



Thomas S. Kuhn: *La estructura de las revoluciones científicas*

capítulo V	<u>PRIORIDAD DE LOS PARADIGMAS</u>
capítulo VI.	<u>LA ANOMALÍA Y LA EMERGENCIA DE LOS DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS</u>
capítulo X	<u>LAS REVOLUCIONES COMO CAMBIOS DEL CONCEPTO DEL MUNDO</u>

Thomas S. Kuhn: *La estructura de las revoluciones científicas*

Capítulo V

PRIORIDAD DE LOS PARADIGMAS

Para descubrir la relación existente entre reglas, paradigmas y ciencia normal, tómesese primeramente en consideración cómo aísla el historiador los lugares particulares de compromiso que acabamos de describir como reglas aceptadas. Una investigación histórica profunda de una especialidad dada, en un momento dado, revela un conjunto de ilustraciones recurrentes y casi normalizadas de diversas teorías en sus aplicaciones conceptuales, instrumentales y de observación. Ésos son los paradigmas de la comunidad revelados en sus libros de texto, sus conferencias y sus ejercicios de laboratorio. Estudiándolos y haciendo prácticas con ellos es como aprenden su profesión los miembros de la comunidad correspondiente. Por supuesto, el historiador descubrirá, además, una zona de penumbra ocupada por realizaciones cuyo *status* aún está en duda; pero, habitualmente, el núcleo de técnicas y problemas resueltos estará claro. A pesar de las ambigüedades ocasionales, los paradigmas de una comunidad científica madura pueden determinarse con relativa facilidad.

La determinación de los paradigmas compartidos no es, sin embargo, la determinación de reglas compartidas. Esto exige una segunda etapa, de un tipo algo diferente. Al emprenderla, el historiador deberá comparar los paradigmas de la comunidad unos con otros y con sus informes corrientes de investigación. Al hacerlo así, su objetivo es descubrir qué elementos aislables, explícitos o implícitos, pueden haber *abstraído* los miembros de esa comunidad de sus paradigmas más globales, y empleado como reglas en sus investigaciones. Cualquiera que haya tratado de describir o analizar la evolución de una tradición científica dada, habrá buscado, necesariamente, principios y reglas aceptados de ese tipo. Como lo indica la sección anterior, es casi seguro que haya tenido éxito, al menos de manera parcial. Pero, si su experiencia tiene alguna similitud con la mía, habrá descubierto que la búsqueda de reglas es más difícil y menos satisfactoria que la de paradigmas. Algunas de las generalizaciones que utilice para describir las creencias compartidas por la comunidad, no presentarán problemas. Sin embargo, otras, incluyendo algunas de las utilizadas anteriormente como ilustraciones, mostrarán un matiz demasiado fuerte. Expresadas de ese modo o de cualquier otra forma que pueda imaginarse, es casi seguro que hubieran sido rechazadas por algunos miembros del grupo que se esté estudiando. Sin embargo, para comprender la coherencia de la tradición de investigación en términos de las reglas, se necesitarán ciertas especificaciones de base común en el campo correspondiente. Como resultado de ello, la búsqueda de un cuerpo de reglas pertinentes para constituir una tradición de investigación normal dada, se convierte en una fuente de frustración continua y profunda.

Sin embargo, el reconocimiento de la frustración hace posible diagnosticar su origen. Los científicos pueden estar de acuerdo en que Newton, Lavoisier, Maxwell o Einstein produjeron una solución aparentemente permanente para un grupo de problemas extraordinarios y, no obstante, estar en desacuerdo, a veces sin darse cuenta plenamente de ello, en lo que respecta a las características abstractas particulares que hacen que esas soluciones sean permanentes. O sea, pueden estar de acuerdo en cuanto a su *identificación* de un paradigma sin ponerse de acuerdo o, incluso, sin tratar siquiera de producir, una *interpretación* plena o *racionalización* de él. La falta de una interpretación ordinaria o de una reducción aceptada a reglas, no impedirá que un paradigma dirija las investigaciones. La ciencia normal puede determinarse en parte por medio de la inspección directa de los paradigmas, proceso que frecuentemente resulta más sencillo con la ayuda de reglas y suposiciones, pero que no depende de la formulación de éstas. En realidad, la existencia de un paradigma ni siquiera debe implicar la existencia de algún conjunto completo de reglas.

Inevitablemente, el primer efecto de esos enunciados es el de plantear problemas. A falta de un cuerpo pertinente de reglas, ¿qué es lo que liga al científico a una tradición particular de la ciencia normal? ¿Qué

puede significar la frase 'inspección directa de paradigmas'? El finado Ludwig Wittgenstein dio respuestas parciales a esas preguntas, aunque en un contexto muy diferente. Debido a que este contexto es, a la vez, más elemental y más familiar, será conveniente que examinemos primeramente su forma del argumento. ¿Qué debemos saber, preguntaba Wittgenstein, con el fin de aplicar términos como 'silla', 'hoja' o 'juego' de manera inequívoca y sin provocar discusiones?

