

VII. LA ESTRUCTURA HISTÓRICA DEL
DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO*

EN ESTE artículo trataré de destacar y esclarecer una pequeña parte de lo que, según yo, en el estudio de la ciencia, es una revolución historiográfica permanente.¹ El tema que voy a tratar es el de la estructura del descubrimiento científico. Y lo mejor será que empiece señalando que el tema, de por sí, puede parecer por demás extraño. Tanto los científicos, como hasta hace poco los historiadores, han venido viendo en el descubrimiento una especie de suceso que, sin negar que requiere ciertas condiciones para darse y que de seguro posee consecuencias, carece de estructura interna. Lejos de ver en él un proceso complejo que se extiende en el tiempo y en el espacio, se ha considerado que el descubrir algo es un acontecimiento unitario que, como el mirar algo, le sucede a un individuo en un lugar y momento determinados.

Esta manera de concebir la naturaleza del descubrimiento tiene, según sospecho, profundas raíces en el carácter de la comunidad científica. Uno de los pocos elementos históricos que aparecen en los libros de texto en los cuales el futuro científico aprende su especialidad consiste en la atribución de fenómenos naturales particulares a los personajes históricos que supuestamente los descubrieron. A consecuencia de esto y también de otros aspectos de su formación, para muchos científicos el llegar a hacer un descubrimiento se convierte en uno de sus objetivos vitales. Hacer un descubrimiento es prácticamente acercarse a un derecho de propiedad que ofrece la carrera científica. El prestigio profesional suele estar íntimamente relacionado con tal tipo de logro.² No deben parecer extrañas, pues, las

* Reimpreso con autorización de *Science*, 136 (1962): 760-764. Copyright 1962, de The American Association for the Advancement of Science.

¹ La revolución mayor se analizará en mi próximo libro, *The Structure of Scientific Revolutions*, que publicará en el otoño la editora de la Universidad de Chicago. Las ideas predominantes en este artículo se extrajeron de su tercer capítulo: "La anomalía y el surgimiento de los descubrimientos científicos" [2ª ed., 1970]

² Para una brillante discusión de estos puntos, véase R. K. Merton, "Priorities in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science", *American Sociological*

mordaces disputas que sobre la prioridad e independencia de los descubrimientos ocurren en la atmósfera normalmente plácida de la comunicación científica. Y sorprende menos todavía que muchos historiadores de la ciencia hallen en el descubrimiento individual la unidad a propósito para medir el progreso de la ciencia y empleen gran parte de su tiempo y capacidades en determinar quién y cuándo hizo tal o cual descubrimiento. Si el estudio del descubrimiento puede darnos alguna sorpresa, ésta no puede ser más que eso, a pesar de la gran cantidad de ingenio y energía que en él se invierte, ni la polémica ni la más completa erudición sirven para fijar la fecha y el lugar exactos en los que pueda decirse que se ha "realizado" un descubrimiento.

Este fracaso, así de la discusión como de la investigación, sugiere la tesis que me propongo desarrollar. Muchos descubrimientos científicos, particularmente los de más interés e importancia, no son acontecimientos a los que se adecue la pregunta "¿dónde?" y, menos aún, "¿cuándo?" Aunque se dispusiera de todos los datos imaginables, tales preguntas, en términos generales, no tendrían respuesta. Que de todas maneras nos sintamos tentados a hacerlas una y otra vez denota lo incorrecto de la imagen que tenemos del descubrimiento científico. Tal impropiedad de la imagen es la parte medular del problema que voy a plantear, y que abordaré considerando primero el problema histórico de fechar y situar a un tipo principal de descubrimientos fundamentales.

