



Fotografía y conocimiento

La fotografía y la ciencia.
Desde los orígenes hasta 1927

José Cuevas Martín

UCM

EDITORIAL
COMPLUTENSE

Queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.

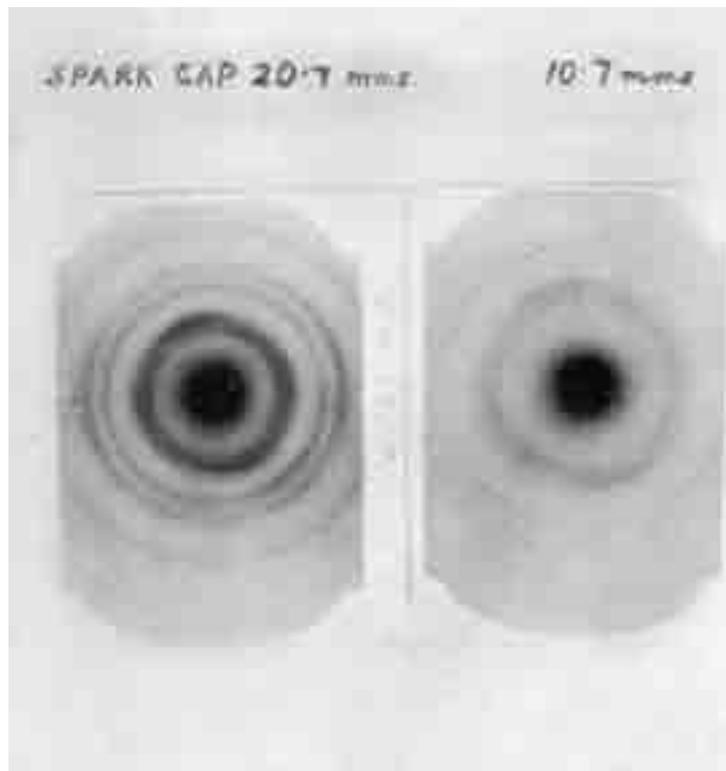
© 2007 by José Cuevas Martín
© 2007 by Editorial Complutense, S. A.
Donoso Cortés, 63 – 4. planta (28015) Madrid
Tels.: 91 394 64 60/1 Fax: 91 394 64 58
e-mail: ecsa@rect.ucm.es
www.editorialcomplutense.com

Primera edición: noviembre 2007

ISBN: 978-84-7491-833-5

Fotografía y conocimiento.

**La fotografía y la ciencia.
Desde los orígenes hasta 1927.**



José Cuevas Martín.

Después de terminar esta película¹ comprendí que las posibilidades de hacer cine acababan de abrirse para mí. Mi encuentro con la ciencia potenció mi creencia en el arte. Hoy estoy firmemente convencido de que estas dos vías de la percepción humana tienen una conexión más estrecha de lo que mucha gente piensa.

After finishing this film I understood that the possibilities of filming just have started to open up to me. My meeting with science strengthened my belief in art. Today I'm firmly convinced that these two ways of human perception are much closer connected than many people think.

Vsevolod Pudovkin, 1951

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a todos los que me han ayudado con este libro² . Muchos lo han hecho sin ellos mismos saberlo; otros, no es necesario que sean mencionados; entre aquellos que han estado más estrechamente relacionados con el mismo, me siento debido de forma especial a Jaime Barroso por su continuo apoyo y asesoramiento; a María Manso y Marta Sanz por su gentil ayuda en las labores de documentación; a Fermín Beloqui, José Luis Balbuena y Alfonso Guigó por su didáctica de la física; a Manuel Sierra por su ayuda en matemáticas; a José Luis Carles y Pablo Sorozabal por sus consejos de música; a Begoña Manso por sus brillantes observaciones acerca de la historia del arte; a Alfonso Calvo por nuestras charlas de laboratorio; a Nel Avia, por la corrección de estilo, edición de texto y por sus consejos de buen amigo; y a Laurence Heglar, por esa cita de Pudovkin tan llena de acierto y sabiduría.

INDICE

Introducción	9
--------------------	---

Parte I.

La fotografía antes de la fotografía

Capítulo 1. Los principios: observación y especulación en el mundo antiguo	13
1.1. El gnomon y la sombra	13
1.2. La ciencia en el mundo antiguo	13
1.3. La llegada de los átomos	20
1.4. El hombre áureo	22
1.5. Alejandría, cruce de caminos entre civilizaciones	28
1.6. El jardín de Epicuro	30
Capítulo 2. Los primeros indicios	35
2.1. Introducción	35
2.2. Óptica y mecánica en la antigüedad: el legado de China	35
2.3. El legado del Islam	39
2.4. El resurgir de la cultura europea	43
Capítulo 3. La ciencia moderna	47
3.1. La perspectiva	48
3.2. La perspectiva y el Renacimiento	53
3.3. El método científico	62
3.4. El Novum Organum	67
3.5. La ciencia moderna	70
3.6. El poder de la razón	71
3.7. Razón y experiencia	76
3.8. El siglo de las luces	78

Parte II.

La era de la fotografía

Capítulo 4. La aparición de la fotografía	89
4.1. La fotografía y el fin de la filosofía clásica alemana	100

Capítulo 5. La fotografía en acción	113
5.1. Introducción	113
5.1. La fotografía de los espectros	116
5.2. Fotografiar lo recóndito. La fotografía astronómica	127
5.3. El fantasma del éter	138
Capítulo 6. La fotografía de lo diminuto	145
6.1. Introducción	145
6.2. La Fotomicrografía	149
6.3. La <i>Nueva Fotografía</i> : los rayos X	158
6.4. La difracción de los rayos X	165
6.5. Los rayos positivos y el espectrógrafo de masas.	167
6.6. La Radioactividad	169
6.7. La cámara de niebla	174
6.8. Los rayos cósmicos	179
Capítulo 7. El estudio del movimiento	185
7.1. Introducción	185
7.2. La cronofotografía	188
7.3. El cinematógrafo	199
Capítulo 8. Fin de camino	205
Capítulo 9. Algunas consideraciones finales	219
Bibliografía	229
Notas de pie de página	237
Fuentes de las ilustraciones	255

Introducción

La mayoría de las historias de la fotografía³, sorprendentemente, sólo dedican algunas hojas, o, a lo sumo, algún capítulo breve, a la aplicación científica de este medio de reproducción técnica. Es como si la fotografía sólo existiera en su vertiente artística o documental. Si últimamente se dedica un espacio mayor a este tipo de fotografía no es porque se atienda a su significado científico o a su condición técnica, sino, más bien, porque se le otorga el valor de una forma de arte espontánea, o por ver en sus resultados una azarosa belleza⁴. El arte sigue apropiándose de los frutos y del protagonismo que le provee esta joven tecnología. Ciertamente es que sus orígenes -los de la fotografía- se asocian al esfuerzo de aprendices de pintor por esquivar o aliviar la ardua tarea de conseguir la copia realista de la naturaleza o de los modelos a retratar, pero no se puede olvidar que la fotografía es una tecnología y, como tal, es criatura de lo científico; más concretamente, de la Óptica, la Mecánica, la Química, y más recientemente de la electrónica; o lo que es lo mismo, de las lentes, las cámaras, las emulsiones y los sensores; y que su origen y desarrollo se sustentan en estos pilares. ¿Cómo comprender entonces esta ausencia? O mejor ¿cómo se entiende este distanciamiento y este volverse la espalda de estas dos formas del conocimiento y de la expresión humanas? No deja de sorprender tal abismo y tanta indiferencia; y más aún, que este hecho acontezca en el seno de una técnica que ha sido la causante de una revolución sin precedentes en los fundamentos tanto de la ciencia como del arte modernos.

Y es precisamente a partir de esta sorpresa, acompañada de cierta sospecha o intuición por lo sucedido, de donde ha surgido el verdadero objetivo de estas páginas: la relación entre fotografía y conocimiento. Pues indagar en la utilización de la fotografía por la ciencia conduce indefectiblemente a ahondar en las bases del conocimiento humano, en sus límites, en su potencial y, consecuentemente, a asistir de nuevo a las milenarias pugnas dialécticas entre razón y sensación, entre causalidad e indeterminación, entre inducción e hipótesis, entre lo experimental y lo metafísico. No podemos olvidar que es la observación y el sentido de la vista uno de los fundamentos de la experiencia y del conocer humano, y que es la fotografía la que viene a confirmar y a registrar la información que alimenta esta fuente sensorial. La plasmación de las luces y las sombras en un soporte físico se convierte en una constatación y en una prueba de lo que vemos. Por primera vez en la historia de la humanidad la realidad queda cristalizada, guardada y disponible para su estudio, por lo que la observación deja de depender del dibujo, las anotaciones o el recuerdo. La fotografía es materialización y medida de los fenómenos naturales; de aquí, que hablar de fotografía en la ciencia sea hablar de epistemología. *Ver para creer* es un dicho popular que nos recuerda esta visión de los acontecimientos.

Una hipótesis de partida nace, por tanto, de la presunción de que existe una relación directa entre la fotografía y el conocimiento científico de nuestra era; o en otras palabras, de que la esencia y los productos de la fotografía inciden y son determinantes en la creación de la ciencia que nos rodea. Y lo que hace que esta afirmación vaya más lejos de lo que puede parecer evidente, es el énfasis que se quiere poner en este juicio. El protagonismo de este medio de reproducción técnica está muy por encima de otros inventos y adelantos de la

época también determinantes en el adelanto científico, en la medida en que se constituye en una prolongación del sentido humano más afín y ligado al conocimiento, esto es, la vista. La reproducción técnica de la imagen no tiene parangón en la historia de la cultura y del conocimiento, si exceptuamos la aparición de la imprenta, unos siglos antes. De aquí que nuestra aproximación a este hecho, exija un planteamiento multidisciplinar, en el que ciencia, historia y filosofía vayan de la mano; porque si la fotografía afecta a la ciencia, también afecta a la tecnología, a la filosofía, al arte y a la cultura en general.

En esta ocasión, sin embargo, nos olvidaremos de esta última acepción; por el momento dejaremos a un lado la fotografía que todos conocemos: la artística, documental y doméstica. Tendremos presente en nuestra mente, eso sí, por un obligado paralelismo, a todos aquellos maestros de la fotografía que coinciden con la época de esta investigación: Nadar, Hines, Atget, Sanders, etc., en definitiva todas las grandes figuras que conforman parte de las historias *incompletas* arriba mencionadas. Pues conocemos bien este tipo de fotografía, que se debate entre lo formativo y el documento; desde aquella anónima, a aquella otra profesional, que el tiempo se está encargando de rescatar para la historia del arte. La fotografía ha logrado edificar un gran mosaico iconográfico que va creciendo sin descanso desde su nacimiento. Un mural que ha sido construido por los fotógrafos al uso y por los cientos y miles de ciudadanos que tienen una cámara entre sus manos. Entre todos ellos han levantado esta gran obra colectiva, mitad arte, mitad historia, fruto de un acercamiento de las masas a la cultura, que ha sido posible a su vez por la proliferación de los medios de reproducción técnica de los últimos tiempos, entre ellos, la propia fotografía.

