

# La estructura de las revoluciones científicas

Thomas S. KUHN

## 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 trasplante geográfico; 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 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 medioambiente 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 principi6, 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 an6malo ha reaccionado sobre el campo mismo, haciéndolo cambiar. Tanto literal como metaf6ricamente, el hombre acostumbrado a los lentes inversos habrá sufrido una transformación revolucionaria de la visión. para.

Los sujetos del experimento de las cartas an6malas 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 an6malas, vieron sólo los tipos de cartas para los que experiencias previas los habían preparado. Sin embargo, una vez que la experiencia les proporcion6 las categorías complementarias necesarias, fueron capaces de ver todas las cartas an6malas 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 sí 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 con 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, Urano. 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 más 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, después de 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. Sí 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 clases 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  $90^\circ$ , 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

podiera verlas el científico. Los péndulos comenzaron a existir gracias a algo muy similar al cambio de forma (Gestalt) provocado por un paradigma.