Este tipo consta de aquellos descubrimientos —como el del oxígeno, la corriente eléctrica, los rayos X y el electrón— que no pudieron ser predichos partiendo de una teoría ya aceptada y que, por consiguiente, tomaron por sorpresa en un momento dado a los miembros de una especialidad establecida. Más adelante me concentraré en este tipo de descubrimientos; pero, para llegar a donde deseo, ayudará el hacer notar que hay otro tipo de descubrimiento en donde el problema enunciado prácticamente no existe. Dentro de esta segunda categoría se encuentran, por ejemplo, el descubrimiento del neutrino, las ondas de radio y los elementos que llenaron los espacios vacíos de la tabla periódica, cuya existencia estaba prevista por la teoría; así, sus descubridores sabían de antemano qué era lo que buscaban. Ese conocimiento anticipado no hizo su tarea menos exigente ni menos intere-

Review, 22 (1957): 635. Aunque no apareció hasta que este artículo ya estaba preparado, véase "The Competitive World of the Pure Scientist", *Science*, 134 (1961): 1957, que también viene al caso.

sante, pero sí les dio el criterio necesario para saber cuándo habían alcanzado su objetivo.³ En consecuencia, pocos fueron los debates sobre la prioridad de esos descubrimientos, y sólo la escasez de datos puede impedir que el historiador los adjudique a una fecha y lugar particulares. Esos hechos ayudan a aislar las dificultades que nos encontramos al volver a los descubrimientos problema del primer tipo. En los casos que más nos interesan aquí, no hay señales que le informen al científico o al historiador cuándo se realizó el trabajo de descubrimiento.

Como ejemplo de este problema fundamental y sus consecuencias, trataré primero el descubrimiento del oxígeno. Por haber sido estudiado repetidas veces, a menudo con cuidado y destreza ejemplares, ese descubrimiento tiene pocas probabilidades de ofrecer sorpresas en cuanto a los hechos en sí. Por tanto, es un buen ejemplo para aclarar mis premisas.⁴ Al menos tres científicos —Carl Scheele, Joseph Priestley y Antoine Lavoisier— tienen derechos legítimos sobre este descubrimiento; ocasionalmente, los polemizadores han exigido lo mismo para Pierre Bayen.⁵ El trabajo de Scheele, aunque es casi

³ No todos los descubrimientos corresponden tan nitidamente como el anterior a una u otra de mis dos clases. Por ejemplo, el trabajo de Anderson sobre el positrón fue realizado con desconocimiento absoluto de la teoría del electrón, de Dirac, a partir de la cual ya se había predicho con cierta aproximación la existencia de dicha partícula. Por otro lado, Blackett y Occhialini, en su trabajo realizado inmediatamente después del de Anderson, aplicaron la teoría de Dirac y por lo mismo aprovecharon casi íntegramente el experimento; por ello, su demostración de la existencia del positrón fue mucho mejor que la de Anderson. Sobre este tema, véase N. R. Hanson, "Discovering the Positron", *British Journal for the Philosophy of Science*, 12 (1961): 194; 12 (1962): 299. Hanson sugiere varios de los puntos expuestos aquí. Le estoy muy agradecido al profesor Hanson por haberme proporcionado una reimpresión de su material.

⁴ Desarrollé un ejemplo menos familiar desde el mismo punto de vista en "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, 49 (1958): 132. Un análisis muy semejante del surgimiento de una teoría nueva se incluye en las primeras páginas de mi ensayo: "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery", en *Critical Problems in the History of Science*, compilador, M. Clagett (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), pp. 321-356. La referencia a estos artículos puede añadirle profundidad y detalles a la discusión siguiente.

⁵ La exposición clásica del descubrimiento del oxígeno es la de A. N. Meldrum, *The Eighteenth Century Revolution in Science: The First Phase* (Calcuta, 1930), cap. 5. Una exposición más conveniente y en general más confiable es la incluida en J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789*. Harvard Case Histories in Experimental Science, case 2 (Cambridge: Harvard University Press, 1950). Una revisión reciente e indispensable, que incluye una relación de la controversia sobre

seguro que haya estado terminado antes de las investigaciones de Priestley y Lavoisier, no se publicó hasta que el trabajo de estos últimos ya era bastante conocido.⁶ Por tanto, no desempeña ningún papel causal, y lo omitiré para simplificar mi historia.⁷ Iniciaré, pues, el camino principal hacia el descubrimiento del oxígeno con el trabajo de Bayen, quien poco antes de marzo de 1774 descubrió que al calentar el precipitado rojo de mercurio (HgO) se producía el desprendimiento de un gas.

