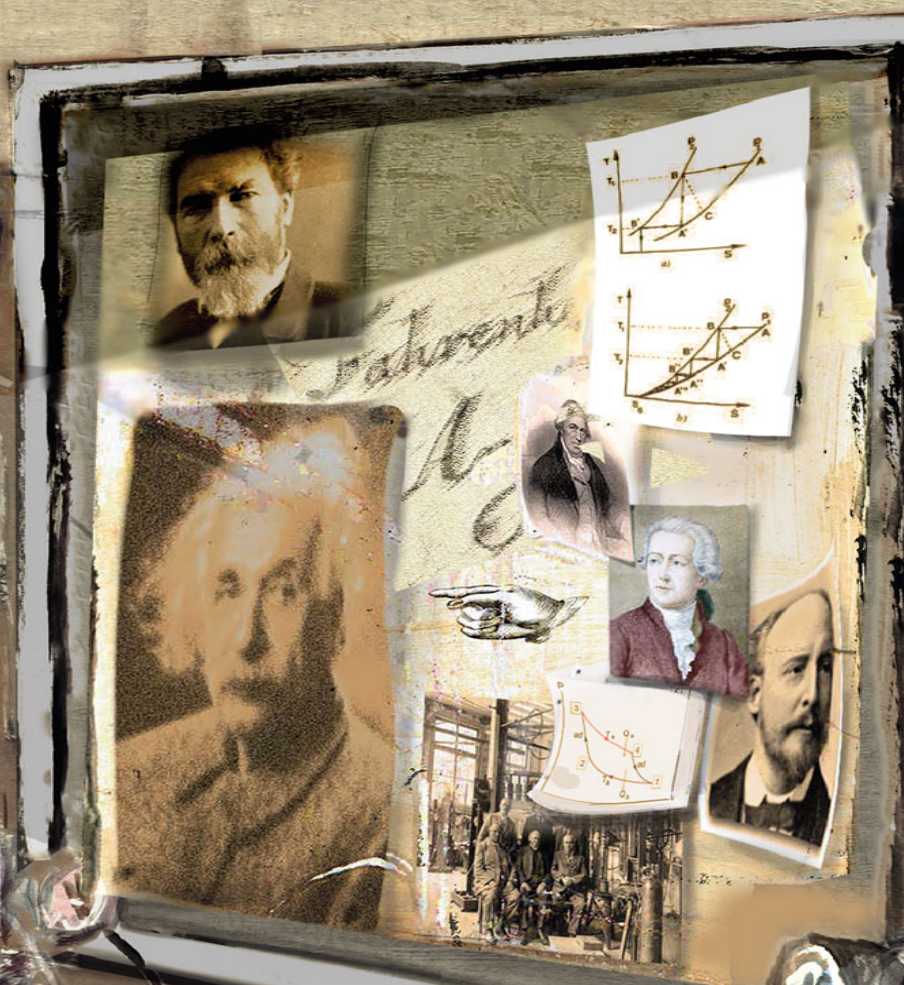


# Átomos, elementos, calor

Breve historia de la materia,  
el calor y la temperatura

**Javier Luzuriaga**

*Con ilustraciones de María Marta Ochoa*



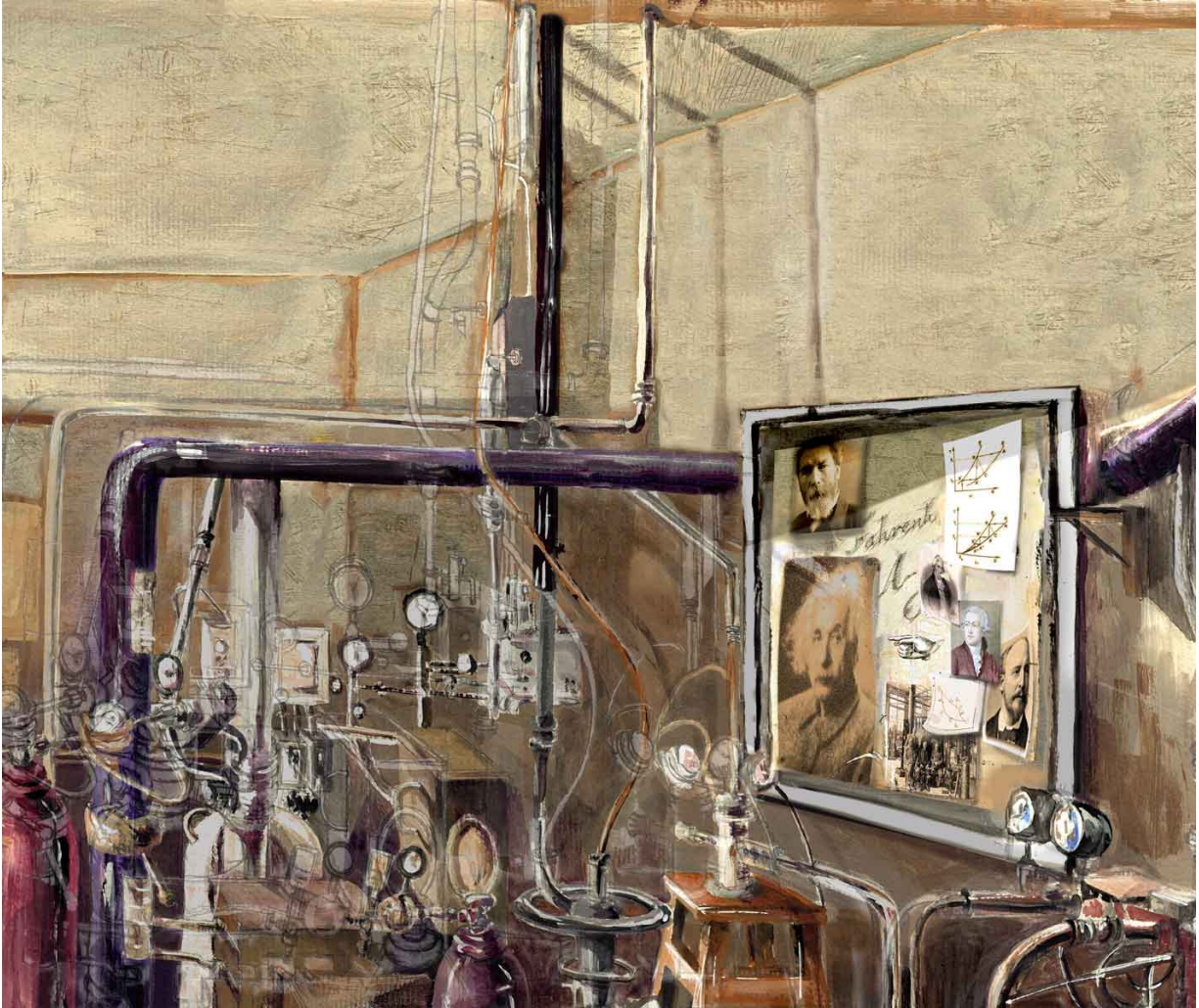
**EDIJUNC**  
IDA Y VUELTA

# Átomos, elementos, calor

Breve historia de la materia, el calor y la temperatura

Javier Luzuriaga

*Con ilustraciones de María Marta Ochoa*



Luzuriaga, Javier

Átomos, elementos, calor : breve historia de la materia, el calor y la temperatura / Javier Luzuriaga ; ilustrado por María Marta Ochoa. –2ª ed.– Mendoza : EDIUNC, 2022.

Libro digital, EPUB – (Ida y vuelta ; 11)

Archivo digital: descarga y online

ISBN 978-950-39-0395-7

1. Física. 2. Historia. 3. Química. I. Ochoa, María Marta, ilus. II. Título.

CDD 530

## **Átomos, elementos, calor**

Breve historia de la materia, el calor y la temperatura

Javier Luzuriaga

*Ilustraciones de María Marta Ochoa*

Colección *Ida y vuelta* | EDIUNC

Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo

Primera edición digital, Mendoza 2022

ISBN 978-950-39-0395-7

La EDIUNC no necesariamente acuerda ni se responsabiliza por el contenido o por las opiniones, interpretaciones o comentarios expresados sobre hechos, personas o instituciones en esta obra, los cuales corresponden exclusivamente al autor.