De este modo, la presencia de los elementos artísticos y documentales de este medio será ineludible cuando comencemos su estudio en la ciencia, pero los grandes hitos y los autores más señalados de la fotografía convencional serán tan sólo convidados de piedra en este largo periplo por los átomos y las estrellas. Lo que no se podrá obviar será un acercamiento multidisciplinar a los hechos, una visión integral del medio fotográfico; al fin y al cabo, ambas visiones y aplicaciones no pueden ser tan distantes. Como tampoco se podrá evitar recapacitar, una y otra vez, en el paralelismo entre arte y ciencia que la fotografía nos evoca constantemente en los dos últimos siglos. Además, será obligado atender al contexto social y económico de los descubrimientos, así como a la relación de la tecnología de la imagen con la cultura en todas sus facetas, desde el arte a la literatura, desde los movimientos sociales a las ideologías, etc., porque la fotografía -al igual que la imprenta, trescientos años antes- no sólo es hija de un momento histórico, sino que su aparición ha supuesto, a un mismo tiempo, un cambio cultural que ha afectado a todas las parcelas de la vida humana.

Al perseguir esta visión integradora del medio fotográfico se parte, pues, de una premonición que nace de la constatación de una ausencia: de la escasa atención proporcionada a la ciencia en las historias de la fotografía; pero, también, de la vivencia de una escisión, de la sensación de un desequilibrio: el producido por la separación abismal de nuestros días entre arte y ciencia. Curiosamente, las primeras pesquisas nos encaminan hacia un punto en común, que afecta tanto a un tipo de fotografía como a otro: el estudio de la relación de la fotografía con la epistemología, área del saber dedicada a dilucidar nuestro

modo de conocer el mundo. Imagen técnica y epistemología son conceptos que afectan tanto a la fotografía artística, como a la documental y la científica. De hecho, es difícil posicionarse para encuadrar una u otra; las fronteras entre sus producciones se desvanecen, cuestionándose incluso la función de cada una de ellas, surgiendo incluso la duda de si no será la propia fotografía la que está convulsionando los modelos interpretativos vigentes. El arduo trabajo que se nos presenta necesita, pues, de un método.

Y en esta labor, la historia parece llamar a la historia. Independientemente de que estemos obligados a acudir a ella cada vez que emprendemos trabajos de investigación o intentamos interpretar el presente, en esta ocasión será imprescindible. La primera meta impuesta, por tanto, ha sido llevar a cabo un recuento histórico de los hechos relacionados con la aplicación científica de la fotografía. Y el periodo elegido ha sido principalmente el que parte de los orígenes de la fotografía hacia el año 1826, hasta 1927; esto es, un siglo que se extiende desde los primeros momentos de expectación suscitados por este nuevo invento, pasando por hechos de especial trascendencia, como fueron el azaroso descubrimiento de la radiactividad y de los rayos X, hasta llegar a la formulación del Principio de Indeterminación, por Werner Heisenberg, y al nacimiento de la imagen electrónica. Ni que decir tiene que esta franja temporal se dilatará en ambos sentidos para obtener una visión global e histórica de los acontecimientos que aquí se retratan. Así, será preciso retrotraerse exhaustivamente a la fotografía antes incluso de la fotografía, a la aparición de los elementos prefotográficos que han ido apareciendo desde la antigüedad; y, en sentido inverso, avanzar hasta mediados del siglo veinte, al menos hasta contemplar las consecuencias que las investigaciones atómicas tuvieron en la segunda gran guerra. ¿Por qué ir tan lejos? En un sentido, por entender que la invención de la fotografía no se produce exclusivamente con la aparición de las primeras emulsiones y la plasmación de las primeras imágenes en soportes físicos, sino que su origen se debe buscar más allá: en los primeros resultados científicos a partir de la observación, en la cámara oscura y en las primeras lentes, y en todos aquellos hechos que establecen los fundamentos teóricos y técnicos del medio. Y en el opuesto, por querer ver en los acontecimientos nucleares la culminación de un proceso de la ciencia moderna que tuvo su origen en el periodo elegido por este libro.

Para situar la historia dentro de la historia -esto es, la Historia de la Fotografía del periodo elegido dentro de la Historia General del Pensamiento, y en especial dentro del contexto del desarrollo científico y filosófico universales- es preciso partir de un marco teórico en el que quede encuadrada nuestra andadura, y, a su vez, retrotraerse en el tiempo hasta los principios documentados de la civilización. Pues, a medida que se avanza en el estudio de los descubrimientos científicos fundamentados en la fotografía, comienzan a surgir continuas dudas y preguntas sobre el valor y el significado de los mismos en el contexto histórico, más allá de las fechas elegidas en esta ocasión. Los datos exigen un acercamiento a los hechos desde una perspectiva próxima a la Filosofía de la Ciencia. La fotografía, como materialización de lo observado, no sólo ha convulsionado los fundamentos del saber científico, sino también los de la Epistemología, por lo que es necesario acudir a la Historia de la Filosofía, para dar sentido a nuestras pesquisas. Si la fotografía está unida a la ciencia, la ciencia no lo está menos de la filosofía. Y esto nos obliga a situar nuestro esfuerzo, dentro

del fuego cruzado existente entre las dos viejas posiciones filosóficas que persiguen a la humanidad desde sus principios: entre aquellos que fundamentan el conocimiento en el intelecto humano, frente a aquellos que reivindican la experiencia y los datos provenientes de nuestros sentidos como origen de todo saber. Inductistas contra hipotéticos, materialistas contra idealistas, pragmáticos contra metafísicos; en definitiva, la vieja dicotomía entre *ser* y *pensamiento*. La fotografía entra de pleno en el nudo de esa ancestral polémica. De hecho, el periodo elegido representa vivamente esta dialéctica. De ser la fotografía un elemento esencial para la defensa de un paradigma científico fundamentado en un conocimiento intuitivo, originado por los hechos experimentales y observables, como fue el caso de los descubrimientos de la radiactividad y los rayos X; su propia limitación, por otro lado, al no poder establecer el comportamiento de las partículas atómicas en sus últimos detalles, impulsó posturas mayormente apoyadas en lo formal y especulativo. Las excelencias y limitaciones del medio fotográfico han marcado la frontera y han vuelto a avivar las posiciones de aquellas escuelas filosóficas antagónicas que se retrotraen a los físicos jónicos, a Platón, Epicuro, Bacon, etc., hasta llegar a corrientes de pensamiento más modernas, tales como el materialismo dialéctico, el positivismo, la fenomenología o las últimas tendencias del análisis del lenguaje o de los positivistas lógicos.

En suma, nuestro viaje es una aproximación general al papel desempeñado por la fotografía en la ciencia hasta el año 1927, con un obligado recorrido histórico a través de la relación entre observación y conocimiento a lo largo de los siglos. La sana curiosidad y el deseo de comprender mínimamente el tiempo que nos envuelve, es lo que ha arrastrado la investigación a los lejanos años de la antigüedad, y a hacer un largo pero sintético periplo por la historia de las ideas y de los descubrimientos científicos.

La fotografía en la ciencia, como se comprobará al final de nuestro recorrido, es de una importancia suma. En primer lugar por estar situada en el corazón de una revolución del conocimiento humano. Y en segundo, porque la trascendencia de este invento va más allá de haberse convertido en un nuevo medio de expresión artística, o de haber vuelto del revés el arte contemporáneo, o de haber fijado los nuevos cimientos documentales de la historia, o de haber permitido el acceso de las masas al deleite de las obras de arte reproducidas y de poder expresarse a través de ella; la fotografía ha sido una de las piedras angulares sobre la que se ha edificado la ciencia moderna, el elemento que ha condicionado la creación de una nueva cultura, proporcionando una nueva dimensión al ser humano.

PARTE I

LA FOTOGRAFÍA ANTES DE LA FOTOGRAFÍA

Capítulo 1. Los principios: observación y especulación en el mundo antiguo

1.1. El gnomon y la sombra

Si la fotografía es la escritura de la luz, sus letras y palabras son las sombras. Y fue una sombra la que estuvo presente en los principios del conocimiento humano. Dicen que Thales de Mileto (624- 550 a. C) pudo calcular la altura de las pirámides midiendo su sombra, en el momento justo en que la longitud de la sombra de su propio cuerpo fue igual a su estatura. (Fig. 1) Observación y conocimiento. Las sombras de las pirámides delataban su altura. La fotografía no está tan lejos de ser esto mismo, una sombra que nos da a conocer algo.

El conocimiento de los antiguos, más allá de las primeras civilizaciones de Mesopotamia, del Indo, China o India, fue probablemente un conocimiento práctico, ligado a los trabajos cotidianos y manuales, a las mediciones de terrenos, a la cuenta del ganado; luego, iría fundamentándose más en la observación de fenómenos regulares: los movimientos y ciclos del sol, la luna y las estrellas, las crecidas de los ríos. Tal vez las destrezas manuales, los diferentes oficios, fueron perfeccionándose a la par que el entendimiento sobre las cosas.



Fig. 1. Vista aérea de las pirámides de Gizeh. Egipto.



Fig. 2. Cuadrante solar con gnomon proyectando su sombra. Siglo I d. de C. Egipto.

También la primera ciencia que se conoce, formada por leyes y principios, está ligada a lo material, a la observación y a la experiencia del día a día. La observación es el principio, como también es el alma de la fotografía, y su creadora. Digamos que la observación, la mirada, es la gran ventana abierta al mundo, por donde todo penetra. La fotografía es un sucedáneo si la comparamos con la fuerza y amplitud de la mirada; su gran ventaja es que fija las sombras de por vida.

Una sombra en particular estuvo presente en el nacimiento de la escuela de los físicos jónicos, la del gnomon (Fig. 2), un artilugio que por lo demás ya está presente en la cultura egipcia de 1500 a.C. El gnomon y su proyección abrieron un tesoro de conocimientos. Gracias

a él se pudieron calcular los equinoccios, los solsticios, la latitud de un lugar, el mediodía o azimut del sol y las horas; aunque por aquel entonces éstas no hicieran tanta falta como ahora, el día se dividía en doce marcas conforme a la claridad total del día. También las piedras del Círculo de Stonehenge o de otras construcciones milenarias cumplían cometidos muy similares (Figura 3). El gnomon es un truco o juego malabar que se le hace a la naturaleza. Y su sombra puede considerarse la precursora de la primera fotografía. No queda impresa como el objeto de una petrografía, se mueve, cambia y muere con la noche. Tampoco es como la terrible sombra de las figuras humanas positivadas en el asfalto de Hiroshima por la acción de la bomba atómica; pero viene al caso para empezar a hablar de fotografía y conocimiento.

