







Los Gases Nobles

ISAAC
ASIMOV

<p>2 1.0076 u</p>  <p> He</p> <p>$1s^2$</p> <p>Helio</p>	<p>10 20.179 u</p>  <p> Ne</p> <p>$1s^2 2s^2 2p^6$</p> <p>Neón</p>	<p>18 39.948 u</p>  <p> Ar</p> <p>$(n-1)s^2 3d^6$</p> <p>Argón</p>
<p>36 83.80 u</p>  <p> Kr</p> <p>$(n-1)s^2 3d^6$</p> <p>Criptón</p>	<p>54 131.50 u</p>  <p> Xe</p> <p>$(n-1)s^2 3d^6$</p> <p>Xenón</p>	<p>86 222 u</p>  <p> Rn</p> <p>$(n-1)s^2 3d^6$</p> <p>Radón</p>

Estimulante viaje a través del mundo de la química moderna y atinado recordatorio de que en ninguna rama de la Ciencia puede ser considerado como «absoluto» el conocimiento ni darse por «terminada» la investigación.

A Richard DeHaan y Pat van Doren, que hacen divertido el escribir libros.

1. ANTES DEL PRINCIPIO

De vez en cuando, algo particularmente asombroso e inesperado ocurre en la ciencia. De cuando en cuando, algo trastorna las normas establecidas.

Un ejemplo perfecto de tal acontecimiento tuvo lugar en 1962 cuando se obtuvieron por vez primera compuestos de gas noble. El mundo entero de la química quedó asombrado.

La persona ajena a la química puede, lógicamente, sentirse sorprendida ante tanta excitación. ¿Por qué resulta tan sorprendente que se puedan obtener compuestos de gas noble? ¿Qué son los gases nobles? ¿Por qué se les llama nobles?

En esta obra intentaré contestar a estas preguntas, entre muchas otras, y, al hacerlo, quedará revelada una peculiar coincidencia. Toda la historia de los gases nobles ha consistido en un asombroso e inesperado acontecimiento uno tras otro.

Aun cuando los gases nobles son muy poco corrientes y tienen solamente unos pocos usos especializados, ninguna otra sustancia en todo el mundo ha tenido tras ella una historia tan dramática.

Parte del drama empieza varios siglos antes de que los gases nobles fuesen descubiertos en realidad. Comienza en los difuminados años del siglo XVIII, cuando la sustancia de gran atractivo en los titulares científicos no era nada más que... aire. Para deliberar sobre el aire, debemos remontarnos muy lejos en el tiempo.

Van Helmont tropieza con el caos

Los hombres han apreciado siempre la importancia del aire; hasta los tiempos modernos, siempre han sentido cierto temor reverente por dicho elemento. Después de todo, no puede ser visto ni sentido y parece no tener peso; no obstante, cuando está en movimiento en forma de una ráfaga huracanada, puede provocar una enorme destrucción.

Por consiguiente, no debe sorprendernos que para muchos pueblos antiguos, dioses y demonios parecían cabalgar sobre el estampido de la tormenta. Con frecuencia, las palabras empleadas para designar el aire en sus diversas formas llegaron a tener también más significados misteriosos. La palabra latina *spiritus*, por ejemplo, que se refiere al aire en la forma de hálito, llegó a ser aplicada también a los seres sobrenaturales. Así, líquidos que se evaporan fácilmente y parecen desaparecer en el aire, continúan siendo llamados espíritus, de manera que mencionamos los «espíritus del alcohol» y los «espíritus de la trementina»..., pero también citamos los «espíritus celestiales».

La palabra alemana *Geist* significa a la vez hálito y seres sobrenaturales, del mismo modo, y se ha infiltrado en el idioma inglés con el término *ghost*.

Los antiguos filósofos griegos intentaron considerar el aire de un modo más positivo y realista, pero también ellos lo admitieron como algo que tenía gran importancia. Lo consideraron uno de los materiales fundamentales (o *elementos*) que contribuyeron a la formación del Universo. Para aquellos antiguos, el aire era una sustancia simple, y cualquier cosa que se evaporaba o humeaba, cualquier cosa que se transformaba en vapor o humo, simplemente se había convertido en aire.

El primer hombre en comprender que todas las formas de aire no eran necesariamente la misma sustancia fue un químico flamenco, Jan Baptiste van Helmont (1577-1644).

Este científico estudió vapores de todas clases, obtenidos no sólo cuando los líquidos se evaporaban, sino también cuando se quemaba madera o carbón, o se dejaba fermentar la uva.