Dirección: Iris Viviana Bosio

Corrección: Gonzalo Córdoba Saavedra

Diseño y digitalización: María Teresa Bruno y Graciela Amadío

Tipografía Alegreya Sans, de Juan Pablo del Peral

©[Ediunc](#), 2022

[ediunc@uncuyo.edu.ar](mailto:ediunc@uncuyo.edu.ar)

V.1.0



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

**ACADÉMICA**  
SECRETARÍA  
ACADÉMICA



**EDIUNC**  
EDITORIAL UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

# Contenido

A modo de prólogo

1. Griegos, elementos, átomos
2. Alquimistas y magos
3. El aire, el fuego y los aristócratas
4. Revoluciones en el Siglo de las Luces
5. Globos, gases y temperatura. El hombre que «veía» los átomos pero no los colores
6. Acerca del movimiento que llamamos «calor»  
Para saber más y pensar un poco más a fondo
7. El hijo del «Organizador de la Victoria» y las máquinas ideales  
Para saber más y pensar un poco más a fondo
8. ¿Hay gases permanentes?  
Para saber más y pensar un poco más a fondo
9. Movimiento molecular, tamaño atómico y el inspector de patentes
10. La carrera de la licuefacción: Francia, Polonia, Inglaterra y Holanda
11. Cerca del cero absoluto y lo que se encontró allí

Epílogo

Bibliografía comentada

Sobre el autor

## A modo de prólogo

Algún científico, de cuyo nombre no puedo acordarme, una vez dijo que lo más importante que sabemos de la Naturaleza es que está hecha de átomos. Sobre esta base se construye el edificio de nuestro conocimiento sobre el mundo natural. En gran medida, todo gira alrededor del comportamiento de noventa y dos elementos atómicos, cómo se combinan y cómo interactúan en su continuo movimiento, formando y rompiendo uniones y también intercambiando energía. Así funciona nuestro cuerpo, combinando átomos de las maneras más complejas. Así también generamos calor, quemando combustibles.

Pero entender en detalle cómo funciona la química de los 92 elementos estables y de una docena de elementos que son más efímeros, entender lo que es la energía, el calor, la temperatura, todo eso ha llevado siglos a la Humanidad. Algunas cosas parecen evidentes, pero pueden tener múltiples sutilezas.

Por ejemplo, las sensaciones de calor o frío son claras, íntimamente evidentes. No hay que explicarle a nadie el calor y el frío. Los sentimos desde que somos niños. Todos los días evaluamos el clima para organizar nuestras actividades y la ropa que nos ponemos. Seguro que de chicos nos tomaron la fiebre con un termómetro. «Tienes temperatura», nos dijeron, y uno estaba caliente, tenía mucho calor o, por el contrario, sentía de golpe mucho frío.

Sin embargo, es difícil explicar con palabras qué son de verdad el calor y la temperatura. Si tuviésemos que contarle a un marciano que nunca sintió frío ni calor, ¿cómo le explicaríamos esas cosas tan familiares que nos acompañan en cada momento de la vida? ¿Calor y temperatura son lo mismo? ¿Son dos cosas parecidas pero no iguales?

Los científicos se plantearon también estas preguntas (son niños grandes) y las respuestas resultaron útiles. Por el camino se generaron nuevas ideas, como la de «energía». Todos estos estudios y los conceptos descubiertos al responder la pregunta se usan hoy para construir nuestros motores, para calentar más eficientemente nuestras casas y para enfriar alimentos que de otra forma se pudrirían rápidamente. O sea que a partir de una pregunta infantil se puede llegar a cosas de alto interés práctico. Por algo se invierte dinero en investigación científica.

Las ideas y los avances prácticos se desarrollaron en paralelo. A veces la práctica se adelanta a la teoría y otras veces la teoría sugiere nuevas prácticas. La ciencia y la tecnología suelen avanzar con dos piernas, una es la teórica, que explica lo que pasa, y la otra es puramente práctica, las cosas se van haciendo sin entender muy bien por qué funcionan. Pero el conocimiento no avanza caminando como nosotros, primero una pierna y luego la otra. Es más parecido al juego de la rayuela. Se salta varias veces con un pie, después los dos, después varios saltos con el otro pie, y así seguimos, bastante al azar. Sin embargo, la fortaleza del sistema está justamente en la existencia de las dos piernas, lo que genera conocimiento, enriqueciéndose mutuamente y en un continuo ir y venir desde lo práctico a lo teórico y viceversa. Hoy en día, la ciencia avanza de esta forma, con la teoría y el experimento realimentándose constantemente. Pero no siempre fue así.

