

La estructura de las revoluciones científicas

Thomas S. KUHN

Capítulo VI

La anomalía y la emergencia de los descubrimientos científicos

La ciencia normal, la actividad para la resolución de enigmas que acabamos de examinar, es una empresa altamente acumulativa que ha tenido un éxito eminente en su objetivo, la extensión continua del alcance y la precisión de los conocimientos científicos. En todos esos aspectos, se ajusta con gran precisión a la imagen más usual del trabajo científico. Sin embargo, falta un producto ordinario de la empresa científica. La ciencia normal no tiende hacia novedades fácticas o teóricas y, cuando tiene éxito, no descubre ninguna. Sin embargo, la investigación científica descubre repetidamente fenómenos nuevos e inesperados y los científicos han inventado, de manera continua, teorías radicalmente nuevas. La historia sugiere incluso que la empresa científica ha desarrollado una técnica cuyo poder es único para producir sorpresas de este tipo. Para reconciliar esta característica de la ciencia con todo lo que hemos dicho ya, la investigación bajo un paradigma debe ser particularmente efectiva, como método, para producir cambios de dicho paradigma. Esto es lo que hacen las novedades fundamentales fácticas y teóricas. Producidas de manera inadvertida por un juego llevado a cabo bajo un conjunto de reglas, su asimilación requiere la elaboración de otro conjunto. Después de convertirse en partes de la ciencia, la empresa, al menos la de los especialistas en cuyo campo particular caen las novedades, no vuelve a ser nunca la misma.

Debemos preguntarnos ahora cómo tienen lugar los cambios de este tipo, tomando en consideración, primero, los descubrimientos o novedades fácticas, y luego los inventos o novedades teóricas. Sin embargo, muy pronto veremos que esta distinción entre descubrimiento e invento o entre hecho y teoría resulta excesivamente artificial. Su artificialidad es un indicio importante para varias de las tesis principales de este ensayo. Al examinar en el resto de esta sección descubrimientos seleccionados, descubriremos rápidamente que no son sucesos aislados, sino episodios extensos, con una estructura que reaparece regularmente. El descubrimiento comienza con la percepción de la anomalía; o sea, con el reconocimiento de que en cierto modo la naturaleza ha violado las expectativas, inducidas por el paradigma, que rigen a la ciencia normal. A continuación, se produce una exploración más o menos prolongada de la zona de la anomalía. Y sólo concluye cuando la teoría del paradigma ha sido ajustada de tal modo que lo anormal se haya convertido en lo esperado. La asimilación de un hecho de tipo nuevo exige un ajuste más que aditivo de la teoría y en tanto no se ha llevado a cabo ese ajuste --hasta que la ciencia aprende a ver a la naturaleza de una manera diferente--, el nuevo hecho no es completamente científico.

Para ver cuán estrechamente entrelazadas se encuentran las novedades fácticas y las teóricas en un descubrimiento científico, examinemos un ejemplo particularmente famoso: el descubrimiento del oxígeno. Al menos tres hombres diferentes tienen la pretensión legítima de atribuírselo y varios otros químicos, durante los primeros años de la década de 1770, deben haber tenido aire enriquecido en un recipiente de laboratorio, sin saberlo. El progreso de la ciencia normal, en este caso de la química neumática, preparó el camino para un avance sensacional, de manera muy completa. El primero de los que se atribuyen el descubrimiento, que preparó una muestra relativamente pura del gas, fue el farmacéutico sueco C. W. Scheele. Sin embargo, podemos pasar por alto su trabajo, debido a que no fue publicado sino hasta que el descubrimiento del oxígeno había sido ya anunciado repetidamente en otras partes y, por consiguiente, no tuvo efecto en el patrón histórico que más nos interesa en este caso. El segundo en el tiempo que se atribuyó el descubrimiento fue el científico y clérigo británico Joseph Priestley, quien recogió el gas liberado por óxido rojo de mercurio calentado, como un concepto en una investigación normal prolongada de los "aires" liberados por un gran número de sustancias sólidas. En 1774, identificó el gas así producido como óxido nitroso y, en 1775, con la ayuda de otros experimentos, como aire común con una cantidad menor que la usual de flogisto. El tercer descubridor, Lavoisier, inició el trabajo que lo condujo hasta el oxígeno después de los experimentos de Priestley de 1774 y posiblemente como resultado de una indicación de Priestley. A comienzos de 1775, Lavoisier señaló que el gas obtenido mediante el calentamiento del óxido rojo de mercurio era "el aire mismo, entero, sin alteración [excepto que] ... sale más puro, más respirable". Hacia 1777, probablemente con la ayuda de una segunda indicación de Priestley, Lavoisier llegó a la conclusión de que el gas constituía una especie bien definida, que era uno de los dos principales componentes de la atmósfera, conclusión que Priestley no fue capaz de aceptar nunca.