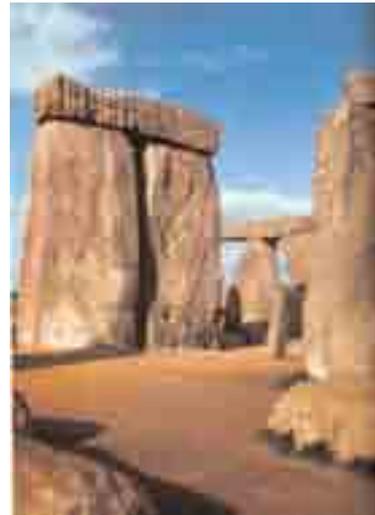


Fig. 3. Esculturas megalíticas de Stonehenge.

El cuadrante solar contiene el gnomon (γνῶμων), el pequeño pivote causante de la sombra. Los griegos tal vez lo heredaran, cuenta Heródoto, de los babilonios. Y significa en griego *"lo que conoce, discierne, significa o da a entender"*. Todo eso en una simple figura. La fotografía también comparte esa cualidad. De ambos pueden nacer teorías, especulaciones, matemáticas y misterios. No hemos hecho más que empezar y ya tenemos la división: lo que vemos frente a lo que pensamos, lo que somos y lo que razonamos, el cuerpo y el espíritu, la realidad y la conciencia; en definitiva: ser y pensamiento.

Del mismo gnomon se alimentaron algunos oficios y la misma geometría.

"Euclides llama gnomon a ese complemento acodado en cuadrado que los carpinteros llaman ordinariamente escuadra, palabra técnica que describe a la perfección la extracción de un cuadrado en el mismo centro de ese ángulo recto hueco" ⁵.

La ciencia en general, en sus comienzos, estuvo unida a lo concreto; pero pronto se descubrió el poder y la necesidad de la razón para organizar y dar forma a lo que se iba conociendo. La fantasía y la imaginación entraron también a formar parte del juego. A lo largo de la historia se ha avivado la disputa, siempre que uno de estos extremos ha visto la posibilidad de prescindir de su contrario, de menospreciar sus argumentos. Experimentación contra abstracción. Qué fácil, para los primeros, caer en un determinismo a ultranza; y qué pronto la vuelta a los mitos y a la autocontemplación de los segundos. Los matemáticos han sido siempre los más proclives a esta autosuficiencia, hecho que recuerda el egocentrismo de los músicos.

"La aritmética geométrica de los pitagóricos se comprenderá cuando se sepa que llamaban gnomon al complemento expresado en números impares de los números cuadrados sucesivos" ⁶.

Geometría y algoritmia serán los puntales que mejor defiendan las posturas especulativas: conocimientos autosuficientes, nacidos como de la nada, que se alimentan a sí mismos del mundo de las ideas, de Dios, el gran geómetra. El gnomon encierra en su verticalidad simple y anodina tres tipos de conocimientos que pervivirán hasta nuestros días: el que proporciona la experiencia nacida de la observación, el de la geometría y el de los algoritmos. La disputa entre los defensores de una y otra tendencia se remonta a la noche de los tiempos y pervive en la ciencia y la filosofía que nos rodea. Miremos hacia atrás brevemente, hagamos un poco de historia para comprender que el mundo nacido de esa nueva estaca vertical que es la fotografía no escapa a la antigua dialéctica entre ser y pensamiento.

1.2. La ciencia en el mundo antiguo⁸

Anteriormente a la llegada de la escuela jónica, la ciencia debió estar en manos de poetas y sacerdotes. Saber y superstición caminaban probablemente de la mano. Lo científico, en un sentido moderno y occidental de la palabra, debió iniciarse alrededor del siglo VI a.C en la ciudad de Mileto, en la costa de Anatolia. Un siglo antes aparecieron las grandes obras de Homero, y si tratásemos de remontarnos en el tiempo, la oscuridad nos envolvería por falta de vestigios y de documentación. Las excavaciones nos desvelan cada día nuevos secretos sobre las civilizaciones anteriores a la Grecia clásica, sobre todo de las conexiones de las culturas europeas con las de oriente, del Indo, de India, o de China. El eurocentrismo parece inevitable. Nuestro conocimiento de las culturas babilónicas y egipcias se fundamenta en excavaciones iniciadas en los siglos XVIII y XIX, principalmente por europeos. Más allá, encontramos poemas y relatos épicos entremezclados con los primeros textos religiosos. La imagen que nos ofrece, por ejemplo, el Antiguo Testamento es desoladora: la de un pueblo que vuelve a caer una y otra vez en el pecado y en la traición a Dios, dejándonos entrever que la nueva ley de Moisés no encerraba otra finalidad que la de revelar la palabra y la orden divina para acabar de una vez por todas con una superstición caduca y una idolatría sanguinaria que promovía los sacrificios humanos, y que en nada se oponían al incesto, al crimen o al robo. Se hacía necesario imponer un nuevo código moral sustentado en un solo Dios invisible y abstracto. El saber que se desprende de sus páginas es eminentemente moral. En el norte de la India, los Vedas, y entre ellos, las Upanisads, iniciarían, dos milenios antes de nuestra era, un conocimiento fundamentado en la experiencia mística, en el entendimiento y simbiosis con lo absoluto; orientación mitad científica, mitad religiosa que tendría su continuidad en las diferentes formas del hinduismo, el budismo y el taoísmo. La sabiduría totalizadora de estas religiones, con su lenguaje profundo y críptico, mantiene unidos los conocimientos científicos y religiosos bajo una misma mirada. La influencia de este tipo de saber, basado en lo suprasensorial, en una concepción total de un cosmos del que somos parte activa y que se debate entre fuerzas contrarias, tendrá gran influencia en la cultura occidental a lo largo de los siglos.

Es en Babilonia y Egipto donde empiezan a conjugarse la superstición de los sacerdotes con sus brillantes observaciones sobre el cosmos y la naturaleza. La astronomía y la medicina serán los principales baluartes desde donde se atisbe el nacimiento de una

incipiente ciencia. Observaciones concienzudas del movimiento de los astros y descripciones detalladas de anatomía y de enfermedades, recogidas en los papiros de Rhind y Edwin Smith, encontrados en el siglo XIX, en Egipto, así lo demuestran. Pero todas estas observaciones no llegan a configurar una ciencia tal como la entendemos en nuestros días, no existen leyes, al menos que conozcamos hasta el momento, ni tampoco una cosmología o una concepción general de los hechos observados. La ciencia está ligada estrechamente a la técnica rudimentaria de la época. Es preciso reconocer la falta de datos y nuestra ignorancia sobre estas civilizaciones. Hoy día se acusa una tendencia a mirar más allá de los restos encontrados entre los legendarios Tigris y Eufrates o junto a las pirámides a orillas del Nilo, y a conceder más atención a las nuevas excavaciones de otros posibles focos de culturas -como las ciudades de Mohenjo-Daro y Harappa en el valle del Indo-, a rescatar el papel desempeñado por las culturas precolombinas, indias o china, o a investigar en las entrañas de África, tras reconocer que en ella se encuentra el origen de nuestra especie.

El eurocentrismo, en realidad, es una limitación y un complejo. La cultura occidental creció en el seno de un tránsito continuo entre civilizaciones. Grecia, Egipto y Babilonia estaban en el centro del mundo, recibiendo sabiduría de un lado y otro de los continentes. Es la información de que disponemos, que aceptamos provisionalmente, la que nos dice que la ciencia, tal como la concebimos hoy día, se inicia en Grecia, coincidiendo con una situación de auge económico en la zona, con un predominio tecnológico y con un abandono de la mitología por parte de la sociedad griega, hechos acaecidos allá por el siglo VI a. C.. Y es en la ciudad de Mileto, centro de comunicaciones con los pueblos orientales, ciudad mercantil y cosmopolita, donde se van a concentrar en este periodo grandes pensadores que formarán lo que se conoce como la escuela de físicos jónicos. La gran diferencia que estos sabios imponen con respecto a sus predecesores babilonios y egipcios, es por un lado el desligar ciencia y religión, y por otro introducir un elemento especulativo en sus formulaciones. Será Homero, un siglo antes, quien contribuya en gran medida a lo primero, al crear un humanismo desligado de los mitos y de los dioses, preparándonos para la llegada de Prometeo: el ladrón del fuego y la sabiduría de los dioses. Y serán estos primeros físicos los que intenten construir una concepción general que dé cobijo a los descubrimientos, promulgando leyes, estableciendo conclusiones y modelos respaldados por los datos experimentales. Esta será la clave y el elemento distintivo que dará inicio a la ciencia como tal. Hasta entonces el conocimiento de los fenómenos naturales se encontraba desligado, no existía relación de unos fenómenos con otros. Se sabe, por ejemplo, que las tablillas de la biblioteca de Asurbanipal en Nínive, recogen brillantes observaciones sobre los astros y confirman la existencia de numeroso instrumental científico de la época; pero se trata de conocimientos aislados, que se transmitían de un sacerdote a otro y entre generaciones. En cambio, con la escuela jónica, formada en un principio por tres ilustres sabios, Tales, Anaxímenes y Anaximandro, se comienza a hablar de un universo compuesto por cuatro elementos: Tierra, Agua, Aire y Fuego. Son las primeras noticias de un nuevo tipo de abstracción que trasciende la mística y las cosmologías de origen religioso. Y este ejercicio mental será imparable. De los cuatro elementos estatuidos se entresacará posteriormente el agua, sustancia aglutinadora y básica de lo real; luego, el propio Tales extraerá un quinto principio común y fundamento del resto, un elemento inobservable e indeterminado

presente en toda la materia. Anaximandro, su discípulo, lo llamará Arché (ἀρχή) o Primer Principio. El mundo de las entelequias se va abriendo paso.

La ciencia jónica es por tanto la primera en proponer unos modelos de comprensión o unas imágenes científicas que van más allá de lo observable. Se busca un refugio que supera lo evidente y concreto, para exponer hipótesis donde se puedan enmarcar los futuros descubrimientos. Sin embargo, se trata aún de modelos sujetos a lo real y tangible, pues se habla de agua, fuego, tierra, aire, elementos de la naturaleza próximos y susceptibles de la acción sobre los sentidos. El paso fronterizo ha sido esa materia indeterminada de la que nos ha hablado Thales y que secunda su discípulo. Aquí contemplamos por primera vez en el contexto de la ciencia un elemento del todo abstracto, que nos recuerda a las filosofías y religiones de más allá del Indo. Será Heráclito de Efeso quien dé un paso en esta dirección, iniciando una disyunción sin retorno cuando comience a recelar de la fiabilidad de los propios sentidos.

"Los ojos y los oídos son malos testigos para el hombre, si no está en posesión de un alma cultivada." ⁹.

La sabiduría se apartaba de todo lo real para alojarse en la comprensión y en la capacidad de abstracción de los hombres. La sabiduría era la sustancia indeterminada de la que hablaba Thales, o los procesos de rarefacción y condensación de Anaxímenes, ideas que están más allá de los sentidos; y no los elementos constitutivos de la materia, como el agua, el aire o el fuego, que tan solo existen para ellos.

"La naturaleza ama la ocultación". ¹⁰.