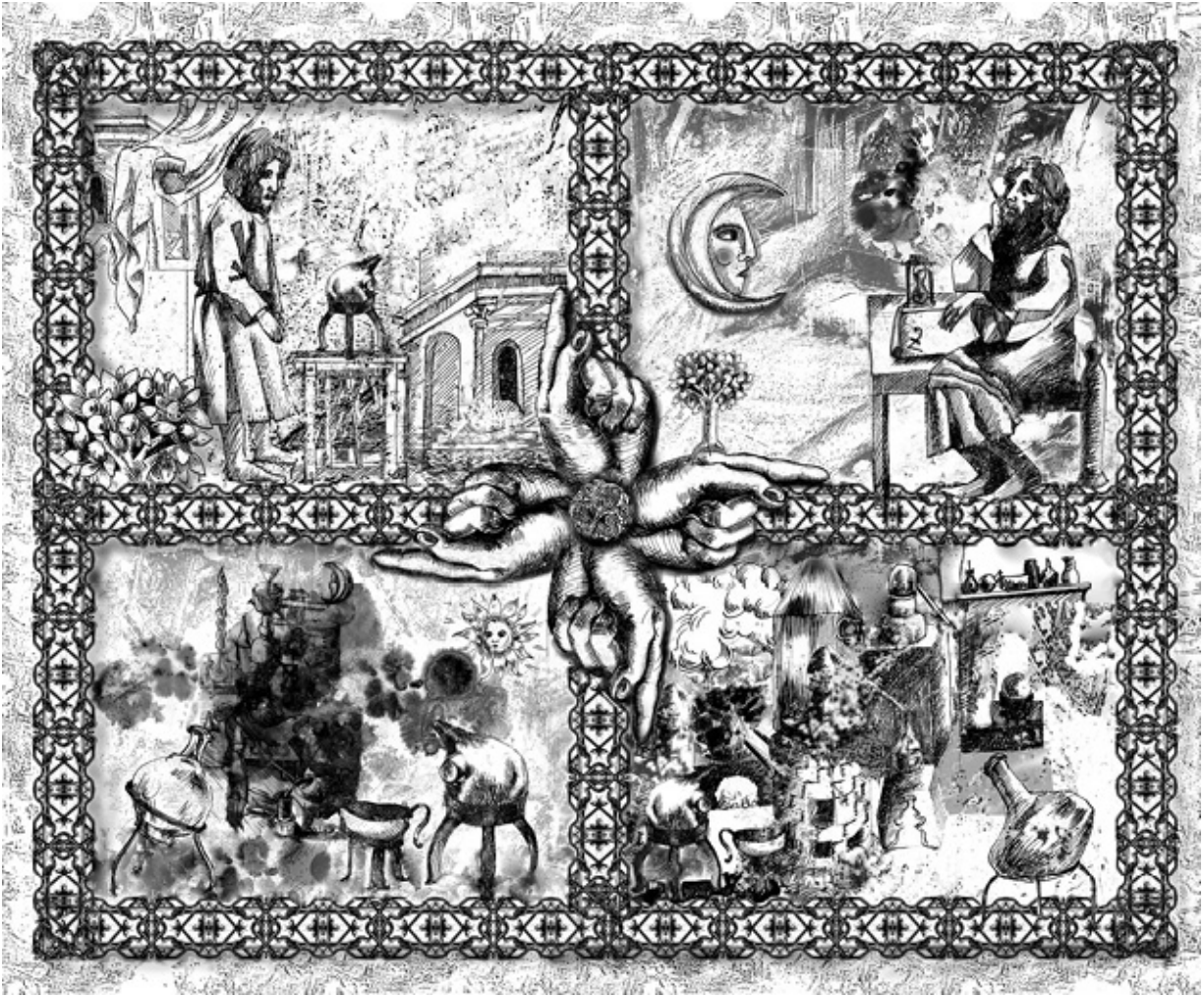
También se puede usar algo sin entenderlo, y desde muy temprano el hombre ha usado el fuego para calentarse, la primera fuente artificial de calor y la más importante tecnología descubierta. Es tan antigua que su origen se pierde en la prehistoria, y tan actual que sin el fuego nuestras máquinas se detendrían y nuestra civilización también. Pero hay un largo camino desde la hoguera de un cazador paleolítico a la llama de la turbina de gas que produce



nuestra electricidad. Hizo falta desarrollar ideas, además de métodos prácticos, para entender lo que era el fuego, el calor y la temperatura.