Este patrón de descubrimiento plantea una pregunta que puede hacerse con respecto a todos y cada uno de los nuevos fenómenos que han llegado alguna vez a conocimiento de los científicos. ¿Fue Priestley o Lavoisier, si fue uno de ellos, el primero que descubrió el oxígeno? En cualquier caso, ¿cuándo fue descubierto el oxígeno? La pregunta podría hacerse en esta forma, incluso si no hubiera existido nunca más que un solo científico que se atribuyera el descubrimiento. Como regla sobre la prioridad y la fecha, no nos interesa en absoluto la respuesta. No obstante, un intento para encontrar una, serviría para esclarecer la naturaleza del descubrimiento, debido a que no existe ninguna respuesta del tipo buscado. El descubrimiento no es el tipo de proceso sobre el que se hace la pregunta de manera apropiada. El hecho de que se plantee --la prioridad por el oxígeno ha sido cuestionada repetidamente desde los años de la década de 1780-- es un síntoma de algo desviado en la imagen de una ciencia, que concede al descubrimiento un papel tan fundamental. Veamos una vez más nuestro ejemplo. La pretensión de Priestley de que había descubierto el oxígeno, se basaba en su prioridad en el aislamiento de un gas que fue más tarde reconocido como un elemento definido. Pero la muestra de Priestley no era pura y, si el tener en las manos oxígeno impuro es descubrirlo, lo habrían hecho todos los que embotellaron aire atmosférico. Además, si el descubridor fue Priestley, ¿cuándo tuvo lugar el descubrimiento? En 1774 pensó que había obtenido óxido nitroso, una especie que conocía ya; en 1775 vio el gas como aire deflogistizado, que todavía no es oxígeno o que incluso es, para los químicos flogísticos, un tipo de gas absolutamente inesperado. La pretensión de Lavoisier puede ser más contundente; pero presenta los mismos problemas. Si rehusamos la palma a Priestley, no podemos tampoco concedérsela a Lavoisier por el trabajo de 1775 que lo condujo a identificar el gas como "el aire mismo, entero" Podemos esperar al trabajo de

1776 y 1777, que condujo a Lavoisier a ver no sólo el gas sino también qué era. Sin embargo, aun esta concesión podría discutirse, pues 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 sólo cuando ese "principio" se unía con calórico, la materia del calor. Por consiguiente, ¿podemos decir que el oxígeno no había sido descubierto todavía en 1777? Algunos pueden sentirse tentados a hacerlo. Pero el principio de acidez no fue eliminado de la química hasta después de 1810 y el calórico hasta los años de la década de 1860. El oxígeno se había convertido en una sustancia química ordinaria antes de cualquiera de esas fechas.

Está claro que necesitamos conceptos y un nuevo vocabulario para analizar sucesos tales como el descubrimiento del oxígeno. Aunque sea indudablemente correcta, la frase "El oxígeno fue descubierto", induce a error, debido a que sugiere que el descubrir algo es un acto único y simple, asimilable a nuestro concepto habitual de la visión (y tan discutible como él). Por eso suponemos con tanta facilidad que el descubrir, como el ver o el tocar, debe ser atribuible de manera inequívoca a un individuo y a un momento dado en el tiempo. Pero la última atribución es siempre imposible y la primera lo es con frecuencia. Ignorando a Scheele, podemos decir con seguridad que el oxígeno no fue descubierto antes de 1774 y podríamos decir también, probablemente, que fue descubierto aproximadamente en 1777 o muy poco tiempo después de esta fecha. Pero dentro de estos límites o de otros similares, cualquier intento para ponerle fecha al descubrimiento debe ser, de manera inevitable, arbitrario, ya que el descubrimiento de un tipo nuevo de fenómeno es necesariamente un suceso complejo, que involucra el reconocimiento, tanto de *que* algo existe como de *qué* es. Nótese, por ejemplo, que si el oxígeno fuera para nosotros aire deflogistizado insistiríamos sin vacilaciones en que Priestley lo descubrió, aun cuando de todos modos no sabríamos, exactamente cuándo. Pero si tanto la observación y la conceptualización, como el hecho y la asimilación a la teoría, están enlazadas inseparablemente en un descubrimiento, éste, entonces, es un proceso y debe tomar tiempo. Sólo cuando todas las categorías conceptuales pertinentes están preparadas de antemano, en cuyo caso el fenómeno no será de un tipo nuevo, podrá descubrirse sin esfuerzo *qué* existe y *qué* es, al mismo tiempo y en un instante.