Heráclito, conocido como el Oscuro, afianzó dentro de la ciencia helénica la separación entre la razón y los sentidos. A ésta la denominaría logos (λόγος) o sabiduría, y aquellos otros sólo le inspirarían una extrema desconfianza. El mundo, para este pensador, se encuentra en un continuo cambio; de aquí que los sentidos yerren en sus apreciaciones y que sea la razón, por tanto, la única garante para poder comprender la esencia de las cosas. Sin embargo, la sabiduría consistirá para él fundamentalmente en comprender el comportamiento de la naturaleza, por lo que quedará unida a los fenómenos físicos y perceptibles. La ligazón con la realidad no está del todo rota, pero esta separación interpuesta entre lo sensible y lo racional marcará el futuro de la ciencia y la filosofía griegas.

¿Por qué remontarnos a la época de los griegos para hablar de fotografía? ¿Por qué hablar de ciencia antigua y de mitos cuando tratamos de un invento del siglo XIX? Por varias razones. En primer lugar, porque la fotografía es la confirmación de lo observado, es un rastro que la luz deja como prueba de lo que vemos y, en muchos casos, también de lo que no podemos ver a simple vista; es un complemento a nuestros ojos y por tanto un aliado de uno de los pilares del conocimiento, que vemos ya ampliamente debatido en la época antigua: la observación. Pero a la vez, es una invención que nace de tratados, de leyes, de

principios científicos. El conocimiento que tenemos de ella se debate entre certezas y especulaciones; el saber que nos brinda presenta sus limitaciones. La fotografía encierra en sí misma, en su historia, la separación de la que nos hablaba Heráclito entre lo sensorial y el raciocinio. Volvamos, pues, a la historia para ir recogiendo los vestigios y las *pruebas arqueológicas* de las que se nutre la fotografía.

De hecho, este divorcio entre sentidos y razón ya se había iniciado hacía años en otros lares. Al otro lado del mediterráneo, en Crotona, en la península itálica, estaba tomando auge un movimiento que iba a impulsar decididamente este enfrentamiento. En este caso vendría dado por una secta de corte religioso que impulsó notablemente el desarrollo las matemáticas. Al frente de esta escuela estaba Pitágoras, un fuerte defensor de la preeminencia del alma frente a lo perecedero del cuerpo, y también un precursor en el intento de separar las matemáticas de la física. Aunque si bien es cierto que intentó desligar la ciencia de los números de la observación directa de los fenómenos naturales y apartarse de lo que había sido la tradición hasta entonces de los sabios egipcios, babilonios y jónicos, sus teoremas y principios seguirían apegados de alguna forma a lo experimental. Son famosos sus estudios de las tonalidades musicales en relación con las longitudes de las cuerdas, por no hablar del conocido teorema del triángulo con un ángulo recto. Los números seguían atados de alguna manera a los objetos. Y la geometría a la física. Pero la tendencia hacia la pura abstracción era imparable. Con el tiempo, los pitagóricos fueron abandonando el estudio de la naturaleza para profundizar cada vez más en el mundo ideal de las matemáticas. De nada sirvió el contratiempo que les ocasionó la aparición de los números irracionales -como la raíz cuadrada de 2 - para seguir potenciando la autosuficiencia de la especulación matemática y afianzarse en el rechazo de las pruebas de los sentidos. Parménides, contradiciendo a Heráclito, llegó a afirmar que en el mundo no cambia nada, atribuyendo la inestabilidad de las cosas a una ilusión de los sentidos. La única realidad posible era la unidad estática del universo, equiparable a Dios. Detestar el cuerpo por su mortalidad e imperfección y enaltecer el espíritu sería, en estas escuelas, la conclusión predecible. El cuerpo, como la escultura del Doríforo de Policleto o el Hermes de Praxiteles, debía ser una criatura perfecta, nacida no de otro lugar que de los números (Figura 4). Es el origen de la búsqueda de la perfección de las proporciones, de los cánones, y de esa belleza apolínea, que tanta repercusión tendría con el tiempo en posturas xenóforas y de rechazo hostil hacia lo informe, lo distinto y lo feo.



Fig. 4. Hermes con Dionisos joven, h. 350 a. C. Praxiteles.

Si hubiera que encontrar en la misma época un tipo de arte totalmente opuesto a esta concepción extremadamente formal lo encontraríamos en el arte sepulcral griego que, como señala Panofsky, rompió con una tradición ligada a lo mágico y esotérico, propia del arte egipcio.

Los griegos, preocupados por la vida en la tierra más que por la vida en el más allá, y capaces de quemar a sus muertos en lugar de momificarlos, invirtieron este punto de vista. La expresión griega para tumba es μνήμα, es decir: memorial; y, de acuerdo con esto, el arte sepulcral clásico se hizo retrospectivo y representativo, mientras el arte sepulcral egipcio había sido prospectivo y mágico. La stelai en las batallas, esposas que se despiden de sus esposos mientras se preparan para el último viaje, y un político o comerciante romano podía representar las etapas de su carrera en los relieves de su sarcófago.¹¹

Habría que esperar unos siglos para encontrar en el mundo egipcio un arte ligado a lo representativo, concretamente en las imponentes pinturas de Al Fayum, pertenecientes a las comunidades romanas establecidas durante los siglos I y II de nuestra era en esa zona del Nilo medio. En ellas encontramos retratos llenos de vida y autenticidad que inauguran una tradición documental, ligada a lo necrológico, que será retomada, con más fuerza aún si cabe, por la propia fotografía. (Figura 5)

En la entrada del siglo V a.C, el siglo de Pericles, la confrontación entre jónicos, pitagóricos y defensores de lo Uno se avivaría fervientemente. Parménides, el mayor representante de esta última tendencia, seguía siendo un gran defensor de la razón, desconfiando plenamente de los sentidos.

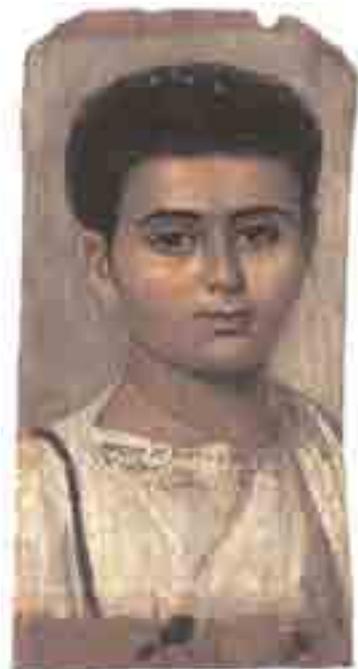


Fig. 5. Pintura de Al- Fayum. Siglo II d. de C.

"Aparta tu mente de esta vía de investigación; no te obligue a seguir la costumbre rutinaria, dirigiendo la mirada incierta, el oído que zumba y la lengua; juzga con la inteligencia el muy discutible argumento.¹²

Pero la fragmentación y diversidad del mundo sensible se escapaba a esta verdad de lo Único. Es por lo que Zenón, seguidor de esta doctrina de la unidad estática, de un universo esférico asemejable a Dios, arremetió contra los que entendían divisible la materia, con sus famosas paradojas, la más conocida la de Aquiles y la Tortuga. La lógica debía imponerse a los sentidos.

En contra de esta opinión se levantaron las voces de Empédocles y Anaxágoras. Si bien los sentidos pueden ser engañosos, no por ello debemos menospreciarlos a la hora de profundizar en nuestro conocimiento. Al sumergir un embudo con la apertura superior cerrada, el agua no puede entrar, dada la presión del aire. Con esto justificaba Empédocles la validez de los sentidos para demostrar la existencia corpórea del elemento invisible. También Anaxágoras entendió el límite que imponían los sentidos, como cuando, en un principio, nos resulta imperceptible el cambio de color en un líquido blanco en el que vamos depositando gotas de negro. Empédocles volvió a los cuatro elementos básicos de tierra, agua, aire y fuego, añadiendo fuerzas de atracción y repulsión entre ellos, asemejables al amor y el odio. Y Anaxágoras, aglutinando doctrinas de los pueblos de Asia y del otro lado del Mediterráneo, defendió, entre otras cosas, la existencia de elementos comunes en la naturaleza que están presentes en todos los cuerpos; propuso que el sol era una piedra roja caliente, y que la luna era un cuerpo terroso sin luz propia, explicando también los eclipses de ambos astros. Su actividad científica y sus críticas continuadas a la religión le obligaron al destierro.

Sin embargo, si hay que considerar alguna escuela de la época como la más cercana a lo que entendemos hoy día por ciencia empírica, esa, sin lugar a dudas, es la hipocrática. Parecería que el saber médico estuviera obligado necesariamente a atenerse a la observación, a la experiencia y a lo que dictaminan los sentidos; y a que su avance se consolide con la práctica, como si el mundo del espíritu y del alma no apareciera en su actividad diaria de disecciones, órganos y enfermedades. Los gimnasios fueron en gran medida una de las fuentes primarias de este tipo de conocimiento. Las fracturas, las dislocaciones y las intervenciones cotidianas de los cuidadores, al parecer, alimentaron en gran parte la gran *Colección* de textos hipocráticos. Cerca de treinta tratados sobre medicina y ciencias afines fueron elaborados en el seno de la Escuela de Cos durante más de dos siglos.

"Tal es el contenido de este brillante tratado. Es probablemente la más profunda exposición del método basado en la observación y la experiencia que conservamos de la Antigüedad. Desempeñó un papel muy importante en la restauración de la medicina científica".¹³

La escuela hipocrática desliga por primera vez la ciencia de la filosofía; e incluso de la religión, como ocurrió al rechazar la catalogación de la epilepsia como una enfermedad divina. Nos encontramos con el primer atisbo de ciencia empírica en su intento de esquivar la especulación, la magia y la superstición sobre la naturaleza de los fenómenos. Y la guinda que culmina los planteamientos científicos de esta escuela es el código deontológico que impuso a sus miembros. Por primera vez, se vio la necesidad de entrelazar la ciencia con una ética de servicio al hombre. ¿Quién podría negar hoy día la fuerza de lo sensorial en la medicina, con las técnicas de observación tan depuradas que ofrecen a los médicos el mundo interior e invisible del cuerpo humano? La imagen técnica guía las manos de los mejores facultativos.

1.3. La llegada de los átomos

Junto a la escuela hipocrática debemos situar necesariamente a los creadores del atomismo: Demócrito y Leucipo. Si bien la concepción atómica de la naturaleza escapa por definición al poder de los sentidos, ya que las unidades indivisibles que van a constituir la materia son tan diminutas que no pueden ser percibidas por éstos, gran parte de sus postulados nacieron dentro de una concepción materialista del mundo, sustentada en la observación y la experiencia. Sensación y pensamiento constituirán la disyuntiva en la que se mueva esta nueva escuela, aparte de establecer una concepción determinista de la naturaleza que tendrá una gran repercusión en la ciencia del futuro.