Esta pregunta es muy antigua y generalmente se ha respondido a ella diciendo que debemos saber, consciente o intuitivamente, qué *es* una silla, una hoja o un juego. O sea, debemos conocer un conjunto de atributos que todos los juegos tengan en común y sólo ellos. Sin embargo, Wittgenstein llegaba a la conclusión de que, dado el modo en que utilizamos el lenguaje y el tipo de mundo al cual se aplica, no es preciso que haya tal conjunto de características. Aunque un examen de *algunos* de los atributos compartidos por cierto *número* de juegos, sillas u hojas a menudo nos ayuda a aprender cómo emplear el término correspondiente, no existe un conjunto de características que sea aplicable simultáneamente a todos los miembros de la clase y sólo a ellos. En cambio, ante una actividad que no haya sido observada previamente, aplicamos el término 'juego' debido a que lo que vemos tiene un gran "parecido de familia" con una serie de actividades que hemos aprendido a llamar previamente con ese nombre. En resumen, para Wittgenstein, los juegos, las sillas y las hojas son familias naturales, cada una de las cuales está constituida por una red de semejanzas que se superponen y se entrecruzan. La existencia de esa red explica suficientemente el que logremos identificar al objeto o a la actividad correspondientes. Sólo si las familias que nominamos se superponen y se mezclan gradualmente unas con otras --o sea, sólo si no hubiera familias *naturales*--ello proporcionaría nuestro éxito en la identificación y la nominación, una prueba en pro de un conjunto de características comunes, correspondientes a cada uno de los nombres de clases que utilicemos.

Algo muy similar puede ser válido para los diversos problemas y técnicas de investigación que surgen dentro de una única tradición de ciencia normal. Lo que tienen en común no es que satisfagan algún conjunto explícito, o incluso totalmente descubrible, de reglas y suposiciones que da a la tradición su carácter y su vigencia para el pensamiento científico. En lugar de ello pueden relacionarse, por semejanza o por emulación, con alguna parte del cuerpo científico que la comunidad en cuestión reconozca ya como una de sus realizaciones establecidas. Los científicos trabajan a partir de modelos adquiridos por medio de la educación y de la exposición subsiguiente a la literatura, con frecuencia sin conocer del todo o necesitar conocer qué características les han dado a esos modelos su status de paradigmas de la comunidad. Por ello, no necesitan un conjunto completo de reglas. La coherencia mostrada por la tradición de la investigación de la que participan, puede no implicar siquiera la existencia de un cuerpo básico de reglas y suposiciones que pudiera descubrir una investigación filosófica o histórica adicional. El hecho de que los científicos no pregunten o discutan habitualmente lo que hace que un problema particular o una solución sean aceptables, nos inclina a suponer que, al menos intuitivamente, conocen la respuesta. Pero puede indicar sólo que no le parecen importantes para su investigación ni la pregunta ni la respuesta. Los paradigmas pueden ser anteriores, más inflexibles y completos que cualquier conjunto de reglas para la investigación que pudiera abstraerse inequívocamente de ellos.

Hasta ahora, hemos desarrollado este tema desde un punto de vista totalmente teórico: los paradigmas *podrían* determinar la ciencia normal sin intervención de reglas descubribles. Trataré ahora de aumentar tanto su claridad como su apremio, indicando algunas de las razones para creer que los paradigmas funcionan realmente en esa forma. La primera, que ya hemos examinado de manera bastante detallada, es la gran dificultad para descubrir las reglas que han guiado a las tradiciones particulares de la ciencia normal. Esta dificultad es casi la misma que la que encuentra el filósofo cuando trata de explicar qué es lo que tienen en común todos los juegos. La segunda, de la que la primera es realmente un corolario, tiene sus raíces en la naturaleza de la educación científica. Como debe ser obvio ya, los científicos nunca aprenden conceptos, leyes y teorías en abstracto y por sí mismos. En cambio, esas herramientas intelectuales las encuentran desde un principio en una unidad histórica y pedagógicamente anterior que las presenta con sus aplicaciones y a través de ellas. Una nueva teoría se anuncia siempre junto con aplicaciones a cierto rango concreto de fenómenos naturales; sin ellas, ni siquiera podría esperar ser aceptada. Después de su aceptación, esas mismas aplicaciones u otras acompañarán a la teoría en los libros de texto de donde aprenderán su profesión los futuros científicos. No se encuentran allí como mero

adorno, ni siquiera como documentación. Por el contrario, el proceso de aprendizaje de una teoría depende del estudio de sus aplicaciones, incluyendo la práctica en la resolución de problemas, tanto con un lápiz y un papel como con instrumentos en el laboratorio. Por ejemplo, si el estudiante de la dinámica de Newton descubre alguna vez el significado de términos tales como 'fuerza', 'masa', 'espacio' y 'tiempo', lo hace menos a partir de las definiciones incompletas, aunque a veces útiles, de su libro de texto, que por medio de la observación y la participación en la aplicación de esos conceptos a la resolución de problemas.