Ese producto gaseoso fue identificado por Bayen como aire fijado (CO₂), sustancia familiar para la mayoría de los dedicados a la química de los gases, por el trabajo anterior de Joseph Black.⁸ Se sabía que muchas otras sustancias desprendían el mismo gas.

A principios de agosto de 1774, unos meses después de aparecido el trabajo de Bayen, Joseph Priestley repitió el experimento, aunque es probable que en forma independiente. Sin embargo, Priestley observó que el producto gaseoso permitía la combustión y, por tanto, lo identificó de otra manera. Para él, el gas obtenido al calentar el precipitado rojo era aire nitroso (N₂O), sustancia que ya había descubierto hacía más de dos años.⁹ Más tarde, en el mismo mes, Priestley hizo un viaje a París y allí le comunicó a Lavoisier la nueva reacción. Este repitió el

la prioridad, es la de M. Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (Paris, 1955), caps. 2 y 3. H. Guerlac agrega muchos detalles importantes a nuestro conocimiento sobre las primeras relaciones entre Priestley y Lavoisier en su "Joseph Priestley's First Papers on Gases and Their Reception in France", *Journal of the History of Medicine*, 12 (1957): 1, y también en su monografía, muy reciente, *Lavoisier: The Crucial Year* (Ithaca: Cornell University Press, 1961). Sobre Scheele, véase J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2^a ed. (Londres, 1951), pp. 104-109.

⁶ Sobre las fechas en el trabajo de Scheele, véase A. E. Nordenskjöld, *Carl Wilhelm Scheele, Nachgelassene Briefe und Aufzeichnungen* (Estocolmo, 1892).

⁷ U. Bocklund ("A Lost Letter from Scheele to Lavoisier", *Lychnos*, 1957-1958, pp. 39-62) argumenta que Scheele le comunicó a Lavoisier su descubrimiento del oxígeno en una carta con fecha 30 de septiembre de 1774. Desde luego es importante la carta, y ello demuestra que Scheele iba adelante de Priestley y Lavoisier en la época en que la escribió. Pero no creo que la carta sea tan franca como supone Bocklund, y no imagino cómo pudo haber sacado de ella Lavoisier el descubrimiento del oxígeno. Scheele describe un procedimiento para constituir aire común, no para producir un gas nuevo, y ésta, como veremos más adelante, es casi la misma información que Lavoisier recibió de Priestley más o menos por la misma época. En todo caso, no hay pruebas de que Lavoisier realizara la clase de experimento sugerida por Scheele.

⁸ P. Bayen, "Essai d'expériences chymiques, faites sur quelques précipités de mercure, dans la vue de découvrir leur nature, Seconde partie", *Observations sur la physique*, 3 (1774): 280-295, particularmente pp. 289-291.

⁹ J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory*, pp. 34-40.

experimento en noviembre de 1774 y en febrero de 1775. Pero, debido a que sus comprobaciones eran algo más elaboradas que las de Priestley, tuvo que hacer una nueva identificación. Para él, en mayo de 1775, el gas desprendido por el precipitado rojo no era aire fijado ni aire nitroso, sino "aire [atmosférico] sin alteración. . . de tal modo que. . . resulta más puro".¹⁰ Mientras tanto, Priestley había estado trabajando también, y antes de marzo de 1775 había llegado a la conclusión de que el gas debía de ser "aire común". Hasta aquí, todos los que habían producido un gas a partir del precipitado rojo de mercurio lo habían identificado con alguna especie ya conocida.¹¹

El desenlace de esta historia del descubrimiento se puede contar en pocas palabras. En marzo de 1775, Priestley descubrió que su gas era en varios aspectos mucho "mejor" que el aire común, y lo volvió a identificar, llamándolo ahora "aire desflogisticado", o sea, aire atmosférico sin su complemento normal de flogisto. Priestley publicó esta conclusión en las *Philosophical Transactions*, y al parecer fue por esa publicación que Lavoisier reexaminó sus resultados.¹² Comenzó su revisión en febrero de 1776 y en un año llegó a la conclusión de que el gas era en realidad un componente separable del aire atmosférico, al cual habían supuesto homogéneo tanto él como Priestley.