Las facultades del sujeto que experimenta las sensaciones, como pueden ser el color, la temperatura, el sonido, etc., se tendrán ahora ampliamente en cuenta. Las cualidades de las cosas no existen sin el sujeto que las percibe. Se trata, en definitiva, de la acción de los átomos, que emanan y se desprenden de los cuerpos, sobre los sentidos. En Demócrito, sin embargo, los sentidos van a ocupar un lugar secundario, de mero trámite, si no de perjuicio, ya que el verdadero conocimiento no se forma en ellos.

"Existen dos formas de conocimiento, el uno verdadero, y el otro falso. El falso lo proporcionan la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Éste debe distinguirse del verdadero; tanto es así que éste comienza allí donde el falso acaba. Cuando el objeto de nuestra indagación se hace demasiado sutil para la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto, y andamos necesitados de un instrumento más capaz, es entonces cuando nace el conocimiento auténtico".¹⁴

No era de extrañar una opinión como ésta en el seno de una teoría científica que tenía como primera premisa un mundo construido por partículas invisibles flotando en el vacío. Sin embargo, el atomismo está muy lejos de considerar la información procedente de los sentidos como una ilusión; es una cuestión de establecer prioridades, y en primer lugar están los átomos. El atomismo construye un entramado teórico compacto que aglutina saberes procedentes de diferentes escuelas; incluso se puede apreciar en él el influjo de los múltiples conocimientos adquiridos por Demócrito en sus múltiples viajes. Demetrio en los *Homónimos*, y Antístenes en las *Sucesiones*, informan que Demócrito se detuvo en Egipto junto a los sacerdotes para aprender geometría, así como también permaneció entre los caldeos en Persia y que llegó hasta el Mar Rojo. Algunos afirman que se encontró con los gimnosofistas de la India y que visitó Etiopía.¹⁵

Que nada salga de la nada y que en ella nada desaparezca, un principio apropiado de otras tradiciones por el atomismo, cobra mayor sentido en este sistema, en el que lo fundamental son los átomos y ese lugar donde éstos se mueven, chocando unos contra otros: el vacío. Para Demócrito no importa si las verdades no son perceptibles, serán válidas mientras sean fructíferas. Este pragmatismo, fundamentado en la necesidad y el determinismo, será el que levante posteriormente las suspicacias de Epicuro.

Pero antes de entrar en el Jardín del gentil filósofo, debemos proseguir el curso de la historia. Las guerras del Peloponeso acabaron con el siglo de Oro de los griegos, y en el seno de esta crisis surgió la escuela de Sócrates. Una nueva filosofía para unos nuevos tiempos. Sócrates iba a rescatar, a un mismo tiempo, a los filósofos naturalistas y a los pitagóricos, ensañándose con el nuevo movimiento de los sofistas. Criticó a los primeros por su rechazo del espíritu y se acercó a los segundos para adoptar su distinción entre cuerpo y alma y su gusto por la meditación y las matemáticas. Sócrates fue testigo del derrumbe de la era de Pericles y, de entre sus ruinas, lanzó su máxima de "*Conócete a ti mismo*" (γνώθι σεαυτόν), construyendo a su vez una filosofía dedicada por entero al espíritu. El estudio de la naturaleza como una serie de causas y efectos, al estilo de los que en un futuro y para siempre se denominarían "presocráticos", no le satisfizo; la razón y el espíritu estaban por encima de todo. La causalidad siempre es ordenada por la razón y el entendimiento humanos, por la sencilla razón de que ambas necesariamente están en sintonía con el espíritu de la naturaleza. Todo está ordenado para lo mejor. Se instituía de esta forma una ética sustentada en los números y en el orden intrínseco de la naturaleza, en un espíritu irrefragable, que se sitúa más allá de lo que pueden captar los sentidos. Este desprecio por el mundo físico es el que va a embelesar a su principal discípulo, Platón.

1.4. El hombre áureo

"El estrellado cielo que contemplamos está bordado en una materia visible. Por ello, aunque sea lo más hermoso y perfecto de las cosas visibles, es preciso reconocer que es muy inferior a los verdaderos movimientos de absoluta velocidad y lentitud... que son perceptibles mediante la razón y la inteligencia, pero no por la vista... Es preciso, pues, servirse de los ornamentos del cielo como de ejemplos para llegar al conocimiento de las cosas invisibles.... Pero en lo que respecta a las relaciones del día a la noche, del día y de las noches a los meses, de los meses a los años y de los demás astros al sol y a la luna, ¿no te parece que un verdadero astrónomo encontrará absurdo creer que siempre son los mismos y que no sufren variación alguna, pese a cuantos medios utilice para descubrir la verdad absoluta de sus relaciones?... Si estudiamos la astronomía, lo mismo que la geometría, será para intentar resolver los problemas que ofrecen, pero no nos detendremos a considerar lo que ocurre en el cielo, si es que realmente queremos extraer de este estudio el medio de tornar útil la parte inteligente de nuestra alma".¹⁶

En Platón (c. 428-347 a. C.) se viven descarnadamente estas diferencias entre los seguidores de la filosofía atómica y los de la escuela pitagórica. Su desprecio por los primeros, por impulsar la distinción entre física y matemáticas y atender a los estudios de la naturaleza, le hizo alistarse en las posiciones más extremas y rígidas de los segundos. Fue

ésta una postura que le llevó a construir un mundo idealizado, en el que se repudiaba todo lo que fuera corporal y material. Se sintió fuertemente atraído por la capacidad de abstracción de los pitagóricos y por su facilidad para escudarse en un mundo exclusivamente matemático, aplicándolo al resto de sus estudios y de su labor introspectiva. Su objeto, a partir de entonces, serían las relaciones espaciales y los números, como entes eternos, sólo aprehensibles por la razón o el alma.

*"Y la conocerá más quien lo examine todo a través del pensamiento, sin la ayuda de ningún otro sentido corporal; éste se esforzará en encontrar la esencia pura de las cosas, sin el auxilio de la vista, ni del oído, ni de la totalidad del cuerpo, ya que éste turba al alma y le impide alcanzar la verdad."*¹⁷

Sin duda, Platón tomó partido por el mundo que ofrecían las matemáticas, brotando en él, como consecuencia de ello, una especial animadversión por los jónicos y, más en particular, por el atomismo de Demócrito. Según él, lo que importa de verdad para el hombre está ya dentro de él, no hay que buscarlo fuera, en la naturaleza. El proceso de conocer consiste simplemente en ir desvelando *reminiscencias*. El saber es innato, se trata de ir descubriéndolo con el poder de la razón y de una ciencia eminentemente teórica.

*"Estamos de acuerdo en que lo que se ha percibido por la vista, el oído u otro sentido lleva a pensar en otra cosa olvidada, que guarda con aquella cierta relación, bien pareciéndosele o no. Es, pues, necesario que nazcamos ya con tales conocimientos y los conservemos a lo largo de nuestra vida, o bien que los que aprenden, no hagan más que recordar y la ciencia no sea sino una reminiscencia".*¹⁸

Vuelven a aparecer las sombras: si las del gnomon eran fuente de conocimiento, aquí son origen de ideas, espíritus y espejismos. Lo que podemos conocer por nuestros sentidos son sólo las sombras proyectadas en un muro. La *cámara oscura* de Platón está llena de entelequias.

*Imagina un antro subterráneo, que tenga en toda su longitud una abertura que dé libre paso a la luz, y en esta caverna hombres encadenados desde su infancia, de suerte que no puedan mudar de lugar ni volver la cabeza a causa de las cadenas que les sujetan las piernas y el cuello, pudiendo solamente ver los objetos que tienen enfrente.... ¿Crees que puedan ver otra cosa de sí mismos y de los que están a su lado, que las sombras que van a producirse enfrente de ellos en el fondo de la caverna?*¹⁹

La Academia por él fundada se convertiría en una institución de gran poder e influjo en la vida política de la Grecia del siglo IV. Por primera vez en la historia del pensamiento

humano, se constatará la dependencia y estrecha relación que se establece entre poder y filosofía. El idealismo platónico, del *Hombre de Oro*, como gustaba llamarle Epicuro, se corresponderá con unas relaciones de poder muy concretas en la sociedad de aquel entonces. La teoría del conocimiento de este padre de la filosofía, apoyada en un rechazo total de las escuelas presocráticas y naturalistas y defensora del alma o psyche como principio vital y origen de todo saber, tendría una correlación directa con la división de clases y con la defensa de un determinado modelo de poder social y político. Nunca una concepción del universo tan elaborada y aparentemente celestial, tendrá un correlato tan material y directo con la vida cotidiana de aquellos años. Como aquella misma división de la raza humana que Platón hizo, en hombres de hierro, plata y oro, dependiendo de la actividad profesional de cada uno de ellos, si eran trabajadores manuales o esclavos, policías o militares, o pensadores y legisladores como él. Todo resumaba idealismo áureo.

"Debemos recordar que, por esta razón, criticó Platón las tentativas de Eudoxo, Arquitas y Menecmo, que trataban de resolver los problemas geométricos con medios instrumentales y mecánicos, ya que éstos conducen a las cosas materiales, alejándonos de las formas externas e incorpóreas, que son siempre objeto del pensamiento de Dios, siendo ellas mismas Dios"

(Así hablaba Tíndaro) Y yo pienso que puede considerarse como generalmente admitido que este huir del contacto con las cosas materiales, propio de la ciencia platónica, no puede dejar de conectarse con el desprecio de la aristocracia por el trabajo manual.²⁰

"No entre quien no sepa geometría" estaba inscrito a las puertas de la Academia. Dios usa siempre la Geometría. Las asignaturas impartidas no podían ser otras que la aritmética, la geometría, la astronomía, la armonía y la dialéctica. Pero todas ellas en su acepción teórica, desvinculadas de la práctica. La última, la dialéctica, era presentada como el verdadero camino hacia el conocimiento, la verdad, la belleza y la bondad.

No obstante, Platón progresó a lo largo de su vida desde un idealismo a ultranza hasta un reconocimiento taimado del poder de los sentidos, pero, eso sí, sin llegar a otorgarles nunca la facultad de poder establecer algún conocimiento. Existen cosas animadas e inanimadas, nos dice el filósofo, estas últimas deben ser movidas por algo exterior a ellas, y el movimiento primario en el universo debe partir de algún principio, que no puede ser otro que el espíritu, o el alma, que se mueven a sí mismos.

Contra este idealismo exacerbado de la Academia se levantarán dos escuelas que tendrán una gran trascendencia en el futuro de las ciencias y de la filosofía: por un lado, el Liceo, dirigido por Aristóteles (384-322 a. C.), discípulo directo de Platón; y por otro Epicuro con su polémico Jardín. Ambos filósofos rescatarán el importante papel desempeñado por lo sensorial como origen de todo conocimiento y articularán dos concepciones del universo próximas, una apoyada en la tradición socrática y la otra como continuadora del atomismo.