Ese proceso de aprendizaje por medio del estudio y de la práctica continúa durante todo el proceso de iniciación profesional. Cuando el estudiante progresa de su primer año de estudios hasta la tesis de doctorado y más allá, los problemas que le son asignados van siendo cada vez más complejos y con menos precedentes; pero continúan siguiendo de cerca al modelo de las realizaciones previas, como lo continuarán siguiendo los problemas que normalmente lo ocupen durante su subsiguiente carrera científica independiente. Podemos con toda libertad suponer que en algún momento durante el proceso, el científico intuitivamente ha abstraído reglas del juego para él mismo, pero no hay muchas razones para creer eso. Aunque muchos científicos hablan con facilidad y brillantez sobre ciertas hipótesis individuales que soportan alguna fracción concreta de investigación corriente, son poco mejores que los legos en la materia para caracterizar las bases establecidas de su campo, sus problemas y sus métodos aceptados. Si han aprendido alguna vez esas abstracciones, lo demuestran principalmente por medio de su habilidad para llevar a cabo investigaciones brillantes. Sin embargo, esta habilidad puede comprenderse sin recurrir a hipotéticas reglas del juego.

Estas consecuencias de la educación científica tienen una recíproca que proporciona una tercera razón para suponer que los paradigmas guían la investigación tanto como modelos directos como por medio de reglas abstraídas. La ciencia normal puede seguir adelante sin reglas sólo en tanto la comunidad científica pertinente acepte sin discusión las soluciones de los problemas particulares que ya se hayan llevado a cabo. Por consiguiente, las reglas deben hacerse importantes y desaparecer la despreocupación característica hacia ellas, siempre que se sienta que los paradigmas o modelos son inseguros. Además, es eso lo que sucede exactamente. El periodo anterior al paradigma sobre todo, está marcado regularmente por debates frecuentes y profundos sobre métodos, problemas y normas de soluciones aceptables, aun cuando esas discusiones sirven más para formar escuelas que para producir acuerdos. Ya hemos presentado unos cuantos de esos debates en la óptica y la electricidad y desempeñaron un papel todavía más importante en el desarrollo de la química en el siglo XVII y de la geología en el XIX. Por otra parte, esos debates no desaparecen de una vez por todas cuando surge un paradigma. Aunque casi no existen durante los periodos de ciencia normal, se presentan regularmente poco antes de que se produzcan las revoluciones científicas y en el curso de éstas los periodos en los que los paradigmas primero se ven atacados y más tarde sujetos a cambio. La transición de la mecánica de Newton a la mecánica cuántica provocó muchos debates tanto sobre la naturaleza como sobre las normas de la física, algunos de los cuales continúan todavía en la actualidad. Todavía viven personas que pueden recordar las discusiones similares engendradas por la teoría electromagnética de Maxwell y por la mecánica estadística. Y antes aún, la asimilación de las mecánicas de Galileo y Newton dio lugar a una serie de debates particularmente famosa con los aristotélicos, los cartesianos y los leibnizianos sobre las normas legítimas de la ciencia. Cuando los científicos están en desacuerdo respecto a si los problemas fundamentales de su campo han sido o no resueltos, la búsqueda de reglas adquiere una función que ordinariamente no tiene. Sin embargo, mientras continúan siendo seguros los paradigmas, pueden funcionar sin acuerdo sobre la racionalización o sin ninguna tentativa en absoluto de racionalización.

Podemos concluir esta sección con una cuarta razón para conceder a los paradigmas un status anterior al de las reglas y de los supuestos compartidos. En la introducción a este ensayo se sugiere que puede haber revoluciones tanto grandes como pequeñas, que algunas revoluciones afectan sólo a los miembros de una subespecialidad profesional y que, para esos grupos, incluso el descubrimiento de un fenómeno nuevo e inesperado puede ser revolucionario. En la sección siguiente presentaremos revoluciones seleccionadas de ese tipo y todavía no está muy claro cómo pueden existir. Si la ciencia normal es tan rígida y si las comunidades científicas están tan estrechamente unidas como implica la exposición anterior, ¿cómo es posible que un cambio de paradigma afecte sólo a un pequeño subgrupo? Lo que hasta ahora se ha dicho,

puede haber parecido implicar que la ciencia normal es una empresa única, monolítica y unificada, que debe sostenerse o derrumbarse tanto con cualquiera de sus paradigmas como con todos ellos juntos. Pero evidentemente, la ciencia raramente o nunca es de ese tipo. Con frecuencia, viendo todos los campos al mismo tiempo, parece más bien una estructura desvincijada con muy poca coherencia entre sus diversas partes. Sin embargo, nada de lo dicho hasta este momento debería entrar en conflicto con esa observación tan familiar. Por el contrario, sustituyendo los paradigmas por reglas podremos comprender con mayor facilidad la diversidad de los campos y las especialidades científicas. Las reglas explícitas, cuando existen, son generalmente comunes a un grupo científico .muy amplio; pero no puede decirse lo mismo de los paradigmas. Quienes practican en campos muy separados, por ejemplo, la astronomía y la botánica taxonómica, se educan a través del estudio de logros muy distintos descritos en libros absolutamente diferentes. Incluso los hombres que se encuentran en el mismo campo o en otros campos estrechamente relacionados y que comienzan estudiando muchos de los mismos libros y de los mismos logros pueden, en el curso de su especialización profesional, adquirir paradigmas muy diferentes.