Este libro intenta explicar cómo fueron cambiando las ideas de los hombres sobre el fuego, los átomos, los elementos y también el calor y la temperatura. La Física, la Química y la Termodinámica son las ramas de la ciencia que explican estas cosas hoy en día, pero no ha sido siempre así. Hubo en la historia otras teorías o ideas sobre átomos, elementos y este fenómeno que llamamos «calor». Los termómetros no existieron siempre. Las heladeras, tampoco. Enfriar no es fácil. Y no se puede enfriar infinitamente. Hay un límite, una temperatura mínima, que además es inalcanzable.

En el resto del libro contaremos la historia de las ideas sobre el calor y el frío y la lucha de los hombres por llegar a temperaturas cada vez más bajas. Esta empresa de enfriar a veces tomó la forma de una carrera, con competidores de diferentes países. La carrera sigue, aunque no hay comité olímpico ni encuentros cada cuatro años. Se corre en laboratorios de física de diferentes lugares del mundo, y los récords se miden en microgrados. En esta carrera ya se han descubierto fenómenos que parecen de otro mundo, donde las reglas son diferentes que en la vida diaria. Pero comencemos con la historia.



## Griegos, elementos, átomos

*Sobre Demócrito y Aristóteles, porque ellos sembraron la semilla del árbol de la ciencia moderna.*

Como casi siempre cuando se pretende hacer una historia de la ciencia, arrancaremos con los antiguos griegos. Es que este pueblo, con esa creatividad infinita que los caracterizó, sentó las bases de nuestra ciencia actual. Pero no debemos confundir la ciencia de los griegos con la de nuestros días.

Los griegos inventaron la filosofía, es decir, una manera de ver el mundo que, de alguna forma, es la tatarabuela de la manera científica actual de interpretar los fenómenos de la naturaleza.

La filosofía griega, es verdad, tiene dos características que heredó la ciencia moderna. En primer lugar, la filosofía griega se expresa con palabras. Estamos tan acostumbrados a esta idea que nunca la cuestionamos. Sin embargo, no todo el mundo piensa así ni todo el conocimiento es verbal. Por ejemplo, la sabiduría oriental admite que gran parte del conocimiento no puede expresarse con palabras, y por eso se recurre a metáforas, imágenes poéticas y circunloquios para indicar el camino no verbal que un discípulo tiene que seguir por su cuenta, en su fuero interno, guiado por un maestro vivo.

También hay un conocimiento no verbal, de carácter más o menos trivial o cotidiano. A nadie se le ocurriría aprender a andar en bicicleta o a nadar leyendo un manual de instrucciones. Como en la sabiduría oriental, un maestro puede indicarnos movimientos que nos ayuden a tal fin, pero tenemos que

hacer la práctica por nuestra cuenta y con nuestro propio cuerpo. Para andar en bicicleta es lo mismo, nos largamos solos y el cuerpo aprende.

El griego era un pueblo hablador, verborrágico y discutidor. La retórica era fundamental en su vida política y por eso ponían gran énfasis en la palabra. Con la escritura las palabras de los sabios se podían guardar tal cual y gracias a eso todavía podemos (si queremos) leer a Platón o a los filósofos griegos. Ellos hicieron el mayor esfuerzo para que sus palabras reflejen claramente su pensamiento, las tenemos que interpretar en su sentido literal. Si se usan las metáforas es como método auxiliar, para ilustrar alguna idea.

La ciencia ha adoptado este punto de vista. Los trabajos científicos se escriben, normalmente, de la manera más clara y racional posible. Se da una gran importancia a la publicación y difusión del conocimiento mediante la palabra escrita. Esto se hace muy a menudo con el complemento de las fórmulas matemáticas, que al fin y al cabo son otra forma de lenguaje.

La claridad es una de las virtudes más deseables en un escrito científico, aunque esto no siempre se consigue en la práctica. Lo mismo sucede con la racionalidad, el otro ingrediente fundamental que los científicos modernos adoptaron de los griegos.