Aristóteles, más que comenzar desde la tradición idealista iniciada por Sócrates, lo hace desde la última etapa más conciliadora de su maestro Platón, para de alguna forma poder así reivindicar los métodos científicos de las escuelas jónicas. En el principio de su *Metafísica* queda claro su juicio sobre los sentidos. Su postura será de un gran eclecticismo. La defensa, tanto de la razón como de los sentidos, quedará reflejada en su clásica distinción entre materia y forma. La aprehensión de la realidad se hace de las dos formas, con los sentidos y el pensamiento, pues la materia es indisoluble de su forma. Es una cuestión de avanzar sobre diferentes niveles de abstracción. Los objetos en sí mismos son captados por los sentidos, pero el conjunto de ellos, reunidos en una misma categoría - digamos las mesas, los árboles, etc.-, hace alusión a su forma común. Lo que se aprehende de las cosas es su forma, mediante su representación en la inteligencia. Pero -y aquí está la gran diferencia con su antecesor y maestro- esas representaciones no existen independientemente de las cosas reales, captadas por los sentidos.

Probablemente fue el contacto directo de Aristóteles con las ciencias de la naturaleza, en especial con la biología, la zoología y la medicina, y su sabiduría enciclopédica en numerosas áreas del conocimiento, lo que le llevó a tomar una postura menos idealista. Para él, la sensación y la razón compartían un mismo habitáculo. El mundo que es percibido por la primera, es el mismo mundo objeto de la segunda. Existe un sentido común o capacidad intelectual humana que unifica ambas fuentes. La razón se apoya decisivamente en los sentidos para aprehender la esencia y la forma de las cosas. La distinción tan drástica llevada a cabo por Platón entre lo corpóreo y lo anímico, que le llevó a establecer un repudio casi enfermizo del cuerpo y a una extravaloración del alma, inmortal e imperecedera, se torna más racional en Aristóteles, quien comienza a hablar de los fenómenos mentales como hechos *psicofísicos*. El alma es la forma del cuerpo. Cuando éste muere, también muere su compañera. Lo que es imperecedero para Aristóteles, y que aparece un tanto contradictorio dentro del conjunto de su filosofía, es la razón, el componente lógico de la mente que pervive en los dos otros elementos. La tradición de los físicos jónicos se veía ampliada de esta manera con dos nuevas disciplinas: la psicología y la lógica. La tradición científica era pues rescatada por una labor gigantesca de catalogación y ordenamiento de saberes hasta entonces dispersos, dentro de una nueva formulación de las relaciones entre razón y naturaleza.

"Los hechos no han sido todavía observados de modo satisfactorio; si alguna vez lo son, se debe dar más crédito a la observación que a las teorías, y a las teorías únicamente si están confirmadas por hechos observados."

El principal resultado general de las investigaciones biológicas de Aristóteles fue establecer una scala naturae, un método de clasificación de todos los seres vivientes, que no fue superado hasta la época de Linneo".²¹

El Liceo, liderado por Aristóteles, dedicó gran parte de sus actividades a rescatar las ciencias naturales y a determinados pensadores hasta entonces denostados por la Academia, como fue el caso de Demócrito. En este centro se hacía especial hincapié en el obligado contacto que debían tener los estudiantes con la naturaleza y con el estudio de sus fenómenos. Además de las investigaciones del mismo Aristóteles sobre biología y química, nos encontramos con los trabajos de Teofrasto sobre las plantas y los minerales, los de Estratón sobre neumática y los de otros autores anónimos sobre mecánica. En Aristóteles ya encontramos la descripción del fenómeno de la cámara oscura, tal como observó en la



Fig. 6. Figuras formadas por la proyección de un eclipse de sol en una pared, tras su paso a través de las hojas de los árboles.

proyección de la figura de un eclipse de sol a través de las hojas de los árboles (Figura 6); o lo que podría ser el germen de la milenaria polémica entre los partidarios de entender la propagación de la luz a través de ondas o de partículas. Este sabio fue defensor de la existencia de un medio etéreo situado entre los objetos y los ojos que hacía posible la visión de los colores y de la propia luz, en oposición a otros filósofos, como Empédocles (483- 424 a.C), quien defendía una postura más acorde con la teoría corpuscular, propia de la escuela atomista.

No hay que olvidar tampoco en este contexto a los estoicos, y en particular a Zenón, quien también se opuso al unilateralismo de Platón y a su repulsa de los sentidos. Esta escuela, con una gran influencia de las corrientes filosóficas y místicas de oriente, defendía una concepción más afín a los dictados de las leyes de la naturaleza. Su misticismo y prácticas supersticiosas de adivinación, así como su defensa de la resignación ante el destino y las fuerzas externas al hombre, le hizo alejarse de lo que podría haber sido una actividad más científica, dedicándose más al cultivo de la virtud y al desarrollo de la moral.

1.5. Alejandría, cruce de caminos entre civilizaciones

El relevo del protagonismo ejercido por la Academia y por el Liceo como centros de estudio y prestigio lo iba a tomar el Museo, en Alejandría, una ciudad cosmopolita que reunió a sabios de todo el mundo, gracias al impulso que le dio Ptolomeo, general de Alejandro, establecido allí como caudillo. Alejandría favoreció enormemente el desarrollo de las ciencias y se convirtió en el centro cultural y científico de la época, por encima de la Academia y de Atenas, que siguieron ejerciendo su predominio en la filosofía pura.

"Pero el Museo no se redujo a poseer la biblioteca más importante que había existido jamás (su núcleo inicial fue formado

por la biblioteca del propio Aristóteles, y pronto contó entre sus tesoros con fondos tan valiosos como el texto oficial de las tragedias atenienses, sobrepasando en total el medio millón de volúmenes), sino que ofrecía también otros muchos recursos para la investigación. Había salas de lectura y estudio, salas de disección, un observatorio astronómico, un parque zoológico, un jardín botánico, en una palabra, todas las necesidades materiales para los estudios anatómicos, biológicos, botánicos y fisiológicos que tan rápido progreso iban a conseguir allí".²²

El Museo vivió su época de mayor esplendor en su primeros ciento cincuenta años; a partir de ese periodo soportaría numerosas convulsiones, asedios e incendios, entre ellos el de su famosa biblioteca. En su época de mayor actividad, los trabajos científicos fueron numerosísimos, destacando la labor de Euclides, Arquímedes y Apolonio, y un sin fin de genios que desarrollaron sin par las ciencias de la época, en materias como la astronomía, la anatomía, la fisiología, la geografía, etc. La medicina volvió a convertirse en punta de lanza del saber científico experimental con la aportación de Herófilo de Calcedonia, que realizó numerosos estudios anatómicos, disecciones, etc., logrando confirmar la presunción de Alcmeón de que el pensamiento y la inteligencia se encontraban en el cerebro y no en el corazón como pensaba Aristóteles.

Dentro de este periodo es digna de destacar una de las obras cumbres del saber humano, *Los Elementos* de Euclides y, para el caso de nuestro estudio, otra obra suya, los *Phaenomena*, donde se recogen tratados de astronomía y de óptica. Es la primera vez que nos encontramos con un estudio de este tipo, aplicado en esta ocasión a la perspectiva, utilizada en la construcción de los escenarios teatrales. A la sombra producida por la luz, se le suman las primeras leyes de la perspectiva. Nos encontramos en el transcurso del siglo IV al III antes de nuestra era y los elementos de la tecnología fotográfica van ligeramente apareciendo. Sin embargo, es ésta una perspectiva esférica, reproductora de un mundo circular, tal como se supone que la realidad se reproduce en el interior de nuestros ojos. La diferencia con la perspectiva lineal, que es la que se impondrá en el Renacimiento y adoptará posteriormente la fotografía es patente. El octavo teorema de Euclides, tal como señala Erwin Panofsky, establece que la diferencia aparente entre dos dimensiones iguales vistas a distancias desiguales, está determinada, no por la relación de estas distancias, tal como se establecerá a partir del siglo XV, sino por la relación de los ángulos visuales correspondientes. Con toda probabilidad, la razón de que prevaleciera este tipo de perspectiva en la Antigüedad fue debido a una mayor aplicación de ésta en la arquitectura, en detrimento de la pintura. Euclides y otros autores antiguos conocían los efectos curvos que producían las líneas rectas de los edificios en nuestros sentidos; de ahí las reglas seguidas por los arquitectos de la época en la construcción de columnas y otros elementos arquitectónicos, en los que se ponía en práctica la *éntasis*, o curvatura cóncava o convexa destinada a lograr el efecto rectilíneo en esos elementos.

El otro gran sabio de Alejandría, aunque nacido en Siracusa, es Arquímedes, una verdadera proeza de la ciencia antigua, y en especial de las matemáticas y de la mecánica. Su predisposición por lo teórico le hizo menospreciar en muchas ocasiones el valor de los sentidos, de las manos o de los instrumentos, pero sus escritos siempre están basados, de una u otra forma, en lo experimental. Así lo confirma el famoso principio que lleva su nombre, recogido en su tratado *De los cuerpos flotantes*, descubierto cuando al tomar un baño, probablemente en contra de su voluntad, se percató del líquido desalojado por la inmersión de su cuerpo; y en los numerosos ingenios mecánicos que acabaron aplicándose al arte de la guerra. Ya Platón se había afligido por el uso práctico y vulgar de este tipo de geometría aplicada.

Alejandría seguiría siendo durante siglos un centro de cultura de primer orden y la capital del saber en el Mediterráneo desde su fundación hasta el final del periodo greco-romano, coincidiendo con la caída del imperio romano, en el siglo V de nuestra era. Su situación geográfica la convirtió en un lugar óptimo para el trasiego de ideas de numerosas culturas, por ser cruce de caminos entre oriente y occidente. En los siglos que siguieron hasta su decadencia destacaron numerosos sabios y se dieron a conocer nuevos descubrimientos en todo tipo de disciplinas. Hiparco recogió todo el estudio realizado durante siglos en el observatorio de la ciudad, se hicieron mapas con la posición y características de miles de estrellas; se formuló el sistema geocéntrico de Ptolomeo y sus estudios sobre la refracción y se dieron a conocer el álgebra y la trigonometría.

1. 6. El jardín de Epicuro

Antes de proseguir en el tiempo y de entrar en el análisis del origen y posterior influencia de la ciencia árabe en occidente, volvamos al otro gran filósofo que, junto a Aristóteles, rescató la tradición de los físicos jónicos, continuando una labor encuadrada dentro del atomismo: Epicuro. La figura de este sabio es un tanto singular por haber adoptado una posición más bien ecléctica y de compendio respecto de las escuelas existentes hasta el momento, especialmente dentro de la tradición de los jónicos y de las teorías de Demócrito. Fundador del controvertido Jardín, ha sido hasta ahora, momento en que se está replanteando su papel en la historia de la filosofía, un personaje más bien de segunda fila y, en muchas ocasiones, un perfecto desconocido y olvidado por los textos y por muchos de los cuerpos teóricos pertenecientes a renombrados pensadores. Y cuando no, en línea con sus detractores, se ha visto en él el fundador de una especie de secta pseudo-religiosa, o mística, proclive a todo tipo de desmanes y excesos.

Para empezar, Epicuro no vacila en decir que la verdad nos viene dada por los sentidos.