En este punto, reconocido ese gas como una especie nueva e irreductible, podemos dar por concluido el descubrimiento del oxígeno.

Pero, volviendo a mi pregunta inicial, ¿en qué momento puede decirse que fue descubierto el oxígeno? ¿Y qué criterio ha de seguirse para responder esa pregunta? Si el descubrimiento del oxígeno se reduce al simple hecho de tener una muestra impura en las manos, entonces el gas había sido "descubierto" en la antigüedad por el primer hombre que embotelló aire atmosférico. Sin lugar a dudas, siguiendo un criterio experimental, es necesario que se disponga por lo menos de una muestra relativamente pura, como la obtenida por

¹⁰ *Ibid.*, p. 23. Una buena traducción del texto completo es la que aparece en Conant.

¹¹ Para simplificar, empleo en todo el texto el término *precipitado rojo*. En realidad, Bayen usó el precipitado; Priestley usó tanto el precipitado como el óxido producido directamente por calcinación de mercurio; y Lavoisier empleó exclusivamente este último. No carece de importancia la diferencia, pues para los químicos no fue absolutamente claro que ambas sustancias eran idénticas.

¹² Hay dudas sobre la influencia de Priestley en este aspecto del prensamiento de Lavoisier, pero, cuando éste volvió a experimentar con el gas en febrero de 1776, registró en sus notas que había obtenido l'air dephlogistique de M. Priestley (M. Daumas, *Lavoisier*, p. 36).

Priestley en agosto de 1774. Pero en ese año Priestley no sabía que había descubierto algo nuevo, sino tan sólo una nueva forma de producir una especie relativamente conocida. Durante todo ese año su "descubrimiento" apenas puede distinguirse del ya realizado por Bayen, y en ninguno de los dos casos es muy diferente del hecho por el reverendo Stephen Hales, quien había obtenido el mismo gas más de cuarenta años antes.¹³ Es evidente que para que uno descubra algo debe estar enterado tanto del descubrimiento como de lo que ha descubierto.

Pero, siendo ése el caso, ¿qué tanto es lo que debe uno saber? ¿Sabía Priestley lo suficiente cuando identificó el gas como aire nitroso? O, si no, ¿sabían él o Lavoisier significativamente más cuando cambiaron la identificación por la de aire común? ¿Y qué podemos decir de la siguiente identificación de Priestley, la que hizo en marzo de 1775? El aire desflogisticado no es todavía oxígeno y, para el químico del flogisto, no es ni siquiera un tipo de gas desconocido. En lugar de eso, es aire atmosférico particularmente puro. Se tiene que esperar, pues, al trabajo de Lavoisier, de 1776 y 1777, el cual lo llevó no solamente a aislar el gas sino a determinar lo que era. Pero incluso esto último puede ser cuestionado. Porque en 1777, y hasta el final de su vida, Lavoisier insistió en que el oxígeno era un "principio de acidez" atómico y que el gas oxígeno se formaba solamente cuando ese "principio" se unía con el calórico, que es la materia del calor.¹⁴ ¿Debemos decir, por tanto, que el oxígeno no había sido descubierto aún en 1777? Hay quien se siente tentado a decirlo. Pero el principio de acidez no fue desterrado de la química hasta después de 1810, y el calórico hasta la década de 1860. Sin embargo, el oxígeno era ya una sustancia química común y corriente mucho antes de esas fechas. Lo que es más, y tal vez sea la clave del asunto, es que probablemente habría ocurrido lo mismo sólo con el trabajo de Priestley, sin necesidad de la reinterpretación todavía parcial de Lavoisier.

Mi conclusión es que necesitamos un nuevo vocabulario y nuevos conceptos para analizar acontecimientos como el descubrimiento del oxígeno. Aunque indudablemente correcta, la frase "el oxígeno fue descubierto" es engañosa, pues sugiere que el descubrir algo es un

¹³ J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, p. 91.