Ellos creían que el mundo puede ser comprendido por nuestro intelecto, y esta es la definición de racionalidad a la que me refiero, aunque la palabra «racional» pueda tener otra infinidad de sentidos o definiciones. Hoy nos parece natural, también, que el mundo sea algo que nos podemos esforzar en entender de forma lógica y coherente, pero esto no siempre ha sido así.

La mayoría de los mitos de pueblos anteriores a los griegos son intentos por explicar las cosas con revelaciones divinas, es decir, son un conjunto de ideas no conectadas entre sí o contradictorias, caprichos de dioses o fuerzas de la naturaleza, casi siempre arbitrarias. Uno de los dogmas centrales de la ciencia es que el mundo puede ser entendido racionalmente, al menos el mundo de la

naturaleza, medible y accesible a nuestros sentidos y aparatos de medición. Lo sobrenatural está fuera de la discusión científica.

Sin embargo, los griegos no hacían ciencia en el sentido que hoy le damos al término, ellos hacían filosofía. Platón, uno de los pilares de esta filosofía, desconfiaba de los sentidos y afirmaba que la sola razón era la guía más sólida para llegar a la verdad. La medición empírica no era importante para él. En verdad, le importaba mucho menos conocer la naturaleza que los problemas humanos, como la moral o la filosofía de la política.

Un concepto central en Platón es la existencia de un mundo de las ideas, más perfecto y más permanente que el real. Por ejemplo, hay mil modelos de sillas, con distintas formas y tamaños, pero la «idea» de silla las abarca a todas, es una silla perfecta, que no se destruye ni corrompe y tiene por lo tanto una identidad más profunda que las realizaciones concretas, perecederas e imperfectas de las sillas materiales. Otro ejemplo, menos pedestre, es la idea de belleza. Vemos objetos, estatuas y cuadros bellos, pero estos son solo corporizaciones de una belleza ideal, que cada artista se esfuerza por alcanzar.

La ciencia viene marcada por esta idea platónica de «lo ideal». Los conceptos científicos que usamos son, en gran medida, idealizaciones. Los conceptos fundamentales deben ser independientes de las construcciones físicas o experimentales que permiten medirlas o definir las. Y sin embargo, como contrapeso, se pide que los entes ideales usados sean observables y que haya una forma empírica, aunque sea indirecta, para medir u observar lo que formulamos como concepto científico. El calor o la temperatura son ejemplos de estos conceptos ideales, pero los griegos no tenían los instrumentos necesarios, termómetros o calorímetros, para cuantificarlos y medirlos.

Tampoco había una definición de los conceptos de temperatura o calor en el sentido moderno, que apareció más de mil años más tarde. Sin embargo, hay algunos otros entes ideales que se remontan a los griegos y que entran en

nuestra historia como protagonistas. Aunque han evolucionado mucho a lo largo del tiempo se puede reconocer su origen en las escuelas filosóficas griegas.

Aristóteles, uno de los filósofos griegos más interesados en la descripción de la naturaleza y cuya influencia fue enorme, propagó la idea de «elemento». Había conocido el ideal platónico de su maestro, que fue Platón en persona. Sin embargo, Aristóteles se interesaba por observar el mundo natural y trataba de explicarlo. Para ello le sedujo una idea de otro filósofo griego, Empédocles, que decía que había solo cuatro elementos que, al combinarse, constituían todas las sustancias materiales que conocemos en sus diferentes formas. Los elementos son la tierra, el agua, el aire y el fuego. Todavía la gente recuerda esta idea griega, y hasta hubo películas con títulos alusivos.

Los cuatro elementos en cuestión no fueron elegidos de manera arbitraria, recordemos que la racionalidad era un aspecto esencial en la filosofía griega. Aristóteles razonaba, para establecer la lista, basándose en principios que a él le parecieron fundamentales. Él argumentaba que es imposible que la misma cosa sea al mismo tiempo húmeda y seca, caliente y fría. El fuego es caliente y seco, el aire es frío y húmedo, el agua es fría y húmeda y la tierra es caliente y seca, por representar estas cualidades en forma pura es que estos cuatro elementos son fundamentales (Asimov, 2005).