Le interesó particularmente la sustancia similar al aire que obtenía de quemar madera; y puesto que, con toda claridad, no se comportaba como el aire corriente, no deseaba llamarlo aire. En la búsqueda de una nueva palabra (según una historia), investigó la mitología griega. Los griegos imaginaron que el Universo, en el principio, consistió en toda clase de formas de materia en una gran y desorganizada mezcla. Esta materia primitiva, desorganizada, la llamaron «caos» y de ella se formó un universo organizado.

Para Van Helmont, las sustancias similares al aire parecían ser un poco de caos sobrante. No tenía forma ni figura, y diferentes sustancias similares al aire se mezclaban fácilmente en una grande y desorganizada amalgama. Van Helmont decidió llamar a todas esas sustancias con la antigua denominación de caos. Sin embargo, pronunció la palabra, en su nativo idioma flamenco, y lo deletreó tal como lo pronunciaba. Por esta razón, caos se convirtió en gas y todas las sustancias similares al aire se transformaron en gases.

Van Helmont llamó *gas sylvestre* a la sustancia similar al aire que obtenía al quemar madera, lo cual, traducido del latín, significa, pues, «gas de la madera». Empleando términos químicos modernos, podríamos llamar a este gas *bióxido de carbono*. En consecuencia, el bióxido de carbono fue el primer gas, distinto del propio aire, en ser admitido como una sustancia diferente.

El término fue aceptado en algunos países de Europa, probablemente por su similitud con la palabra alemana *Geist*. (Incluso es posible que Van Helmont derivara la palabra de *Geist*, más que de caos). Sin embargo, en Inglaterra el término «aire» para designar toda clase de gases persistió durante dos siglos después de Van Helmont.

Los gases de aire

Van Helmont se anticipó en un siglo a su tiempo. No disponía de medios para recoger determinados gases con el propósito de estudiarlos. Cualquier gas que conseguía obtener se mezclaba con el aire y se perdía.

No obstante, el estudio de los gases alcanzó madurez en el siglo XVIII. En 1727, un clérigo inglés, aficionado a las ciencias, Stephen Hales (1677-1761), publicó un libro en el cual describía sus experimentos con gases. Ideó métodos para conducir gases, mientras se iban formando, a través de tubos hasta recipientes de agua en posición vertical. El gas burbujeaba hacia arriba a través del agua, impulsándola fuera del recipiente. Por último, el recipiente tan sólo contenía gas que entonces podía ser estudiado con comodidad. Hales fue capaz de describir algunas propiedades de gases, como el bióxido de carbono de Van Helmont. También estudió aquellos gases que ahora llamamos hidrógeno, monóxido de carbono, metano y bióxido sulfuroso.

Determinados gases son solubles en el agua. Cuando son conducidos a un recipiente de agua, se disuelven en ella y desaparecen. Otro clérigo inglés, un pastor unitario llamado Joseph Priestley (1733-1804), fue el primero en llevar gases dentro de recipientes que contenían mercurio en vez de agua. De este modo, en la década de 1770, se convirtió en el primer investigador en recoger y estudiar gases solubles en agua, como los ahora conocidos por amoníaco y cloruro de hidrógeno.

Sin embargo, todos estos gases eran sustancias especiales producidas en el laboratorio por químicos. El aire, en sí mismo, continuaba siendo *el* gas, y durante la mayor parte del siglo XVIII se le seguiría considerando como un elemento, es decir, como un bloque fundamental constructor del Universo que no podía ser disociado en ninguna otra sustancia más simple^[1].

Desde luego, el aire puede transportar materias sólidas y líquidas: polvo, hollín, gotitas de agua. Puede también contener vapor de agua y otros líquidos volátiles. Pero si se eliminaban todas esas impurezas por filtración, enfriamiento y secado, lo que quedaba era verdadero aire puro; este residuo era considerado el elemento.

El primer golpe asestado a esta opinión (si bien un golpe leve) se produjo en la década de 1750, cuando un químico escocés, Joseph Black (1728-1799), estudió meticulosamente el bióxido de carbono. Entre otras cosas, descubrió que, cuando este gas era filtrado a través de una sustancia blanca sólida que ahora llamamos óxido de calcio, esta sustancia se podía desmenuzar y se convertía en carbonato de calcio.

Además, Black descubrió que si el óxido de calcio, simplemente, era expuesto al aire, sufría el mismo cambio. Con lentitud, quizá, pero con plena seguridad. Para él, esto parecía indicar que el aire corriente contenía pequeñas cantidades de bióxido de carbono. A pesar de ello, la cantidad de bióxido de carbono presente era difícil de apreciar; podía ser considerada como cualquier otra impureza. La amplia masa del aire seguía pareciendo una sustancia simple.

