca del río Besòs dibuja un perfil quebrado de montañas que nos permite apreciar el vanguardista *skyline* barcelonés, en el que destacan la torre Mapfre, el Hotel Arts, la torre Agbar y los modernos y comedidos rascacielos del barrio de Diagonal Mar. En cambio, no se aprecia la Sagrada Familia, porque se esconde detrás de las montañas de la sierra de Collserola.

La mayor parte de los días, este perfil suele distinguirse envuelto en una capa pardusca que alcanza al menos una altitud de varios centenares de metros. En los días anticiclónicos, en los que el aire se estanca considerablemente debido a las presiones elevadas, esta capa pardusca se extiende bastante más allá de la ciudad propiamente dicha e invade, tan sólo mirando hacia el norte, las dos comarcas del Vallés, y seguramente la del Maresme, aunque de nuevo la cordillera litoral nos impide verlo.

Es sabido que esta opacidad causada por la sustancia marrón, el dióxido de nitrógeno, es una de las manifestaciones de la contaminación. En efecto, dicha sustancia resulta de la combinación de los gases emitidos por los vehículos de motor con la luz ultravioleta que procede del Sol. En verano, cuando los rayos que emite el Astro Rey inciden con mayor verticalidad, y por lo tanto son más intensos, los episodios de contaminación marrón son más acusados. En cambio, en invierno, sobre todo cuando ha soplado viento del norte, esta capa casi desaparece. En esa época del año apreciamos una atmósfera limpia y podemos distinguir el paisaje con mayor nitidez.

Tal vez hayáis pensado que lo dicho acerca de la penetración de luz ultravioleta es incorrecto, en la idea de que esta luz no puede alcanzar la superficie de la Tierra, toda vez que la capa de ozono debería encargarse de detenerla; actuando como protección, la capa de ozono nos resguarda de sus efectos nocivos.

Es cierto que la capa de ozono sirve de pantalla protectora, como también lo es que la luz ultravioleta llega hasta nosotros. Por eso nos permite broncearnos en verano, ¡incluso en los días nublados! La clave para deshacer el enredo consiste en saber que lo que denominamos radiación ultravioleta engloba rayos —siempre invisibles— que están dentro de un intervalo de longitudes de onda, de energías, bastante amplio. La capa de ozono, así como el oxígeno del aire, nos protege de la parte más energética de esta radiación. Pero el aire en general, y la capa de ozono en particular, son transparentes a los rayos, aún ultravioletas, que transportan una energía más baja.

La capa de ozono se encuentra a 25-35 km de altitud, de los aproximadamente cincuenta que atribuimos a la atmósfera. Seguramente sabréis que a esas alturas hace mucho frío. Quien haya volado recientemente en un avión comercial, habrá recibido información puntual acerca de la temperatura exterior correspondiente a unos diez kilómetros de altitud. A esa altura, no son extrañas temperaturas de -60°C .