¹⁴ Sobre los elementos tradicionales de las interpretaciones hechas por Lavoisier de las reacciones químicas, véase H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavoisier* (París, 1935), y Daumas, *Lavoisier*, cap. 7.

acto simple que, siempre y cuando se sepa de él lo suficiente, es posible atribuir a alguien y a una fecha determinada. Cuando el descubrimiento no se esperaba, por otro lado, la atribución es siempre imposible y el acto, difícil de reconocer. Si pasamos por alto a Scheele, podemos decir, por ejemplo, sin meternos en mayor problema, que el oxígeno no había sido descubierto antes de 1774, y probablemente insistiríamos en que se descubrió en 1777, o poco después. Pero, dentro de estos límites, cualquier intento por fechar ese descubrimiento o por atribuírselo a alguna persona será inevitablemente arbitrario. Será arbitrario, además, por el simple hecho de que el descubrimiento de un nuevo tipo de fenómeno sigue un proceso complejo que incluye el reconocimiento de que se ha descubierto *algo* y de *qué* es ese algo. La observación y la conceptuación, así como el hecho y la asimilación del hecho a la teoría, se encuentran inseparablemente unidos en el descubrimiento de una novedad científica. Inevitablemente, ese proceso toma cierto tiempo, y en él suelen intervenir muchas personas. Únicamente para los descubrimientos de mi segunda categoría —la de aquellos cuyo carácter se conoce por anticipado— es que el descubrir *algo* y el descubrir *lo que es ese algo* ocurren simultáneamente en el mismo instante.

Expondré a continuación dos ejemplos mucho más simples y breves, que nos mostrarán al mismo tiempo lo típico del caso del oxígeno y también prepararán el terreno para llegar a una conclusión más o menos precisa. En la noche del 13 de marzo de 1781, el astrónomo William Herschel escribió lo siguiente en su diario: "En el cuartil cercano a Zeta Tauri. . . se encuentra una curiosa nebulosa, o tal vez un cometa."¹⁵

Se acostumbra tomar tales frases como la declaración del descubrimiento del planeta Urano, pero eso no es del todo cierto. Entre 1690 y la observación de Herschel en 1781, había sido visto el mismo objeto y registrado el hecho al menos 17 veces por hombres que pensaban que era una estrella. Herschel difiere de éstos únicamente por haber supuesto, gracias al mayor poder de amplificación de su telescopio, que en realidad podría tratarse de un *cometa*. Dos observaciones más, que hizo el 17 y el 19 de marzo, confirmaron su sospecha al encontrarse con que el objeto observado se movía entre las estrellas. Consecuentemente, les informó del descubrimiento a los astrónomos de toda Europa, y los matemáticos que había entre ellos empezaron a medir la

¹⁵ P. Doig, *A Concise History of Astronomy* (Londres: Chapman, 1950), pp. 115-116.

órbita del nuevo cometa. Después de que, varios meses después, habían terminado en el fracaso todos los intentos por hacer concordar los cálculos con las observaciones, el astrónomo Lexell sugirió que el objeto observado por Herschel podría ser un planeta. Sólo después de nuevos cálculos, basados ahora en una órbita planetaria, que resultaron congruentes con las observaciones, tuvo aceptación general la sugerencia indicada. ¿En qué fecha de 1781 podemos decir que se descubrió el planeta Urano? ¿Y podemos estar completamente seguros de que fue Herschel y no Lexell quien lo descubrió?