Concedamos ahora que el descubrimiento involucra un proceso extenso, aunque no necesariamente prolongado, de asimilación conceptual. ¿Podríamos decir también que incluye un cambio en el paradigma? A esta pregunta no podemos darle todavía una respuesta general; pero, al menos en este caso preciso, la respuesta deberá ser afirmativa. Lo que anunció Lavoisier en sus escritos, a partir de 1777, no fue tanto el descubrimiento del oxígeno, como la teoría de la combustión del oxígeno. Esta teoría fue la piedra angular para una reformulación tan amplia de la química que, habitualmente, se la conoce como la revolución química. En realidad, si el descubrimiento del oxígeno no hubiera sido una parte íntimamente relacionada con el surgimiento de un nuevo paradigma para la química, la cuestión de la prioridad, de la que partimos, no hubiera parecido nunca tan importante. En este caso como en otros, el valor atribuido a un nuevo fenómeno y, por consiguiente, a su descubridor, varía de acuerdo con nuestro cálculo de la amplitud con la que dicho fenómeno rompía las previsiones inducidas por el paradigma. Sin embargo, puesto que será importante más adelante, nótese que el descubrimiento del oxígeno no fue por sí mismo la causa del cambio en la teoría química. Mucho antes de que desempeñara un papel en el descubrimiento del nuevo gas, Lavoisier estaba convencido, tanto de que había algo que no encajaba en la teoría del flogisto como de que los cuerpos en combustión absorbían

alguna parte de la atmósfera. Eso lo había registrado ya en una nota sellada que depositó en la Secretaría de la Academia Francesa, en 1772. Lo que logró el trabajo con el oxígeno fue dar forma y estructura adicionales al primer sentimiento de Lavoisier de que algo faltaba. Le comunicó algo que ya estaba preparado para descubrir: la naturaleza de la sustancia que la combustión sustrae de la atmósfera. Esta comprensión previa de las dificultades debe ser una parte importante de lo que permitió ver a Lavoisier en experimentos tales como los de Priestley, un gas que éste había sido incapaz de ver por sí mismo. Recíprocamente, el hecho de que fuera necesaria la revisión de un paradigma importante para ver lo que vio Lavoisier debe ser la razón principal por la cual Priestley, hacia el final de su larga vida, no fue capaz de verlo.

Dos otros ejemplos mucho más breves reforzarán mucho lo que acabamos de decir y, al mismo tiempo, nos conducirán de la elucidación de la naturaleza de los descubrimientos hacia la comprensión de las circunstancias en las que surgen en la ciencia. En un esfuerzo por representar los modos principales en que pueden surgir los descubrimientos, escogimos estos ejemplos de tal modo que sean diferentes tanto uno del otro como ambos respecto del descubrimiento del oxígeno. El primero, el de los rayos X, es un caso clásico de descubrimiento por medio de un accidente, un tipo de descubrimiento que tiene lugar con mayor frecuencia de lo que nos permiten comprender las normas impersonales de la información científica. Su historia comienza el día en que el físico Roentgen interrumpió una investigación normal sobre los rayos catódicos debido a que había notado que una pantalla de platino-cianuro de bario, a cierta distancia de su aparato protegido, resplandecía cuando se estaba produciendo la descarga. Investigaciones posteriores --requirieron siete agitados semanas durante las que Roentgen raramente salió de su laboratorio-- indicaron que la causa del resplandor procedía en línea recta del tubo de rayos catódicos, que las sombras emitidas por la radiación no podían ser desviadas por medio de un imán y muchas otras cosas. Antes de anunciar su descubrimiento, Roentgen se convenció de que su efecto no se debía a los rayos catódicos sino a un agente que, por lo menos, tenía cierta similitud con la luz.