Examinemos, para dar un solo ejemplo, la comunidad amplia y diversa que constituyen todos los científicos físicos. A cada uno de los miembros de ese grupo se le enseñan en la actualidad las leyes de, por ejemplo, la mecánica cuántica, y la mayoría de ellos emplean esas leyes en algún momento de sus investigaciones o su enseñanza. Pero no todos ellos aprenden las mismas aplicaciones de esas leyes y, por consiguiente, no son afectados de la misma forma por los cambios de la mecánica cuántica, en la práctica. En el curso de la especialización profesional, sólo unos cuantos científicos físicos se encuentran con los principios básicos de la mecánica cuántica. Otros estudian detalladamente las aplicaciones del paradigma de esos principios a la química, otros más a la física de los sólidos, etc. Lo que la mecánica cuántica signifique para cada uno de ellos dependerá de los cursos que haya seguido, los libros de texto que haya leído y los periódicos que estudie. De ello se desprende que, aun cuando un cambio de la ley de la mecánica cuántica sea revolucionario para todos esos grupos, un cambio que solo se refleja en alguna de las aplicaciones del paradigma de la mecánica cuántica sólo debe resultar revolucionario para los miembros de una subespecialidad profesional determinada. Para el resto de la profesión y para quienes practican otras ciencias físicas, ese cambio no necesitará ser revolucionario en absoluto. En resumen, aunque la mecánica cuántica (o la dinámica de Newton o la teoría electromagnética) es un paradigma para muchos grupos científicos, no es el mismo paradigma para todos ellos; puede, por consiguiente, determinar simultáneamente varias tradiciones de ciencia normal que, sin ser coextensivas, coinciden. Una revolución producida en el interior de una de esas tradiciones no tendrá que extenderse necesariamente a todas las demás.

Una breve ilustración del efecto de la especialización podría dar a toda esta serie de puntos una fuerza adicional. Un investigador que esperaba aprender algo sobre lo que creían los científicos qué era la teoría atómica, les preguntó a un físico distinguido y a un químico eminente si un átomo simple de helio era o no una molécula. Ambos respondieron sin vacilaciones, pero sus respuestas no fueron idénticas. Para el químico, el átomo de helio era una molécula, puesto que se comportaba como tal con respecto a la teoría cinética de los gases. Por la otra parte, para el físico, el átomo de helio no era una molécula, ya que no desplegaba un espectro molecular. Puede suponerse que ambos hombres estaban hablando de la misma partícula; pero se la representaban a través de la preparación y la práctica de investigación que les era propia. Su experiencia en la resolución de problemas les decía lo que debía ser una molécula. Indudablemente, sus experiencias habían tenido mucho en común; pero, en este caso, no les indicaban exactamente lo mismo a los dos especialistas. Conforme avancemos en el estudio de este tema, iremos descubriendo cuántas consecuencias pueden ocasionalmente tener las diferencias de paradigma de este tipo.

Thomas S. Kuhn: *La estructura de las revoluciones científicas*

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 sí 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 agitadas 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.

Thomas S. Kuhn: *La estructura de las revoluciones científicas*

Capítulo X.

LAS REVOLUCIONES COMO CAMBIOS DEL CONCEPTO DEL MUNDO

Examinando el registro de la investigación pasada, desde la atalaya de la historiografía contemporánea, el historiador de la ciencia puede sentirse tentado a proclamar que cuando cambian los paradigmas, el mundo mismo cambia con ellos. Guiados por un nuevo paradigma, los científicos adoptan nuevos instrumentos y buscan en lugares nuevos. Lo que es todavía más importante, durante las revoluciones los científicos ven cosas nuevas y diferentes al mirar con instrumentos conocidos y en lugares en los que ya habían buscado antes. Es algo así como si la comunidad profesional fuera transportada repentinamente a otro planeta, donde los objetos familiares se ven bajo una luz diferente y, además, se les unen otros objetos desconocidos. Por supuesto, no sucede nada de eso: no hay transplantación geográfica; fuera del laboratorio, la vida cotidiana continúa como antes. Sin embargo, los cambios de paradigmas hacen que los científicos vean el mundo de investigación, que les es propio, de manera diferente. En la medida en que su único acceso para ese mundo se lleva a cabo a través de lo que ven y hacen, podemos desear decir que, después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente.