Veamos ahora la historia, más breve todavía, del descubrimiento de los rayos X, que comienza un día de 1895 en que el físico Roentgen interrumpe su bien conocida investigación sobre los rayos catódicos porque nota que la pantalla de platinocianuro de bario, alejada de su aparato protegido, despidió un brillo cuando se efectuó una descarga.¹⁶ Investigaciones ulteriores —que requirieron siete agitadas semanas durante las cuales Roentgen rara vez dejó su laboratorio— indicaron que la causa del brillo viajaba en línea recta desde el tubo del rayo catódico, que la radiación emitía sombras, y que no podía ser desviada por la fuerza magnética ni por otras. Antes de anunciar su descubrimiento, Roentgen se había convencido a sí mismo de que su efecto no se debía a los rayos catódicos en sí, sino a un nuevo tipo de radiación con al menos similitudes con respecto a la luz. Una vez más aparece la inevitable pregunta: ¿en qué momento fueron descubiertos en realidad los rayos X? De ninguna manera podemos decir que fue en el primer instante, cuando todo lo que se había notado era un brillo en la pantalla. Por lo menos otro investigador había visto ya ese brillo y, muy a su pesar, no había descubierto nada. Tampoco podemos decir, y esto es bastante claro, que el momento del descubrimiento queda postergado hasta la última semana de investigación. Para entonces, Roentgen estaba investigando las propiedades de la nueva radiación que ya había descubierto. Lo más que podemos decir es que los rayos X aparecieron en Würzburg entre el 8 de noviembre y el 28 de diciembre de 1895.

Hay en estos ejemplos ciertas características, creo, que son comunes a todos los episodios en los cuales las novedades no previstas se convirtieron en temas de la atención científica. Concluyo, por lo tanto, estas breves observaciones analizando esas tres características comu-

¹⁶ L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston: Houghton Mifflin Co., 1941), página 790.

nes que pueden servir de marco de referencia para ahondar en el estudio de los extensos episodios que acostumbramos llamar "descubrimientos".

En primer lugar, quiero hacer notar que nuestros tres descubrimientos —el del oxígeno, el de Urano y el de los rayos X— principiaron con el aislamiento experimental o en la observación de una anomalía, esto es, con la falla de la naturaleza para conformarse completamente a lo que se espera. A continuación, nótese que el proceso seguido para aislar esa anomalía muestra al mismo tiempo las características evidentemente incompatibles de lo inevitable y lo accidental. En el caso de los rayos X, el brillo anómalo que le dio a Roentgen la primera clave resultó claramente de la colocación accidental de su aparato. Pero, hacia 1895, los rayos catódicos eran un tema de investigación común en toda Europa; en esa investigación, se acostumbraba equipar los tubos de rayos catódicos con pantallas y películas sensibles; en consecuencia, el accidente de Roentgen pudo haber ocurrido en cualquier otro lugar, y de hecho así fue. Estos comentarios deben servir para que resalten las semejanzas del caso de Roentgen con respecto a los casos de Priestley y Herschel. Éste observó por primera vez su anómala y gigantesca estrella en el curso de un prolongado estudio de los cielos del norte. Ese estudio fue, salvo por la mayor amplificación que proporcionaban sus instrumentos, del mismo tipo que se habían venido realizando antes y que ya había producido observaciones de Urano. Y Priestley —cuando aisló el gas que se comportaba casi igual que el aire nitroso y después casi igual que el aire común— estaba viendo también algo que ni se había propuesto ni concordaba con el resultado de un tipo de experimento del que había muchos precedentes en Europa y que había conducido más de una vez a la producción del mismo gas.

Estas características sugieren la existencia de dos requisitos normales para el inicio de un episodio de descubrimiento. El primero —que durante todo este escrito, en gran medida, he dado por sentado— es la capacidad individual, el talento o el genio para reconocer que algo ha salido mal de una manera que puede tener consecuencias importantes. No todos los científicos habrían notado que una estrella desconocida pudiera ser tan grande, que una pantalla no debería haber brillado ni que el aire nitroso no debiera haber mantenido la vida. Pero ese requisito presupone otro, que es menos frecuente de dar por sentado. Cualquiera que sea el nivel del genio posible que las observe, las anomalías no se presentan en el curso normal de la investigación

científica mientras los instrumentos y los conceptos no se han desarrollado en grado suficiente como para hacer probable la aparición de una anomalía, y de manera que ésta resulte reconocible como una violación de las expectativas.¹⁷ Decir que un descubrimiento inesperado empieza únicamente cuando algo sale mal es decir que comienza sólo cuando los científicos conocen bien tanto sus instrumentos como la forma en que la naturaleza debiera comportarse. Lo que distingue a Priestley, quien vio la anomalía, de Hales, quien no la vio, es en gran medida la considerable articulación de las técnicas de la química de los gases con las expectativas que se habían establecido durante las cuatro décadas que separan sus respectivas producciones del oxígeno.¹⁸ El mismo número de personas que se adjudican el descubrimiento nos indica que, después de 1770, éste no hubiera tardado mucho tiempo.