Incluso un tan breve resumen revela semejanzas sorprendentes con el descubrimiento del oxígeno: antes de experimentar con el óxido rojo de mercurio, Lavoisier había realizado experimentos que no produjeron los resultados previstos según el paradigma flogista; el descubrimiento de Roentgen se inició con el reconocimiento de que su pantalla brillaba cuando no debería hacerlo. En ambos casos, la percepción de la anomalía --o sea, un fenómeno para el que el investigador no estaba preparado por su paradigma-- desempeñó un papel esencial en la preparación del camino para la percepción de la novedad. Pero, también en estos dos casos, la percepción de que algo andaba mal fue sólo el prelude del descubrimiento. Ni el oxígeno ni los rayos X surgieron sin un proceso ulterior de experimentación y asimilación. Por ejemplo, ¿en qué momento de la investigación de Roentgen pudiéramos decir que los rayos X fueron realmente descubiertos? En todo caso, no fue al principio, cuando todo lo que el investigador había notado era una pantalla que resplandecía. Por lo menos otro investigador había visto ya ese resplandor y, con la pena consiguiente, no había logrado descubrir nada.

Podemos ver casi con la misma claridad que no podemos desplazar el momento del descubrimiento a un punto determinado durante la última semana de investigación, ya que en ese tiempo, Roentgen estaba explorando las propiedades de la nueva radiación que ya había descubierto. Sólo podemos decir que los rayos X surgieron en Würzburg entre el 8 de noviembre y el 28 de diciembre de 1895.

Sin embargo, en una tercera zona, la existencia de paralelismos importantes entre los descubrimientos del oxígeno y de los rayos X es mucho menos evidente. A diferencia del descubrimiento del oxígeno, el de los rayos X no estuvo implicado, al menos durante una década posterior al suceso, en ningún trastorno evidente de la teoría científica. Entonces, ¿en qué sentido puede decirse que la asimilación de ese descubrimiento haya hecho necesario un cambio del paradigma? Los argumentos para negar un cambio semejante son muy poderosos. Desde luego, los paradigmas aceptados por Roentgen y sus contemporáneos no hubieran podido utilizarse para predecir los rayos X. (La teoría electromagnética de Maxwell no había sido aceptada todavía en todas partes y la teoría particular de los rayos catódicos era sólo una de varias especulaciones corrientes). Pero tampoco prohibían esos paradigmas, al menos en un sentido obvio, la existencia de los rayos X, del modo como la teoría del flogisto había prohibido la interpretación dada por Lavoisier al gas de Priestley. Por el contrario, en 1895 la teoría científica aceptada y la práctica admitían una serie de formas de radiación --visible, infrarroja y ultravioleta. ¿Por qué no habrían podido ser aceptados los rayos X como una forma más de una categoría bien conocida de fenómenos naturales? ¿Por qué no fueron recibidos de la misma forma que, por ejemplo, el descubrimiento de un elemento químico adicional? En la época de Roentgen, se estaban buscando y encontrando todavía nuevos elementos para llenar los vacíos de la tabla periódica. Su búsqueda era un proyecto ordinario de la ciencia normal y el éxito sólo era motivo de felicitaciones, no de sorpresa.

Sin embargo, los rayos X fueron recibidos no sólo con sorpresa sino con conmoción. Al principio, Lord Kelvin los declaró una burla muy elaborada. Otros, aunque no podían poner en duda la evidencia, fueron sacudidos por el descubrimiento. Aunque la teoría establecida no prohibía la existencia de los rayos X, éstos violaban expectativas profundamente arraigadas. Esas expectativas, creo yo, se encontraban implícitas en el diseño y la interpretación de los procedimientos de laboratorio establecidos. Hacia 1890, el equipo de rayos catódicos era empleado ampliamente en numerosos laboratorios europeos. Si el aparato de Roentgen produjo rayos X, entonces otros numerosos experimentadores debieron estar produciendo esos mismos rayos, durante cierto tiempo, sin saberlo. Quizá esos rayos, que pudieran tener también otras fuentes desconocidas, estaban implícitos en un comportamiento previamente explicado sin referencia a ellos. Por lo menos, varios tipos de aparatos que durante mucho tiempo fueron familiares, en el futuro tendrían que ser protegidos con plomo. Los trabajos previamente concluidos sobre proyectos normales tendrían que hacerse nuevamente, debido a que los científicos anteriores no habían reconocido ni controlado una variable importante. En realidad, los rayos X abrieron un nuevo campo y, en esa forma, contribuyeron al caudal potencial de la ciencia normal. Pero, asimismo, y éste es ahora el punto más importante, cambiaron campos que ya existían. En el proceso, negaron a tipos de instrumentación previamente paradigmáticos el derecho a ese título.