Las demostraciones conocidas de un cambio en la forma (Gestalt) visual resultan muy sugestivas como prototipos elementales para esas transformaciones del mundo científico. Lo que antes de la revolución eran patos en el mundo del científico, se convierte en conejos después. El hombre que veía antes el exterior de la caja, desde arriba, ve ahora su interior desde abajo. Las transformaciones como éstas, aunque habitualmente más graduales, y casi siempre irreversibles, son acompañantes comunes de la preparación de los científicos. Al mirar el contorno de un mapa, el estudiante ve líneas sobre un papel, mientras que el cartógrafo ve una fotografía de un terreno. Al examinar una fotografía de cámara de burbujas, el estudiante ve líneas interrumpidas que se confunden, mientras que el físico ve un registro de sucesos subnucleares que le son familiares. Sólo después de cierto número de esas transformaciones de la visión, el estudiante se convierte en habitante del mundo de los científicos, ve lo que ven los científicos y responde en la misma forma que ellos.

Sin embargo, el mundo al que entonces penetra el estudiante no queda fijo de una vez por todas, por una parte, por la naturaleza del medio ambiente y de la ciencia, por la otra. Más bien, es conjuntamente determinado por el medio ambiente y por la tradición particular de la ciencia normal que el estudiante se ha preparado a seguir. Por consiguiente, en tiempos de revolución, cuando la tradición científica normal cambia, la percepción que el científico tiene de su medio ambiente debe ser reeducada, en algunas situaciones en las que se ha familiarizado, debe aprender a ver una forma (Gestalt) nueva. Después de que lo haga, el mundo de sus investigaciones parecerá, en algunos aspectos, incomparable con el que habitaba antes. Ésa es otra de las razones por las que las escuelas guiadas por paradigmas diferentes se encuentran siempre, ligeramente, en pugna involuntaria.

Por supuesto, en su forma más usual, los experimentos de forma (Gestalt) ilustran sólo la naturaleza de las transformaciones perceptuales.

No nos indican nada sobre el papel desempeñado por los paradigmas o el de las experiencias previamente asimiladas en el proceso de percepción. Pero sobre ese punto existe un caudal importante de literatura psicológica, gran parte de la cual procede de los trabajos pioneros del Hánover Institute. Un sujeto experimental que se pone anteojos ajustados con lentes inversos verá inicialmente todo el mundo cabeza abajo. Al principio, este cuadro de percepción funciona como si hubiera sido preparado para que funcionara a falta de lentes y el resultado es una gran desorientación y una crisis personal aguda. Pero

después de que el sujeto ha comenzado a aprender a conducirse en su nuevo mundo, todo su campo visual se transforma, habitualmente después de un periodo intermedio en el que la visión resulta simplemente confusa. Después, los objetos pueden nuevamente verse como antes de utilizar los lentes. La asimilación de un campo de visión previamente anómalo ha reaccionado sobre el campo mismo, haciéndolo cambiar. Tanto literal como metafóricamente, el hombre acostumbrado a los lentes inversos habrá sufrido una transformación revolucionaria de la visión. para.

Los sujetos del experimento de las cartas anómalas de la baraja, que vimos en la sección VI, sufrieron una transformación muy similar. Hasta que aprendieron, por medio de una prolongada exposición, que el Universo contenía cartas anómalas, vieron sólo los tipos de cartas para los que experiencias previas los habían preparado. Sin embargo, una vez que la experiencia les proporcionó las categorías complementarias necesarias, fueron capaces de ver todas las cartas anómalas durante una primera inspección suficientemente larga como para permitir cualquier identificación. Otros experimentos han demostrado que el tamaño, el color, etc., percibidos en objetos experimentalmente exhibidos, varían también de acuerdo con la, preparación y el adiestramiento previos de los sujetos.

Al examinar la rica literatura experimental de que hemos extraído esos ejemplos, podemos llegar a sospechar que es necesario algo similar a un paradigma como requisito previo para la percepción misma. Lo que ve un hombre depende tanto de lo que mira como de lo que su experiencia visual y conceptual previa lo ha preparado a ver. En ausencia de esa preparación sólo puede haber, en opinión de William James, "una confusión floreciente y zumbante" ("a bloomin' buzzin' confusion").

En los últimos años, varios de los eruditos interesados en la historia de la ciencia han considerado los tipos de experimentos descritos antes como muy sugestivos. En particular, N. R. Hanson ha utilizado demostraciones de forma (Gestalt) para elaborar algunas de las mismas consecuencias de las creencias científicas que me ocupan en este ensayo. Otros colegas han hecho notar repetidamente que la historia de la ciencia tendría un sentido más claro y coherente si se pudiera suponer que los científicos experimentan, a veces, cambios de percepción como los que acabamos de describir. Sin embargo, aun cuando los experimentos psicológicos son sugestivos, no pueden ser más que eso, dada la naturaleza del caso. Muestran características de percepción que podrían ser cruciales para el desarrollo científico; pero no demuestran que: la observación cuidadosa y controlada de los científicos investigadores comparta en absoluto esas características. Además, la naturaleza misma de esos experimentos hace que resulte imposible cualquier demostración directa de ese punto. Para que el ejemplo histórico pueda hacer que esos experimentos psicológicos parezcan ser importantes, deberemos anotar primeramente los tipos de pruebas que podemos esperar que nos proporcione la historia y los que no podremos encontrar en ella.