"Todos los sentidos son heraldos de la verdad. Nada puede refutar a la percepción sensible; ni la sensación semejante a la semejante, a causa de su similitud de valor; ni la disemejante a la disemejante, pues ambas no juzgan el mismo objeto, ni tampoco el

concepto puede refutarlas porque éste depende por entero de la percepción sensible". ²⁴

Tan ferviente defensor fue de este principio que cometió el grave error de afirmar que el sol era de un tamaño parecido al que vemos. Se desconoce hasta qué punto esta afirmación, en alguien a quien conocemos a través de los textos y opiniones recogidos por otros filósofos, puede ser tenida en cuenta. Lo que sí es cierto es que Epicuro fue un defensor acérrimo de la escuela hipocrática de medicina, del atomismo y del conjunto de las ciencias naturales del momento, en contra de la especulación y de la creencia en deidades y mitos. Asimismo fue consciente, siguiendo la experiencia de Anaxágoras y de los jónicos, de la estrecha relación que se establecía entre la labor científica y sus repercusiones sociales y políticas. Ya vimos cómo la actividad pública del "*hombre de oro*", como él gustaba nombrar a Platón, fue un claro ejemplo de la vinculación entre poder y filosofía.

Rechazaba que las ideas, fueran creadas de la nada o que fueran inmanentes a nuestra alma o al espíritu; debían provenir, de alguna manera, de los sentidos. En este punto prefería adoptar la filosofía atómica, y afirmar que son los átomos provenientes de los objetos los que hacen mella en nuestros sentidos y dan origen al conocimiento. Si los dioses existen en nuestras mentes es porque en el mundo deben existir realmente en alguna parte. Las sensaciones son siempre verdaderas: si los sentidos nos engañan es porque no atendemos bien a lo que nos dicen o porque interpretamos erróneamente la información que nos procuran. Un remo que se dobla al ser introducido en el agua, puede ser bien interpretado si lo volvemos a sacar a la superficie. De esta forma, la percepción deja de ser una actividad pasiva para convertirse en algo activo. Se debe educar y dirigir los sentidos adecuadamente para que se conviertan en verdaderas herramientas del conocimiento.

Para Epicuro, los criterios de la verdad son las sensaciones, las anticipaciones y los sentimientos. Las primeras son siempre verdaderas si son bien interpretadas. Las anticipaciones se refieren a las ideas generales mediante las que organizamos nuestro entendimiento; es la razón que nos ayuda a catalogar, ordenar, organizar, comparar, etc., o, en otras palabras, aquellos modelos de comprensión, no innatos, sino aprendidos con la experiencia y con la repetición a lo largo de la vida.

"Las anticipaciones son una especie de composición fotográfica conseguida a base de impresiones sensoriales". ²⁵

Por último, las emociones entran a formar parte de la filosofía epicúrea con un gran peso. El fin de todo conocimiento es la consecución del placer, y por consiguiente, evitar el dolor. La *ataraxia* o estado de bienestar es la meta final a la que debe tender el hombre.

"Cuando decimos que el deleite es el fin más importante, no lo queremos equiparar a los placeres sensuales de los disolutos, como nos achacan muchos que no nos conocen o quienes pertenecen a otra escuela de diferente criterio. Estos nos censuran injustamente.

Lo que nosotros entendemos por placer es la liberación del dolor en el cuerpo y de la angustia en el espíritu".²⁶

El sentir totalmente antirreligioso de los epicúreos, en contra de los ídolos paganos y deidades de la época, y su presunta, pero malentendida, afición al placer y a la vida disoluta, les trajeron la condena, la persecución y el exilio. Nunca se había producido una escuela filosófica de tal índole, en la que teoría y práctica iban de la mano, que tuviera tanta repercusión en la vida pública.

Sin embargo, la batalla de los epicúreos no estuvo sólo dirigida contra el idealismo platónico y los mitos griegos. Es en otro frente, precisamente en la dirección opuesta, donde realmente se encuentra un antagonismo singular, que configura la verdadera aportación de Epicuro al conjunto de la filosofía y de la teoría del conocimiento. Porque, aun siendo seguidor de Demócrito y estando en línea con el pensamiento científico de Aristóteles, se aparta drásticamente de lo que pueda suponer cualquier tipo de determinismo.

"Sería mejor conformarse con el mito acerca de los dioses que el ser esclavo del fatalismo de los filósofos naturalistas".²⁷

Esta máxima del filósofo expone sin vacilaciones todo su rechazo al atomismo de Demócrito, por entenderlo en sus principios básicos como un dictado de determinismo universal, que no sólo implica a la materia inanimada, sino que incluye al propio hombre. A juicio de nuestro filósofo, ningún sistema o teoría, por muy elaborada que estuviera, debería poder arruinar, el principal valor de lo humano: la libertad. El determinismo mecánico de la ciencia se equiparaba al fatalismo y a la predeterminación impuesta por los ídolos. La concepción del mundo de Epicuro integra plenamente la ética en su seno..

La desviación del átomo en su caída sería su argumento. Pues si el átomo en su caída se desvía contra toda predicción y ley, el azar de la vida entra en juego. Con ello pretendía apartar la *necesidad* como principio que nos obliga a una rigidez del pensamiento, y a aceptar el mundo de la casualidad o de la posibilidad como parte integrante del universo. La ciencia se empeña a veces en maniatar la realidad con leyes estrictas, sin reparar en la amplitud del mundo, en sus miles de posibilidades, en que los fenómenos naturales están llenos de quiebros y de variación continua.

*"Y has de entender también, inclito Memmio,
que aun cuando en el vacío se dirijan
perpendicularmente los principios
hacia abajo, no obstante, se desvían
de línea recta en indeterminados
tiempos y espacios; pero son tan leves
estas declinaciones, que no deben
apellidarse casi de este modo.
Pues si no declinaran los principios,*

*en el vacío, paralelamente,
cayeran como gotas de la lluvia;
si no tuvieran su reencuentro y choque,
nada criara la naturaleza".²⁸*

Así nos lo resume el gran poeta Lucrecio, fiel seguidor de Epicuro, en su magna obra *De la naturaleza de las cosas*. La desviación de los átomos desobedece al destino; de aquí que no sea, en sí, un fenómeno sensible, no se ve ni se encuentra en ninguna parte concreta; se trata más bien de una imagen para nuestra conciencia. En vez de buscar un alma al átomo, tenemos su desviación. Realidad y conciencia. Es la diferencia básica que se establece entre los fenómenos perceptibles, de la naturaleza, y la representación que nos hacemos de ellos en nuestra mente. El reflejo de la mutabilidad del mundo es lo que se dibuja en nuestras conciencias. Nunca estaremos tan cerca de un modelo que nos acerque tanto al fenómeno fotográfico.

Lucrecio recogió en verso las enseñanzas de su maestro y desarrolló más extensamente otros aspectos de su teoría, como fue el del proceso de la sensación humana a través de lo que dio a entender por *eidolas o simulacros*. Los cuerpos y objetos de la naturaleza desprenden su envoltura o apariencia externa, ya sea su forma, su color, su olor u otras cualidades, y la arroja sobre nuestros sentidos. Este proceso puede darse durante el sueño o durante la vigilia, de forma directa o a través de los espejos o de los reflejos en el agua, por lo que los simulacros comprenden todo tipo de imágenes, ya sean externas o internas. No se hace distinción entre un tipo de percepción y otra. Tan simulacro es el árbol que vemos frente a nosotros como la imagen del centauro que en la naturaleza no existe, o la de los monstruos que aparecen en nuestras pesadillas. Con ello, se pretendía construir una concepción general del mundo de las sensaciones, viéndolas no sólo como fenómenos que se desprenden de los objetos y afectan a nuestros sentidos, sino también en la unión de la realidad con el proceso de interpretación; también tenemos la capacidad de componer formas con los fenómenos naturales, de construir con la imaginación seres inexistentes, tan importantes y decisivos como cualquier otro.

*"Más para que quizá no te persuadas
que vagan sólo aquellos simulacros
que emanan de los cuerpos; por sí mismos
se forman también otros, y se ponen
en aquella región llamada el aire,
do se remontan bajo muchas formas,
mudan a cada instante de figura,
y de mil modos el aspecto tornan.
Así a las veces vemos congregarse
las nubes por lo alto en un instante,
enlutando la hermosa faz del cielo,
con movimiento al aire festejando:
parecen ser gigantes espantosos*

*que vuelan y derraman a lo lejos
la oscuridad: o bien grandes montañas
y peñas arrancadas de los montes
que preceden al Sol o que le siguen;
en fin, un monstruo que amontona nubes
y las va derramando a todas partes".²⁹*

Esta concepción de la sensación, ya sea visual, olfativa o acústica, trasciende cualquier tipo de unilateralismo o reduccionismo. Incluso hoy en día, sería difícil encontrar una visión de este tipo, tan multidisciplinar e integradora. Cuando las teorías actuales de la luz y del color han visto claramente la necesidad de entrelazar los campos de distintas disciplinas - desde la física a la fisiología, desde la biología a la psicología- para acercarse al estudio de estos fenómenos y ofrecer perspectivas integradoras, acudir a este tipo de obras, en las que ciencia y poesía caminan juntas, como motivo de reflexión e inspiración, no sería un desacierto.

El epicureísmo sobrevivió probablemente de forma activa hasta la caída del imperio romano. No se sabe bien cómo, desde la muerte del filósofo en el 270 a.C., llegó a extenderse hacia Roma. Pero sí sabemos que allí tuvo numerosos seguidores, entre ellos el propio Lucrecio, que tuvieron que soportar las continuas reprobaciones por parte del Senado Romano. Con la irrupción del cristianismo, y a medida que éste se iba desprendiendo de sus elementos heredados de la tradición helénica -como fue el caso de los nestorianos- para ir adquiriendo más poder y presencia en el mundo, el epicureísmo comenzó a ser doblemente perseguido: por el imperio decadente y por el nuevo poder cristiano. San Pablo, como comenta Clemente de Alejandría, uno de los padres de la nueva iglesia, ya prevenía a sus fieles de los filósofos en general, y de los epicúreos en particular, por su desapego de todo tipo de providencia.

El epicureísmo, como ocurrió también con los nestorianos, tuvo que buscar refugio en otras culturas más permisivas en aquel momento, y eso tendría que ser en oriente.

"Es significativo para la difusión de la actividad propagandística de la secta el hecho de que, mientras en Occidente se daba esta primera prueba del conflicto entre el epicureísmo y Roma, en Oriente, en Antioquía, aquel extraño monarca que fue Antíoco Epífanes, decía que se había convertido al pensamiento epicúreo".³⁰

El nuevo movimiento liberador que se gestaba en el seno de la desintegración del imperio romano se apoyaba para la conquista del poder en los más desfavorecidos, con un mensaje que predicaba la igualdad de los seres humanos y el amor a Dios y al prójimo como primer mandato. Si en un principio fue así, pronto el movimiento cristiano derivó en un radicalismo sustentado en un rechazo de todo tipo de filosofía racional y de tradición científica, para adoptar los planteamientos más extremos del idealismo platónico. Para empezar, había que

desligar a los pobres y analfabetos, principales baluartes del nuevo credo, de cualquier tipo de sabiduría.