En resumen, de manera consciente o no, la decisión de emplear determinado aparato y de usarlo de un modo particular, lleva consigo una suposición de que sólo se presentarán ciertos tipos de circunstancias. Hay expectativas tanto instrumentales como teóricas, y con frecuencia han desempeñado un papel decisivo en el desarrollo científico. Una de esas expectativas es, por ejemplo, parte de la historia del tardío descubrimiento del oxígeno. Utilizando una prueba ordinaria para la bondad del aire, tanto Priestley como Lavoisier mezclaron dos volúmenes de su gas con un volumen de óxido nítrico, sacudieron la mezcla sobre agua y midieron el volumen del residuo gaseoso. La experiencia previa de la que había surgido ese procedimiento ordinario les

aseguró que, con aire atmosférico, el residuo sería un volumen y que para cualquier otro gas (o para el aire contaminado) sería mayor. En los experimentos sobre el oxígeno, ambos descubrieron un residuo cercano a un volumen e identificaron el gas en consecuencia. Sólo mucho más tarde y, en parte, a causa de un accidente, renunció Priestley al procedimiento ordinario y trató de mezclar óxido nítrico con su gas en otras proporciones. Descubrió entonces que con un volumen cuádruple de óxido nítrico casi no quedaba residuo en absoluto. Su fidelidad al procedimiento original de la prueba -- procedimiento sancionado por muchos experimentos previos-- había sido, simultáneamente, una aceptación de la no existencia de gases que pudieran comportarse como lo hizo el oxígeno.

Podrían multiplicarse las ilustraciones de este tipo haciendo referencia, por ejemplo, a la identificación tardía de la fisión del uranio. Una de las razones por las que esa reacción nuclear resultó tan difícil de reconocer fue la de que los hombres que sabían qué podía esperarse del bombardeo del uranio, escogieron pruebas químicas encaminadas principalmente al descubrimiento de elementos situados en el extremo superior de la tabla periódica. ¿Debemos llegar a la conclusión de que la ciencia debería abandonar las pruebas ordinarias y los instrumentos normalizados, por la frecuencia con que esos compromisos instrumentales resultan engañosos? Esto daría como resultado un método inconcebible de investigación. Los procedimientos y las aplicaciones paradigmáticas son tan necesarios a la ciencia como las leyes y las teorías paradigmáticas y tienen los mismos efectos. Inevitablemente, restringen el campo fenomenológico accesible a la investigación científica en cualquier momento dado. Al reconocer esto, podemos ver simultáneamente un sentido esencial en el que un descubrimiento como el de los rayos X hace necesario un cambio del paradigma --y, por consiguiente, un cambio tanto de los procedimientos como de las expectativas-- para una fracción especial de la comunidad científica. Como resultado, de ello, podemos comprender también cómo el descubrimiento de los rayos X pudo parecer que abría un mundo nuevo y extraño a muchos científicos y por tanto pudo participar de manera tan efectiva en la crisis que condujo a la física del siglo XX.

Nuestro último ejemplo de descubrimientos científicos, el de la botella de Leyden, pertenece a una clase que pudiera describirse como inducida por la teoría. Inicialmente, ese término puede parecer paradójico. Gran parte de lo que hemos dicho hasta ahora sugiere que los descubrimientos predichos por la teoría son partes de la ciencia normal y no dan como resultado ningún tipo *nuevo* de hecho. Por ejemplo, me he referido previamente a los descubrimientos de nuevos elementos químicos durante la segunda mitad del siglo XIX como procedentes de la ciencia normal, en esa forma. Pero no todas las teorías pertenecen a paradigmas. Tanto durante los periodos anteriores a los paradigmas como durante las crisis que conducen a cambios en gran escala en los paradigmas, los científicos acostumbran desarrollar muchas teorías especulativas e inarticuladas, que pudieran señalar el camino hacia los descubrimientos. Sin embargo, con frecuencia el descubrimiento que se produce, no corresponde absolutamente al anticipado por las hipótesis especulativas y de tanteo. Sólo cuando el experimento y la teoría de tanteo se articulan de tal modo que coincidan, surge el descubrimiento y la teoría se convierte en paradigma.