El sujeto de una demostración de forma (Gestalt) sabe que su percepción ha cambiado debido a que puede cambiarla en ambos sentidos repetidamente, mientras sostiene el mismo libro o la misma hoja de papel en la mano. Dándose cuenta de que no hay nada en su medio ambiente que haya cambiado, dirige cada vez más su atención no a la figura (pato o conejo) sino a las líneas del papel que está observando. Finalmente, puede aprender incluso a ver esas líneas, sin ver ninguna de las figuras y puede decir (lo que no hubiera podido decir legítimamente antes) que lo que ve realmente son esas líneas; pero que, alternativamente, las ve como un pato y como un conejo. Por el mismo motivo, el sujeto del experimento de cartas anómalas sabe (o, más exactamente, puede ser persuadido de) que su percepción debe haber cambiado porque una autoridad externa, el experimentador, le asegura que, a pesar de lo que haya visto, estuvo mirando siempre un cinco de corazones negro. En esos dos casos, como en todos los experimentos psicológicos similares, la efectividad de la demostración depende de si se analiza de ese modo o no. A menos que exista un patrón externo con respecto al que pueda demostrarse un cambio de visión, no podrá sacarse ninguna conclusión sobre posibilidades alternativas de percepción.

Sin embargo, sin observación científica la situación es exactamente la inversa. El científico no puede tener ningún recurso por encima o más allá de lo que ve con sus ojos y sus instrumentos. Si hubiera alguna autoridad más elevada, recurriendo a la cual pudiera demostrarse que su visión había cambiado, esa autoridad se convertiría ella misma en la fuente de ese dato y el comportamiento de su visión podría convertirse en fuente de problemas (como lo es para el psicólogo la del sujeto experimental). Se

presentarían los mismos tipos de problemas si el científico avanzara y retrocediera como el sujeto de los experimentos de forma (Gestalt). El periodo durante el que la luz era "a veces una onda y a veces una partícula" fue un periodo de crisis --un periodo en que algo iba mal-- y concluyó sólo con el desarrollo de la mecánica ondulatorio y la comprensión de que la luz era una entidad consistente en sí misma y diferente tanto de las ondas como de las partículas.

Por consiguiente, en las ciencias, si los cambios perceptuales acompañan a los de paradigma, no podremos esperar que los científicos atestigüen directamente sobre esos cambios. Al mirar a la Luna, el convertido a la teoría de Copérnico no dice: "Antes veía un planeta, pero ahora veo un satélite". Esta frase implicaría un sentido en el que el sistema de Tolomeo hubiera sido correcto alguna vez. En cambio, alguien que se haya convertido a la nueva astronomía dice: "Antes creía que la Luna era un planeta (o la veía como tal); pero estaba equivocado". Este tipo de enunciado vuelve a presentarse en el periodo inmediatamente posterior a las revoluciones científicas. Si oculta ordinariamente un cambio de visión científica o alguna otra transformación mental que tenga el mismo efecto, no podremos, esperar un testimonio directo sobre ese cambio. Más bien, deberemos buscar evidencia indirecta y de comportamiento de que el científico que dispone de un nuevo paradigma ve de manera diferente a como lo hacía antes.

Regresemos ahora a los datos y preguntémonos qué tipos de transformaciones del mundo científico puede descubrir el historiador que crea en esos cambios. El descubrimiento de Urano por Sir William Herschel proporciona un primer ejemplo que es muy similar al experimento de las cartas anómalas. Al menos en diecisiete ocasiones diferentes, entre 1690 y 1781, una serie de astrónomos, incluyendo a varios de los observadores más eminentes de Europa, vieron una estrella en posiciones que suponemos actualmente que debía ocupar entonces, Uranop. Uno de los mejores observadores de dicho grupo vio realmente la estrella durante cuatro noches sucesivas, en 1769, sin notar el movimiento que podía haber sugerido otra identificación. Herschel, cuando observó por primera vez el mismo objeto, doce años más tarde, lo hizo con un telescopio perfeccionado, de su propia fabricación. Como resultado de ello, pudo notar un tamaño aparente del disco que era, cuando menos, muy poco usual para las estrellas. Había en ello algo raro y, por consiguiente, aplazó la identificación hasta llevar a cabo un examen más detenido. Ese examen mostró el movimiento de Urano entre las estrellas y, como consecuencia, Herschel anunció que había visto un nuevo cometa. Sólo al cabo de varios meses, después de varias tentativas infructuosas para ajustar el movimiento observado a una órbita de cometa, Lexell sugirió que la órbita era probablemente planetaria. Cuando se aceptó esa sugestión, hubo varias estrellas menos y un planeta más en el mundo de los astrónomos profesionales. Un cuerpo celeste que había sido observado varias veces, durante casi un siglo, era visto diferentemente a partir de 1781 debido a que; como una de las cartas anómalas, no podía ajustarse ya a las categorías perceptuales (estrella o cometa) proporcionadas por el paradigma que había prevalecido antes. El cambio de visión que permitió a los astrónomos ver a Urano como planeta no parece, no obstante, haber afectado sólo la percepción de ese objeto previamente observado. Sus consecuencias fueron mucho más lejos.