¿El verdadero avance excepcional se consiguió al explorar los factores de combustión? Cuando se encendía una vela dentro de un recipiente cerrado, sin aire, pronto se apagaba. Sin embargo, la vela no consumía todo el aire. En realidad, tan sólo gastaba, en comparación, una pequeña proporción. Entonces, ¿por qué se apagaba?

Black encargó la solución de este problema a un discípulo suyo, el químico escocés Daniel Rutherford (1749-1819). Rutherford aisló la porción de aire que no era consumida por la vela encendida y descubrió que nada podía arder dentro de dicha porción de aire. Ni podían vivir en ella los ratones. Esto también sucedía con el bióxido de carbono, pero la porción sin consumir del aire no tenía las pro-

piedades del bióxido de carbono. Por ejemplo, no podía convertir el óxido de calcio en carbonato de calcio.

En 1772, Rutherford redactó un informe sobre sus investigaciones acerca del gas en el cual las velas no podían arder. Basaba sus conclusiones en la «teoría del flogisto». En el siglo XVIII los químicos creían que la combustión de una sustancia liberaba flogisto en el aire y que únicamente mediante el flogisto podía continuar ardiendo. En consecuencia, Rutherford decidió que su gas era simplemente aire que había absorbido todo el flogisto que podía contener, por lo cual lo llamó «aire flogisticado». En cuanto tuviese todo el flogisto que podía contener, ya no aceptaba más, y nada podía arder en su seno.

Mientras, Priestley estaba estudiando el aire desde otro ángulo. Calentó mercurio hasta que parte de él se combinó con el aire para formar una sustancia pulverulenta, de color rojo ladrillo, que ahora llamamos «óxido de mercurio». Priestley consiguió separar esta combinación de mercurio y aire, la colocó en un recipiente de cristal, y la calentó mediante una amplia lupa que concentraba la luz solar sobre la mezcla. La combinación mercurio/aire se fragmentó; algunas gotitas de mercurio líquido aparecieron en la superficie interior del cristal, y el aire quedó liberado. Pero este aire no era exactamente igual al aire corriente. Los objetos ardían con furia en su seno; en el rescoldo, las partículas estallaban en verdaderas llamas.

Al parecer, el gas de Priestley era la antítesis del gas de Rutherford. El gas de Priestley aparecía como excepcionalmente bajo en flogisto; en consecuencia, aceptaba más flogisto con excepcional rapidez y los objetos ardían vorazmente en su seno. Cuando Priestley informó sobre sus hallazgos en 1774, llamó al gas «aire desflogisticado».

Los trabajos de Priestley llamaron la atención de un químico francés, Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), que más tarde llegó a ser considerado el «padre de la Química moderna». Pero fue Lavoisier, quien, con algunos otros, in-

trodujo finalmente la terminología química moderna, de modo que hablamos de bióxido de carbono en vez de *gas sylvestre* y de sulfato de cobre en lugar de «vitriolo azul». Lavoisier, al emplear el término de Van Helmont «gas», fue quien, finalmente, introdujo de manera definitiva su uso en el vocabulario químico.

Lavoisier había estado estudiando el modo en que algunas sustancias ardían y otras se enmohecían. Descubrió que, en cada caso, sólo se consumía una parte del aire. A la luz de los descubrimientos de Priestley, Lavoisier llegó a la conclusión de que, en lugar de dedicarse a experimentar sobre el flogisto, toda la investigación podía quedar fácilmente resuelta suponiendo que el aire no era un elemento, sino una mezcla de por lo menos dos gases, que probablemente eran elementos.

Uno de estos gases, según Lavoisier, podía soportar la combustión. Los objetos inflamables ardían en su presencia y se combinaban con él en el proceso. Lavoisier llamó a este gas *oxígeno*, derivado de las palabras griegas, *oxys*, ácido, y *gennaō*, engendrar, porque creía que era esencial a la estructura de todas las sustancias agrías (ácidos). En esto, demostró que estaba equivocado, pero el término ha persistido.

El otro gas no podía soportar la combustión. En su presencia, las velas se apagaban y los ratones morían. Lavoisier le denominó «ázoe», del griego *a*, partícula negativa, y *zoe*, vida, gas impropio para la vida, pero el término *nitrógeno* («que produce nitro») fue adoptado más tarde porque el gas era esencial en la estructura del mineral nitro o salitre corriente.