El descubrimiento de la botella de Leyden muestra todas esas características, así como también las que hemos visto antes. Cuando se inició, no había un paradigma único para la investigación eléctrica. En lugar de ello, competían una serie de teorías, todas ellas derivadas de fenómenos relativamente accesibles. Ninguna de ellas lograba ordenar muy bien toda la variedad de fenómenos eléctricos. Este fracaso es la fuente de

varias de las anomalías que proporcionaron la base para el descubrimiento de la botella de Leyden. Una de las escuelas competidoras de electricistas consideró a la electricidad un fluido y ese concepto condujo a una serie de científicos a intentar embotellar dicho fluido, sosteniendo en las manos una redoma de cristal llena de agua y tocando ésta con un conductor suspendido de un generador electrostático activo. Al retirar la redoma de la máquina y tocar el agua (o un conductor conectado a ella) con la mano libre, cada uno de esos investigadores experimentaba un fuerte choque. Sin embargo, esos primeros experimentos no proporcionaron a esos investigadores la botella de Leyden. Este instrumento surgió más lentamente y, también en este caso, es imposible decir cuándo se completó el descubrimiento. Los primeros intentos de almacenar fluido eléctrico tuvieron buenos resultados sólo debido a que los investigadores sostenían la redoma en las manos mientras permanecían en pie en el suelo. Los electricistas tenían que aprender todavía que la redoma necesitaba una capa conductora tanto interior como exterior y que el fluido no se almacena realmente en la redoma. El artefacto que llamamos botella de Leyden surgió en algún momento, en el curso de las investigaciones que demostraron a los electricistas lo anterior y que les hicieron descubrir varios otros efectos anómalos. Además, los experimentos que condujeron a su descubrimiento, muchos de ellos llevados a cabo por Franklin, fueron también los que hicieron necesaria la revisión drástica de la teoría del fluido y, de ese modo, proporcionaron el primer paradigma completo para la electricidad.


Hasta un punto mayor o menor (correspondiendo a la continuidad que va de resultados imprevistos al resultado previsto), las características comunes a los tres ejemplos antes citados, son también comunes a todos los descubrimientos de los que surgen nuevos tipos de fenómenos. Esas características incluyen: la percepción previa de la anomalía, la aparición gradual y simultánea del reconocimiento tanto conceptual como de observación y el cambio consiguiente de las categorías y los procedimientos del paradigma, acompañados a menudo por resistencia. Hay incluso pruebas de que esas mismas características están incluidas en la naturaleza del proceso mismo de percepción. En un experimento psicológico, que merece ser conocido mucho mejor fuera de la profesión, Bruner y Postman pidieron a sujetos experimentales que identificaran, en exposiciones breves y controladas, una serie de cartas de la baraja. Muchas de las cartas eran normales, pero algunas habían sido hechas anómalas; por ejemplo: un seis de espadas rojo y un cuatro de corazones negro. Cada etapa experimental estaba constituida por la muestra de una carta única a un sujeto único, en una serie gradualmente aumentada de exposiciones. Después de cada exposición, se le preguntaba al sujeto qué había visto y se concluía el ciclo con dos identificaciones sucesivas correctas.

Incluso en las exposiciones más breves, muchos sujetos identificaron la mayoría de las cartas y, después de un pequeño aumento, todos los sujetos las identificaron todas. Para las cartas normales, esas identificaciones eran habitualmente correctas; pero las cartas anormales fueron identificadas casi siempre, sin asombro o vacilación aparentes, como normales. El cuatro negro de corazones, por ejemplo, podía ser identificado como un cuatro, ya sea de picas o de corazones. Sin ninguna sensación del trastorno, se lo ajustaba inmediatamente a una de las categorías conceptuales preparadas por las experiencias previas. Ni siquiera podría decirse que los sujetos habían visto algo diferente de lo que identificaron. Con un mayor aumento del tiempo de exposición de las cartas anómalas, ciertos sujetos comenzaron a dudar y a dar muestras de que se daban cuenta de la existencia de una anomalía. Por ejemplo, antes el seis de picas rojo, algunos dirían: Es el seis de picas; pero tiene algo extraño, lo negro tiene un reborde