De esta manera, los elementos se caracterizan por tener cualidades extremas de calor y humedad y todos los demás objetos tienen cantidades intermedias de estas cualidades. Que el fuego sea caliente y seco parece obvio, menos claro es que el aire sea caliente y húmedo, sobre todo en invierno, pero así se explicaban los elementos en la antigüedad, como puede observarse en la figura 1.

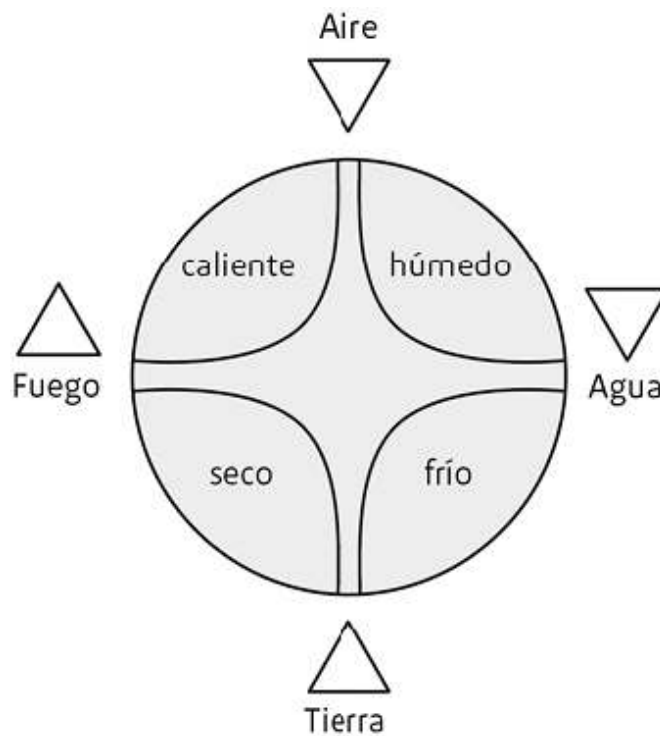


Figura 1: Así se presentaban a veces los elementos de Aristóteles y las cualidades asociadas. Los símbolos triangulares representan a los elementos. El fuego tendía a la altura, a su lugar de reposo en las esferas celestes; la tierra, a caer, a su lugar de reposo en el centro del planeta. Las otras sustancias eran intermedias entre los cuatro elementos, con cualidades variables. Fuente: elaboración del autor.

Como con muchos razonamientos errados, la trampa está en los postulados o las premisas de arranque. Como reza una vieja máxima de los programadores de computadoras, si se introduce basura se obtiene basura. El programa puede andar bien, pero los datos de entrada también deben ser buenos. Por eso el muy lógico silogismo de Aristóteles fue abandonado por la ciencia actual, que parte de otras premisas, basadas en experimentos u observaciones. Nunca vamos a estar a salvo de que otras épocas encuentren nuestros postulados equivocados, aunque para ser científicos los nuevos postulados deben explicar o ajustarse a lo que se observe en la naturaleza.

No hubo ningún intento de Aristóteles por cuantificar calor o humedad, los consideraba cualidades y punto. El calor y la temperatura fueron cuantificados

muchos siglos después, casi dos mil años más tarde. Y el fuego perdió su papel como elemento, pero pasó a ser considerado una forma de energía.

También el aire dejó de ser un elemento, pero jugó un papel fundamental en la ciencia del calor y la tecnología del frío. Las heladeras deben mucho a los estudios que se hicieron sobre el comportamiento de los gases y el aire, una vez que se supo que hay muchas sustancias gaseosas diferentes, lo cual no es para nada evidente, y menos con la tecnología disponible en tiempos de Aristóteles. Pero otras escuelas filosóficas griegas tenían ideas diferentes.

Demócrito y sus seguidores, por ejemplo, pusieron el énfasis en el movimiento y especularon sobre la posibilidad de división de la materia. Es fácil observar que un objeto de la vida cotidiana (un pedazo de piedra o una gota de agua, por nombrar elementos naturales y cotidianos) se puede partir por la mitad y tenemos dos gotas de agua o dos piedras menores. Podemos repetir este procedimiento y quedarnos con pedazos cada vez más chicos, esto es obvio. ¿Y qué pasa si repetimos hasta el infinito? ¿Se puede seguir?