Debido a los estudios que realizara Priestley sobre su «aire desflogisticado», hoy día se le considera el descubridor del oxígeno. Los trabajos de Rutherford sobre el «aire flogisticado» le han convertido en el descubridor del nitrógeno. Sin embargo, el análisis de la situación que hiciera Lavoisier fue más importante que cualquiera de los dos an-

teriores descubrimientos en sí mismos. Como resultado de los trabajos de Lavoisier, quedó demostrado que el aire filtrado seco tenía una composición de aproximadamente una quinta parte de oxígeno y cuatro quintas de nitrógeno, con mínimas cantidades de otros gases.

La burbuja de Cavendish

Ésta era la situación con respecto al estudio del aire cuando un químico inglés, Henry Cavendish (1731-1810), intervino en las investigaciones. Estaba ya interesado en el problema de los gases, ya que, en 1766, había informado con algún detalle sobre las propiedades de un gas extraño que había obtenido, haciendo reaccionar ácidos con metales. El gas en cuestión era sumamente inflamable y de una extraordinaria luminosidad; más tarde, Cavendish descubrió que cuando este gas ardía, formaba agua. Lavoisier, al enterarse, denominó enseguida al gas *hidrógeno* («que produce agua»). El hidrógeno había sido obtenido mucho antes de Cavendish; tanto Van Helmont como Hales habían trabajado con este gas. No obstante, los estudios de Cavendish eran los primeros en ser sistemáticos y detallados, por lo que suele considerarse como el descubridor del gas.

En 1785, Cavendish experimentó directamente con aire. Por el estado de sus trabajos, podemos suponer que no estaba convencido de que el aire tan sólo consistía de dos gases: oxígeno y nitrógeno. La evidencia era insuficiente.

Podemos deducirlo del modo siguiente: La presencia de oxígeno parece evidente porque el oxígeno hace algo, por ejemplo, se combina con la sustancia de las velas que arden. El gas que queda después que el oxígeno desaparece recibió su nombre únicamente debido a que no hacía nada. ¿Cómo se podía estar seguro de que sólo había una sustancia en el aire que no hacía nada? ¿No era posible que hubiese dos, tres, cuatro, o cualquier número de gases que

eran por completo diferentes, excepto que ninguno de ellos podía permitir la combustión?

Al fin y al cabo, el bióxido de carbono no soporta la combustión ni tampoco el vapor de agua. Si el bióxido de carbono y el vapor de agua se mezclaban con nitrógeno, la mezcla no soportaría la combustión. Si se colocara una vela encendida en esta mezcla, pronto se apagaría. Los ratones introducidos en dicha mezcla morirían. Sin embargo, todo ello no proporcionaría una base suficiente para decidir que la mezcla era nitrógeno puro.

Cada uno de los componentes de esta mezcla tenía que ser identificado por alguna característica positiva. Por ejemplo, si la mezcla fuese enfriada hasta por debajo del punto de congelación del agua, la mayor parte del vapor de agua se solidificaría en hielo. Si lo que quedase fuera burbujeado a través de agua, la mayor parte del bióxido de carbono se disolvería. Lo que quedase —impermeable al frío ordinario, insoluble en agua— sería nitrógeno. Pero ¿lo sería? ¿Podía tenerse la certeza de que no había otros gases que no soportasen la combustión y que tampoco eran afectados por el frío y el agua?

Si éste era el razonamiento de Cavendish, entonces resultaba imperativo para él hallar algo que hiciese el nitrógeno, y comprobar si todo el gas que fue llamado nitrógeno lo hiciera realmente.

Para sus propósitos, Cavendish recurrió a la electricidad. En el siglo XVIII, la corriente eléctrica, ahora tan familiar para nosotros, no era conocida, pero los artefactos de electricidad estática eran populares. En tales artefactos podía producirse una carga eléctrica mediante fricción, que era almacenada. Cuando la carga acumulada llegaba a ser suficientemente potente, podía hacerse saltar una chispa a través de una pequeña cantidad de aire. Cuando esta chispa eléctrica saltaba a través del aire, el nitrógeno y el oxígeno de sus proximidades eran obligados a cambiarse, formando

compuestos que eran solubles en agua, aunque el nitrógeno y el oxígeno, individualmente, no lo eran.

Aquí había algo que podía dar resultados significativos. Si las chispas eléctricas eran pasadas a través de aire en un recipiente cerrado y el aire burbujeado a través de agua, parte del nitrógeno y oxígeno quedaría suprimida. Por último, todo el nitrógeno y el oxígeno podrían ser suprimidos transformándose en compuestos solubles en agua; cualquier tipo de gas que quedase no sería ni oxígeno ni nitrógeno.

Seguramente, si Cavendish hubiera comenzado su experimento sólo con aire puro, su chispa eléctrica habría dejado de ser efectiva después cuando una cuarta parte del aire hubiese quedado eliminada. Pero, en primer lugar, el aire contiene únicamente una quinta parte de oxígeno. Este oxígeno se combina aproximadamente con la mitad de su peso de nitrógeno, o sea, que, cuando una cuarta parte del aire ha quedado eliminada, ya no queda oxígeno.