rojo. Un aumento posterior de la exposición daba como resultado más dudas y confusión, hasta que, finalmente, y a veces de manera muy repentina, la mayoría de los sujetos llevaban a cabo la identificación correcta sin vacilaciones. Además, después de hacerlo así con dos o tres de las cartas anómalas, no tenían ya grandes dificultades con las siguientes. Sin embargo, unos cuantos sujetos no fueron capaces en ningún momento de llevar a cabo el ajuste necesario de sus categorías. Incluso a cuarenta veces la exposición media necesaria para reconocer las cartas normales con exactitud, más del 10 por ciento de las cartas anómalas no fueron identificadas correctamente. Y los sujetos que fallaron en esas condiciones mostraron, con frecuencia, un gran desaliento personal. Uno de ellos exclamó: "No puedo hacer la distinción, sea la que fuere. Ni siquiera me pareció ser una carta en esta ocasión; no sé de qué color era ni si se trataba de una pica o de un corazón. Ya ni siquiera estoy seguro de cómo son las picas. ¡Dios mío!" En la sección siguiente, veremos a veces a científicos que también se comportan en esa forma.

Ya sea como metáfora o porque refleja la naturaleza de la mente, este experimento psicológico proporciona un esquema maravillosamente simple y convincente para el proceso del descubrimiento científico. En la ciencia, como en el experimento con las cartas de la baraja, la novedad surge sólo dificultosamente, manifestada por la resistencia, contra el fondo que proporciona lo esperado. Inicialmente, sólo lo previsto y lo habitual se experimenta, incluso en circunstancias en las que más adelante podrá observarse la anomalía. Sin embargo, un mayor conocimiento da como resultado la percepción de algo raro o relaciona el efecto con algo que se haya salido antes de lo usual. Esta percepción de la anomalía abre un periodo en que se ajustan las categorías conceptuales, hasta que lo que era inicialmente anómalo se haya convertido en lo previsto. En ese momento, se habrá completado el descubrimiento. He insistido ya en que ese proceso u otro muy similar se encuentra involucrado en el surgimiento de todas las novedades científicas fundamentales. Ahora señalaré cómo, reconociendo el proceso, podemos comenzar por fin a comprender por qué la ciencia normal, una actividad no dirigida hacia las novedades y que al principio tiende a suprimirlas, puede, no obstante, ser tan efectiva para hacer que surjan.

En el desarrollo de cualquier ciencia, habitualmente se cree que el primer paradigma aceptado explica muy bien la mayor parte de las observaciones y experimentos a que pueden con facilidad tener acceso todos los que practican dicha ciencia. Por consiguiente, un desarrollo ulterior exige, normalmente, la construcción de un equipo complejo, el desarrollo de un vocabulario esotérico y de habilidades, y un refinamiento de los conceptos que se parecen cada vez menos a sus prototipos usuales determinados por el sentido común. Por una parte, esta profesionalización conduce a una inmensa limitación de la visión de los científicos y a una resistencia considerable al cambio del paradigma. La ciencia se hace así cada vez más rígida. Por otra parte, en los campos hacia los que el paradigma dirige la atención del grupo, la ciencia normal conduce a una información tan detallada y a una precisión tal en la coincidencia de la teoría y de la observación como no podrían lograrse de ninguna otra forma. Además, esa minuciosidad y esa precisión de la coincidencia tienen un valor que trasciende su interés intrínseco no siempre muy elevado. Sin el aparato especial que se construye principalmente para funciones previstas, los resultados que conducen eventualmente a la novedad no podrían obtenerse. E incluso cuando existe el aparato, la novedad ordinariamente sólo es aparente para el hombre que, conociendo con precisión lo que puede esperar, está en condiciones de reconocer que algo anómalo ha tenido lugar. La anomalía sólo resalta contra el fondo proporcionado por el paradigma. Cuanto más



preciso sea un paradigma y mayor sea su alcance, tanto más sensible será como indicador de la anomalía y, por consiguiente, de una ocasión para el cambio del paradigma. En la forma normal del descubrimiento, incluso la resistencia al cambio tiene una utilidad que exploraremos más detalladamente en la sección siguiente. Asegurando que no será fácil derrumbar el paradigma, la resistencia garantiza que los científicos no serán distraídos con ligereza y que las anomalías que conducen al cambio del paradigma penetrarán hasta el fondo de los conocimientos existentes. El hecho mismo de que, tan a menudo, una novedad científica importante surja simultáneamente de varios laboratorios es un índice tanto de la poderosa naturaleza tradicional de la ciencia normal como de lo completamente que esta actividad tradicional prepara el camino para su propio cambio.