Probablemente, aunque las pruebas son engañosas, el cambio menor de paradigma que produjo Herschel contribuyó a preparar a los astrónomos para el descubrimiento rápido, después de 1801, de numerosos planetas menores o asteroides. A causa de su tamaño pequeño, los asteroides no mostraban el aumento anómalo que había alertado a Herschel. Sin embargo, los astrónomos preparados para ver planetas adicionales fueron capaces, con instrumentos ordinarios, de identificar veinte de ellos durante los primeros cincuenta años del siglo XIX. La historia de la astronomía proporciona muchos otros ejemplos de cambios inducidos por los paradigmas en la percepción científica, algunos de ellos incluso menos equívocos. Por ejemplo, ¿es concebible que fuera un accidente el que los astrónomos occidentales vieran por primera vez cambios en el firmamento, que antes había sido considerado como inmutable, durante el medio siglo que siguió a la primera proposición del paradigma de Copérnico? Los chinos, cuyas creencias cosmológicas no excluían el cambio celeste, habían registrado en fecha muy anterior la aparición de muchas estrellas nuevas en el firmamento. Asimismo, incluso sin ayuda de telescopios, los chinos habían registrado sistemáticamente la aparición de manchas solares, siglos antes de que fueran observadas por Galileo y sus contemporáneos. Tampoco fueron las manchas solares y una nueva estrella los únicos ejemplos de cambios celestes que surgieron en el firmamento de los astrónomos occidentales, inmediatamente después de Copérnico. Utilizando instrumentos tradicionales, algunos tan simples como

un pedazo de hilo, los astrónomos de fines del siglo XVI descubrieron repetidamente que los cometas se desplazan libremente por el espacio reservado previamente a los planetas y a las estrellas fijas. La facilidad y la rapidez mismas con que los astrónomos vieron cosas nuevas al observar objetos antiguos con instrumentos antiguos puede hacernos desear decir que, desde Copérnico, los astrónomos vivieron en un mundo diferente. En todo caso, sus investigaciones dieron resultados como si ése fuera el caso. Seleccionamos los ejemplos anteriores de la astronomía, debido a que los informes sobre las observaciones celestes se hacen, frecuentemente, en un vocabulario que consiste relativamente en términos puramente observacionales. Sólo en esos informes podemos esperar hallar algo semejante a un paralelismo pleno entre las observaciones de los científicos y las de los sujetos experimentales de los psicólogos. Pero no es necesario insistir en un paralelismo tan completo y podremos obtener mucho si flexibilizamos nuestro patrón. Si nos contentamos con el uso cotidiano del verbo 'ver', podremos rápidamente reconocer que ya hemos encontrado muchos otros ejemplos de los cambios en la percepción científica que acompañan al cambio de paradigma. El uso extendido de 'percepción', y de 'ver' requerirá pronto una defensa explícita; pero, primeramente, ilustraré su aplicación en la práctica.

Volvamos a ver, durante un momento, dos de nuestros ejemplos anteriores, sacados de la historia de la electricidad. Durante el siglo XVII, cuando sus investigaciones eran guiadas por alguna de las teorías de los efluvios, los electricistas vieron repetidamente limaduras o granzas que rebotaban o caían de los cuerpos eléctricos que las habían atraído. Al menos, eso es lo que los observadores del siglo XVII decían que veían y no tenemos más motivos para poner en duda sus informes de percepción que los nuestros. Colocados ante los mismos aparatos, los observadores modernos verían una repulsión electrostática (más que un rebote mecánico o gravitacional), pero históricamente, con una excepción pasada por alto universalmente, la repulsión electrostática no fue vista como tal hasta que el aparato en gran escala de Hauksbee aumentó mucho sus efectos. Sin embargo, la repulsión, después de la electrificación de contacto, fue sólo uno de los muchos efectos de repulsión que vio Háuksbee. A través de sus investigaciones, la repulsión repentinamente se convirtió, más bien, como en un cambio de forma (Gestalt), en la manifestación fundamental, de la electrificación y, entonces, fue preciso explicar la atracción. Los fenómenos eléctricos visibles a comienzos del siglo XVIII fueron más sutiles y variados que los vistos por los observadores del siglo XVII. O también, después de la asimilación del paradigma de Franklin, el electricista que miraba una botella de Leyden vio algo diferente de lo que había visto antes. El instrumento se había convertido en un condensador, que no necesitaba ni la forma de botella ni ser de cristal. En lugar de ello, los dos recubrimientos conductores --uno de los cuales no había formado parte del instrumento original-- se hicieron prominentes. Como atestiguan tanto las exposiciones escritas como las representaciones pictóricas, de manera gradual dos placas metálicas, con un cuerpo no conductor entre ellas, se había convertido en el prototipo de la clase. Simultáneamente, otros efectos de inducción recibieron nuevas descripciones y otros más fueron notados por primera vez.