En consecuencia, Cavendish añadió oxígeno puro adicional al aire hasta conseguir una mezcla de gas compuesto de cinco partes de oxígeno por tres partes de nitrógeno. En estas condiciones, casi cada porción de aire se transformaba por fuerza en una combinación soluble en agua. Parecía, pues, que el gas llamado nitrógeno era realmente nitrógeno durante todo el proceso.

Pero había algo más. Aquí teníamos el primer aspecto teatral. ¡Permanecía una pequeña burbuja de gas que no se combinaba con oxígeno! Cavendish añadió un poco de oxígeno, produciendo chispa tras chispa, después eliminó el oxígeno, y descubrió que la minúscula porción restante de gas continuaba intacta. Continuó provocando destellos durante semanas sin ningún efecto visible en la burbuja final.

Aquella última porción de gas, que se comportaba de modo diferente que el oxígeno y el nitrógeno, venía a ser aproximadamente el 1/120 de la muestra de aire original, según los cálculos de Cavendish. De esto podía extraerse la

conclusión de que cerca del 99% de la porción de aire que se suponía era nitrógeno lo era realmente.

Pero aquella última porción indestructible tenía que ser un gas distinto y uno con propiedades más bien extrañas. Ya resultaba bastante difícil el forzar al nitrógeno para que se combinara con el oxígeno. Únicamente el calor, por ejemplo, no lo conseguía (y por suerte que fuera así, ya que en caso contrario la atmósfera se convertiría en llamas ante la simple acción de encender un fósforo). Una chispa eléctrica sin duda alguna forzaría a unirse al nitrógeno y el oxígeno, pero únicamente en la inmediata vecindad y tan sólo mientras la chispa perdurase. Tan pronto como cesara la chispa, se terminaba la combinación. (De no ser por esto, la atmósfera estallaría en llamas al primer relámpago, ya que el rayo no es otra cosa que una chispa eléctrica gigantesca).

En otras palabras, el nitrógeno es un gas inerte, porque su rechazo a combinarse con otras sustancias, excepto en determinadas condiciones, puede ser considerado como el resultado de la inercia, o una especie de pereza.

Sin embargo, el gas de Cavendish era mucho más inerte que el nitrógeno. De hecho, parecía completamente inerte; y, por entonces, nada parecido se conocía en química.

Tal vez la propia rareza de un gas tan completamente inerte (un «gas noble», como se le llama en la actualidad) más bien trastornó a los químicos, que mostraron tendencia a seguir por otros caminos. Nadie siguió investigando basándose en el informe de Cavendish, y al parecer, dio la impresión de desvanecerse de la mente de los químicos durante algo más de cien años.

Los químicos fueron resolviendo la composición del aire de modo cada vez más delicado, pero dieron por sentado que cualquier cosa que no fuese oxígeno era nitrógeno. En 1890, parecía no existir la menor duda de que, fuera cual fuese la composición del aire puro, era la expuesta en la tabla 1.

Gas	Porcentaje por volumen
Nitrógeno	79
Oxígeno	21
Bióxido de carbono	0,04

Líneas de luz

El descubrimiento por Cavendish de un gas noble no prevaleció, y como si esto no fuese ya bastante decepcionante (ahora que lo contemplamos desde una panorámica retrospectiva), un segundo descubrimiento tampoco tuvo aceptación setenta años después.

Este segundo descubrimiento era completamente distinto al de Cavendish. Afectaba más a la luz que a la electricidad, y no era en absoluto un asunto químico. Más bien podría ser considerado como parte de la historia de la Astronomía.

Este nuevo informe empieza realmente con el científico inglés Isaac Newton (1642-1727), quien, en 1665, descubrió que si un rayo de luz solar se hacía pasar a través de un trozo triangular de cristal (un «prisma») se esparcía en una franja de colores. Newton llamó a esta franja de colores *spectrum*, una palabra latina que se empleaba para denominar cualquier «aparición fantasmal», ya que los colores aparecían donde antes nada había sido visible y podían ser vistos, pero no sentidos, al igual que tantos espectros. (La misma sucesión de colores aparece en el arco iris; en realidad, el arco iris es un espectro que tiene lugar de manera natural formándose cuando la luz solar pasa a través de gotitas de agua que quedan suspendidas en el aire inmediatamente después de una lluvia).

Enseguida resultó evidente que este descubrimiento era de la mayor importancia en la investigación de la luz. No