El papel de la anomalía es la primera de las características compartidas por nuestros tres ejemplos. La segunda puede examinarse brevemente, pues constituye el tema principal de mi texto. La conciencia de la anomalía es apenas el comienzo de un descubrimiento, y nada más. Lo que sigue necesariamente, para que sea descubierto algo, es un espacio de tiempo, más o menos largo, durante el cual el individuo, y a menudo muchos miembros de su grupo, trata de reducir la anomalía a una ley. Invariablemente, ese periodo exige más observaciones o más experimentos, así como profundas reflexiones. En tanto esto ocurre, los científicos revisan repetidas veces sus expectativas, las normas de sus instrumentos y ocasionalmente sus teorías fundamentales. Desde este punto de vista, los descubrimientos tienen una historia interna propia, lo mismo que una prehistoria y una poshistoria. Además, dentro del intervalo, difícil de precisar, de la historia interna, no existe un momento aislado o un día al que el historiador, por muy completo que sean sus datos, pueda identificar como el punto en que se ha realizado un descubrimiento.

A menudo, cuando intervienen varios individuos, es incluso imposible identificar inequívocamente a cualquiera de ellos como el descubridor.

¹⁷ Aunque aquí no puedo argumentar sobre este punto, las condiciones que hacen probable el surgimiento de una anomalía y las que la hacen reconocible son en gran medida las mismas. Tal hecho puede ayudarnos a entender el porqué de tantos descubrimientos simultáneos como hay en las ciencias.

¹⁸ Un bosquejo útil del desarrollo de la química de los gases se halla en Partington, *A Short History of Chemistry*, cap. 6.

Finalmente, veamos la tercera de estas tres características comunes, referente a lo que sucede cuando el periodo de un descubrimiento se acerca a su fin. Para un análisis completo de este tema, harían falta más pruebas y otro artículo, ya que aquí es muy poco lo que he dicho del final de un descubrimiento. Sin embargo, no hay por qué soslayar el tema, pues en parte es un corolario de lo ya expuesto.

Muy a menudo se describen los descubrimientos como las meras adiciones o incrementos al cúmulo creciente del conocimiento científico, y por ello parece que el descubrimiento individual es una medida precisa del descubrimiento científico. Sin embargo, sugiero que eso se aplica únicamente a descubrimientos que, como el de los elementos que llenaron los espacios vacíos de la tabla periódica, ya estaban previstos y, por lo mismo, no exigían ningún ajuste ni adaptación ni asimilación por parte de la profesión respectiva. Aunque el tipo de descubrimientos que hemos estudiado aquí es indudablemente de adiciones al conocimiento científico, también es algo más. En cierto sentido, que aquí sólo pude exponer en parte, tales descubrimientos influyen igualmente en los conocimientos establecidos, haciendo que sean contemplados desde una nueva perspectiva y, al mismo tiempo, cambiando la forma de trabajar algunas de las partes tradicionales de la ciencia. Quienes trabajan en aquellas áreas a las que pertenece el fenómeno nuevo suelen ver de manera diferente tanto el mundo como su trabajo cuando surgen de la larga batalla con la anomalía, lo cual constituye el descubrimiento de ese fenómeno.