Los cambios de este tipo no son exclusivos de la astronomía y la electricidad. Ya hemos hecho notar algunas de las transformaciones similares de la visión que pueden sacarse de la historia de la química. Como dijimos, Lavoisier vio oxígeno donde Priestley había visto aire deflogistizado y donde otros no habían visto nada en absoluto. Sin embargo, al aprender a ver oxígeno, Lavoisier tuvo que modificar también su visión de otras sustancias más conocidas. Por ejemplo, vio un mineral compuesto donde Priestley y sus contemporáneos habían visto una tierra elemental y había, además, otros varios cambios. Cuando menos, como resultado de su descubrimiento del oxígeno, Lavoisier vio a la naturaleza de manera diferente. Y a falta de algún recurso a esa naturaleza fija e hipotética que "veía diferentemente", el principio de economía nos exigirá decir que, después de descubrir el oxígeno, Lavoisier trabajó en un mundo diferente.

Me preguntaré en breve si existe la posibilidad de evitar esa extraña frase; pero, antes, necesitamos un ejemplo más de su uso, derivado de una de las partes mejor conocidas del trabajo de Galileo. Desde la Antigüedad más remota, la mayoría de las personas han visto algún objeto pesado balanceándose al extremo de una cuerda, o cadena hasta que finalmente queda en reposo. Para los aristotélicos, que creían que un cuerpo pesado se desplazaba por su propia naturaleza de una posición superior a una más baja hasta llegar a un estado de reposo natural., el cuerpo que se balanceaba simplemente estaba cayendo con dificultad. Sujeto a la cadena, sólo podía quedar en reposo en su posición más baja, después de un

movimiento tortuoso y de un tiempo considerable. Galileo, por otra parte, al observar el cuerpo que se balanceaba, vio un péndulo, un cuerpo que casi lograba repetir el mismo movimiento, una y otra vez, hasta el infinito. Y después de ver esto, Galileo observó también otras propiedades del péndulo y construyó muchas de las partes más importantes y originales de su nueva dinámica, de acuerdo con esas propiedades. Por ejemplo, de las propiedades del péndulo, Galileo dedujo sus únicos argumentos completos y exactos para la relación entre el peso vertical y la velocidad final de los movimientos descendentes sobre un plano inclinado. Todos esos fenómenos naturales los vio diferentemente de como habían sido vistos antes.

¿Por qué tuvo lugar ese cambio de visión? Por supuesto, gracias al genio individual de Galileo. Pero nótese que el genio no se manifiesta en este caso como observación más exacta u objetiva del cuerpo oscilante. De manera descriptiva, la percepción aristotélica tiene la misma exactitud. Cuando Galileo informó que el periodo del péndulo era independiente de la amplitud, para amplitudes de hasta 90°, su imagen del péndulo lo llevó a ver en él una regularidad mucho mayor que la que podemos descubrir en la actualidad en dicho péndulo. Más bien, lo que parece haber estado involucrado es la explotación por el genio de las posibilidades perceptuales disponibles, debido a un cambio del paradigma medieval. Galileo no había recibido una instrucción totalmente aristotélica. Por el contrario, había sido preparado para analizar los movimientos, de acuerdo con la teoría del ímpetu, un paradigma del final de la Edad Media, que sostenía que el movimiento continuo de un cuerpo pesado se debía a un poder interno, implantado en él por el impulsor que inició su movimiento. Jean Buridan y Nicole Oresme, los escolásticos del siglo XIV que llevaron la teoría del ímpetu a sus formulaciones más perfectas, son los primeros hombres de quienes se sabe que vieron en los movimientos de oscilación una parte de lo que vio en ellos Galileo.

Buridan describe el movimiento de una cuerda que vibra como aquel en el que el ímpetu es implantado primeramente cuando se golpea la cuerda; ese ímpetu se consume al desplazarse la cuerda en contra de la resistencia ofrecida por su tensión; a continuación, la tensión lleva a la cuerda hacia atrás, implantando un ímpetu creciente hasta alcanzar el punto medio del movimiento; después de ello, el ímpetu desplaza a la cuerda en sentido contrario, otra vez contra la tensión de la cuerda, y así sucesivamente en un proceso simétrico que puede continuar indefinidamente. Más avanzado el siglo, Oresme bosquejó un análisis similar de la piedra que se balancea, en lo que ahora aparece como la primera discusión sobre un péndulo. De manera clara, su opinión se encuentra muy cerca de la que tuvo Galileo cuando abordó por primera vez el estudio del péndulo. Al menos, en el caso de Oresme y casi seguro que también en el de Galileo, fue una visión hecha posible por la transición del paradigma aristotélico original al paradigma escolástico del ímpetu para el movimiento. Hasta que se inventó ese paradigma escolástico no hubo péndulo, sino solamente piedras oscilantes, para que pudiera verlas el científico. Los péndulos comenzaron a existir gracias a algo muy similar al cambio de forma (Gestalt) provocado por un paradigma.