Muchos nos hemos hecho esta misma pregunta y contemplado las dos respuestas, sí o no. El criterio para decidirse por una u otra no es muy evidente, al menos si no tenemos más datos que los de nuestra imaginación.

Demócrito optó por el no, o sea por frenar el proceso en algún punto. Por eso pensaba que debe haber componentes indivisibles, sobre los que no se puede continuar el proceso de división. *Thomos* es la palabra griega que significa «cortar» o «partir» y el prefijo «a» sirve para negar al elemento posterior, así que Demócrito bautizó *athomos* (incortables) a sus partículas indivisibles. Es mucho más difícil, desde mi punto de vista, hacerse una imagen mental de la idea opuesta, o sea, de una división hasta el infinito. Sin embargo, la división infinita se usa mucho en matemática o geometría, «imaginamos» que una recta, un ente abstracto, se puede dividir hasta el infinito.



Debo confesar que, si bien la idea me parece lógica, me resulta imposible cerrar los ojos y ver dentro de mi cabeza los infinitos puntos en que se divide una recta. Siempre veo puntos separados, como para ser contados, y esa no es la idea abstracta, matemática. En algún momento tengo que confiar en la lógica, que puede llegar más allá que nuestra imaginación visual.

Por lo demás, las ideas de Aristóteles y Demócrito eran bastante diferentes. Aristóteles, por una parte, creía que los objetos y sus cuatro elementos buscaban siempre su lugar natural de equilibrio, y por eso los sólidos caen (ya que su lugar natural de equilibrio estaba en el centro de la tierra) y el fuego sube hacia su propio lugar de equilibrio, que está en los cielos.

En cambio, para Demócrito lo esencial era el movimiento, el cambio, y la naturaleza se encuentra en perpetuo movimiento. Solamente los átomos, esas partículas indivisibles, permanecían iguales, y los cambios observados correspondían a perpetuas recombinaciones y disociaciones de ellos.

Hasta cierto punto la imagen moderna coincide con la de Demócrito, y la idea de átomo es fundamental para la ciencia. Por supuesto, ahora tenemos muchos más datos que los que tenía Demócrito. En los siguientes capítulos veremos cómo se fueron refinando las ideas sobre los átomos y los elementos, que coexisten sin conflicto en la ciencia actual. Pero los elementos y los átomos actuales no son los mismos que los de Aristóteles y Demócrito.

Los objetos ideales de átomo y elemento han evolucionado mucho desde entonces. Ahora reconocemos más de cien elementos químicos y lo que llamamos átomo ya no es más indivisible, pero las denominaciones se han mantenido. De alguna manera, los nombres, que al fin y al cabo son algo efímero y que no hace a la sustancia de las cosas, resultaron ser más duraderos que los ideales originales de Aristóteles y Demócrito. Paradojas del pensamiento y la palabra humana.

Entonces, de todas las ideas de la filosofía griega, que son muchas más que las que hemos mencionado, vamos a seguir el desarrollo histórico de los átomos de Demócrito y de los elementos de Aristóteles. Estos objetos ideales han ido mutando en su forma hasta nuestros días y resultaron ser conceptos muy importantes en el desarrollo de nuestras ideas sobre calor y temperatura.

Las ideas de Demócrito, vistas retrospectivamente, parecen bastante acertadas porque la idea moderna de átomo se parece bastante a la del filósofo griego. En cambio, los elementos de Aristóteles son en realidad mezclas o compuestos muy diferentes, si tomamos la noción moderna de «elemento». Pero no hay que despreciar ninguna de estas ideas antiguas. A menudo, la pregunta es tan importante como la respuesta. Es normal que el conocimiento vaya cambiando, y cambia porque se formulan hipótesis y estas se someten a todo tipo de pruebas. Las que pasan las pruebas, que consisten básicamente en mediciones u observaciones experimentales, son incorporadas al conocimiento científico. A veces también es importante la coherencia lógica o matemática. Pero nada garantiza que vayan a durar para siempre. Pueden ser modificadas a la luz de nuevos descubrimientos. En los capítulos siguientes veremos, justamente, cómo fueron cambiando las hipótesis puramente ideales de los griegos sobre la base del conocimiento empírico desarrollado en los siglos venideros.