William Herschel, por ejemplo, al aumentar en uno el número de planetas conocidos, les enseñó a los astrónomos a mirar cosas nuevas mientras escudriñan los cielos familiares, aunque sea con instrumentos menos perfeccionados que los de él. Ese cambio en la visión de los astrónomos debe ser la principal razón de que, en el medio siglo que siguió al descubrimiento de Urano, se agregaran veinte cuerpos circunsolares a los siete tradicionales.¹⁹ La transformación, semejante a

¹⁹ R. Wolf, *Geschichte der Astronomie* (Munich, 1877), pp. 513-515, 683-693. El descubrimiento de los asteroides, antes de la era de la fotografía, suele verse como resultado de la ley de Bode. Pero esa ley no puede ser toda la explicación y acaso ni siquiera haya representado un papel importante. El descubrimiento de Ceres, realizado por Piazzi en 1801, ocurrió sin que éste supiera nada de la especulación, corriente en aquel entonces, del planeta faltante en el "espacio vacío" entre Marte y Júpiter. Lejos de ello, Piazzi estaba realizando exploraciones estelares, como Herschel. Lo más importante es que la ley de Bode ya era antigua en 1800 (*ibid.*, p. 683), pero antes de esa fecha sólo a un hombre se le había ocurrido que valía la pena buscar otro planeta. Por último, la ley de Bode sólo podía sugerir la utilidad de buscar más planetas; pero no les decía a los

la anterior, que resulta del trabajo de Roentgen es aún más patente. En primer lugar, tuvieron que cambiarse las técnicas establecidas para la investigación de los rayos catódicos, debido a que los científicos encontraron que no podían controlar una de las variables pertinentes. Entre esos cambios estuvieron el perfeccionamiento de aparatos antiguos y formas nuevas de hacer preguntas viejas. Además, los científicos más interesados experimentaron la misma transformación de sus correspondientes perspectivas que acabamos de ver como consecuencia del descubrimiento de Urano. Los rayos X fueron el primer tipo de radiación nueva descubierto desde la infrarroja y la ultravioleta a principios de siglo. Pero menos de una década después del trabajo de Roentgen se descubrieron cuatro más gracias a la nueva sensibilidad científica (por ejemplo, las placas fotográficas veladas) y por algunas de las nuevas técnicas instrumentales que resultaron a partir del trabajo de Roentgen y de su asimilación.²⁰

Muy a menudo estas transformaciones en las técnicas establecidas en la práctica científica tienen aún más importancia que el aumento de conocimiento que proviene del descubrimiento mismo. Tal es lo que podría argumentarse al menos en los casos de Urano y de los rayos X; en cuanto al tercer ejemplo, el del oxígeno, está categóricamente claro. Al igual que los trabajos de Herschel y de Roentgen, los de Priestley y Lavoisier les enseñaron a los científicos a mirar las situaciones antiguas desde nuevas perspectivas. Por tanto, como era de esperarse, el oxígeno no fue la única nueva especie química que se tuvo que identificar como consecuencia de la investigación. Pero, en el caso del oxígeno, los reajustes exigidos por la asimilación del nuevo conocimiento fueron tan profundos que desempeñaron un papel esencial e integral —aunque en sí no hayan sido la causa— en el cataclismo de la teoría y la práctica de la química, que desde entonces se conoce como la Revolución química. No sugiero que todos los descubrimientos imprevistos tengan consecuencias tan profundas y de tan largo alcance en la ciencia, como las que siguieron al descubrimiento del oxígeno. Pero sí sugiero que todos esos descubrimientos exigen, de

astrónomos en dónde buscarlos. Lo que sí está claro es que la motivación para buscar más planetas data del trabajo de Herschel sobre Urano.

²⁰ Sobre las radiaciones α , β y γ , cuyo descubrimiento data de 1896, véase Taylor, *Physics*, pp. 800-804. Sobre las cuatro nuevas formas de radiación, los rayos N, véase D. J. S. Price, *Science Since Babylon* (New Haven: Yale University Press, 1961), pp. 84-89. Que los rayos N hayan resultado a fin de cuentas motivo de un escándalo científico no los hace menos reveladores del estado mental de la comunidad científica.

quienes son los más interesados en ellos, los tipos de reajuste que, cuando son más obvios, equiparamos con la Revolución científica. Creo que, porque exigen reajustes como éstos, el proceso del descubrimiento posee, necesaria e inevitablemente, una estructura, y por consiguiente se extiende en el tiempo.