"Porque no me envió Cristo a bautizar, sino a predicar el Evangelio. Y no con palabras sabias, para no desvirtuar la cruz de Cristo.

Porque dice la Escritura: Destruiré la sabiduría de los sabios, e inutilizaré la inteligencia de los inteligentes. ¿Dónde está el sabio? ¿Dónde el docto? ¿Dónde el sofista de este mundo? ¿Acaso no entonteció Dios la sabiduría del mundo?

Así, mientras los judíos piden señales y los griegos buscan sabiduría, nosotros predicamos a un Cristo crucificado: escándalo para los judíos, necedad para los gentiles; mas para los llamados, lo mismo judíos que griegos, un Cristo, fuerza de Dios y sabiduría de Dios. Porque la necedad divina es más sabia que la sabiduría de los hombres, y la debilidad divina, más fuerte que la fuerza de los hombres".³¹

Existía ciertamente una sabiduría del mundo y una nueva sabiduría cristiana. A partir de entonces la fuente de todo conocimiento sería la palabra revelada por Dios, esto es, los textos bíblicos interpretados por los sabios doctores y los milagros. La observación y la experiencia quedarían por siglos relegadas, subordinadas a una nueva ciencia dedicada por entero al espíritu.

"Y mi palabra y mi predicación no tuvieron nada de los persuasivos discursos de la sabiduría, sino que fueron una demostración del Espíritu y del poder para que vuestra fe se fundara, no en sabiduría de hombres, sino en el poder de Dios.

Sin embargo, hablamos de sabiduría entre los perfectos, pero de sabiduría de este mundo ni de los príncipes de este mundo, abocados a la ruina; sino que hablamos de una sabiduría de Dios, misteriosa, escondida, destinada por Dios desde antes de los siglos para gloria nuestra, desconocida de todos los príncipes de este mundo –pues de haberla conocido no hubieran crucificado al Señor de la Gloria- Más bien, como dice la Escritura, anunciamos: lo que ni el ojo vio, ni el oído oyó, ni al corazón del hombre llegó, lo que Dios preparó para los que le aman".³²

Con la conversión de Constantino al nuevo credo, y la proclamación del cristianismo como religión oficial del imperio por Teodosio, ambos hechos acaecidos en el siglo IV de nuestra era, se iniciaba uno de los periodos más oscuros y paralizadores del desarrollo

científico de Occidente. Sería necesario esperar casi 900 años para que la ciencia volviera a florecer en Europa. Su refugio lo encontró en los pueblos de oriente. La nueva cultura, unida a una nueva religión nacida del Antiguo Testamento, que se gestaba en los pueblos árabes, rescataría del olvido y preservaría para un futuro la tradición de los griegos e impulsaría el conocimiento científico con la aportación de su propio esfuerzo.

Capítulo 2. Los primeros indicios

2.1. Introducción

La fotografía, tal como la conocemos hasta la llegada de los sensores electrónicos de captación de imágenes, se ha desarrollado fundamentalmente dentro del campo de tres ramas de la ciencia: la óptica, la química y la mecánica. La hoy comúnmente llamada fotografía digital, que no entrará a formar parte de este recorrido, incorpora los conocimientos de otras dos ramas del saber que se desarrollan a partir de finales del siglo XIX: la lógica formal y la electrónica. Así, ateniéndonos a lo que viene a denominarse fotografía analógica o clásica, encontramos, por un lado, las lentes y los espejos, y las leyes establecidas sobre su comportamiento y sobre el de la luz que en ellos incide, como elementos del primer grupo que afectan de pleno a este medio de reproducción. Las emulsiones presentes en las placas, los negativos y el papel, y los compuestos químicos utilizados para el procesamiento de éstos, así como las leyes que regulan estas operaciones corresponden al segundo. Por último, las cámaras y otros dispositivos, en su acepción puramente mecánica, que han hecho posible la captación en su interior de las imágenes externas pertenecen al tercer grupo.

Ni que decir tiene que la catalogación de las ramas científicas está sujeta a una continua revisión, y que es precisamente en los años en los que la fotografía toma un cariz de ciencia y técnica exactas, también hacia finales del XIX, cuando el mundo científico y todas sus ramificaciones sufren una convulsión como nunca antes habían experimentado. De aquí, que para acercarnos al análisis del fenómeno fotográfico y a sus procedimientos, una opción saludable sea seguir haciendo historia, remontándonos a aquellas fechas y lugares en los que se dieron los primeros atisbos de aparición de elementos científicos y técnicos, pertenecientes a las tres mencionadas ramas de la ciencia, que inciden directamente en la fotografía. Hasta el momento hemos atendido principalmente a los aspectos epistemológicos de este nuevo medio, en el marco de los albores de la ciencia. A continuación, no estaría mal detenerse allí donde se vislumbren indicios de aparición o de creación de algún elemento científico o técnico que haya tenido una repercusión directa con el surgimiento de la fotografía. No pasaremos por alto, sin embargo, en esta parte de estudio los aspectos filosóficos o relativos a las ideas directamente emparentadas con la ciencia. No olvidemos que una de las razones principales del presente tratado es la de llevar a cabo una aproximación a un análisis interdisciplinar del mundo fotográfico, desde la óptica, nunca mejor dicho, de la historia, la ciencia y la filosofía. Vayamos, pues, a los orígenes de esta aparición de los elementos científico-técnicos que tienen una relación directa con la creación de la imagen técnica de nuestros días.

2.2. Óptica y mecánica en la antigüedad: el legado de China

Las sombras se mueven cuando el objeto o la luz que las produce se mueve; ellas, como refiere el filósofo chino Mo Ti (s. V a.d.C.), no pueden moverse por sí solas. Las sombras producen ángulos y magnitudes y, por consiguiente, son elementos para la geometría. Ya

mencionamos los estudios de Euclides sobre la perspectiva aplicada al arte escénico. Probablemente las primeras nociones sobre geometría vinieran dadas por los juegos de la luz. Luz y perspectiva han estado hermanadas desde sus orígenes. La prueba la tenemos en los espejos, otro de los elementos fundamentales en la tecnología fotográfica. Que se tengan noticias, ya existían en el antiguo Egipto, donde se han encontrado restos de ellos en ajuares funerarios femeninos. El fenómeno de la reflexión de la luz se produce en ellos de forma clara y evidente, mostrando sus ángulos, su geometría. También se ensayó su poder como arma, en una de las primeras experiencias que encontramos en la historia de ese fiel matrimonio entre ciencia y artes militares. Según cuentan las historias, fue el propio Arquímedes quien ideó un sistema de defensa del puerto de Siracusa por medio de grandes superficies reflectantes. También la polarización se produce en ellos, pero este fenómeno no entrará a formar parte de la Óptica hasta siglos venideros. Más allá de los espejos y de los primeros cristales que darán lugar a las primeras lentes, siempre encontramos la luz: la luz lo es todo. Aristóteles, tal como he comentado anteriormente, vislumbró el efecto de la cámara oscura un día en que se quedó maravillado al ver cómo a través de las pequeñas rendijas que formaban las hojas de los árboles se proyectaba contra el suelo las múltiples figuras anulares del sol de un eclipse.

La geometría de Euclides, las máquinas de Arquímedes, las precisas observaciones de los médicos hipocráticos y de los físicos jónicos, las filosofías atentas a lo sensorial y a los procesos naturales..., todas juntas van preparando, aunque parezca remoto y lejano, el terreno en el que se fijarán los cimientos del arte fotográfico. Hasta ahora, se trata de meros atisbos encontrados aquí y allá; y habrá que esperar unos siglos para volver a encontrarnos con nuevos y decisivos elementos, pues, con la caída del imperio romano, la tradición científica va a dispersarse. Europa entrará en largos siglos de oscuridad, en los que brillará de forma omnipresente la luz de un pensamiento y de una lógica de corte aristotélica, destinada a la elucubración, a la contemplación y al recogimiento, en las antípodas de los métodos de las ciencias de la naturaleza. Serán los pueblos árabes, aglutinados en torno a la nueva interpretación de la religión de Abraham, los que salvaguarden la tradición científica de la antigüedad de cara a la posteridad. Serán ellos los que comiencen una labor titánica de traducción de las obras cumbres de la ciencia griega y también los que nos acerquen a los grandes logros de los pueblos de más allá del Indo. En China, sin ir más lejos, encontramos un apego tácito a la ciencia, fundamentado en el trabajo silencioso de los artesanos. Las aportaciones chinas se remontan también a la antigüedad y han sido imprescindibles para la ciencia universal.

El proceso de formación de las filosofías y ciencias aparecidas en China hacia el s. V a.d.C. tiene en gran parte sus orígenes en la cultura y costumbres de la India. Y en líneas generales coincide en muchos aspectos, en tiempo y en contenidos, con el desarrollo del pensamiento occidental, en particular del griego. Para empezar, el periodo de mayor esplendor en la filosofía china se produce a raíz de la aparición de los textos de Confucio (551- 479) entre los siglos VI y III antes de nuestra era. Y existen numerosas coincidencias en los temas y en las formas de abordarlos dentro de cosmologías muy cercanas a las que se gestaban en el Mediterráneo por la misma época. Los seguidores de Confucio intentaron

introducir la moral de su maestro dentro de categorías sociales que estuvieran en sintonía con la naturaleza. Si las teorías de los elementos comunes a la materia formuladas por los griegos, coincidían con el agua, la tierra, el fuego y el aire, en China, contamos con la tierra, la madera, el metal, el fuego y el agua, y sus correlatos en olores, colores, etc. Existen asimismo coincidencias con los pitagóricos en el estudio de los números. Si en estas matemáticas les conducen directamente a la abstracción pura y a la formulación de posturas de carácter religioso, en China las matemáticas se aplicaron comúnmente a la adivinación y a experiencias místicas. También existe un cierto paralelismo entre una cultura y otra, si observamos que, coincidentemente, se atiende en ambas a un principio unificador que abarca y aglutina la diversidad existente en la naturaleza y en el universo; en el caso de China, lo vemos en el neoconfucianismo que rescata esta idea del budismo Mahâyâna de India. La singularidad de la filosofía china clásica descansa, entre otras cosas, en su pragmatismo, y en la formulación de una cosmología que está fundamentada en los principios opuestos del Yin y el Yang, concepción que atiende a la dialéctica de fuerzas activas y pasivas, como el movimiento y el reposo, la luz y la oscuridad, el varón y la hembra, etc. Esta dualidad, vista en todo tipo de entes y fenómenos, tendrá una gran trascendencia en el pensamiento occidental, especialmente a partir de Leibniz y de su posterior asimilación por el pensamiento dialéctico de Hegel.

Tal como señala A. C. Graham³⁴, si en China no se da un salto cualitativo en el desarrollo de la ciencia en el sentido occidental del término -esto es, llegar a establecer leyes en función de lo experimental y de formalizaciones estrictas en lenguaje matemático, como ocurrió en Europa a partir del Renacimiento-, tal vez sea debido a las diferencias existentes entre los lenguajes indoeuropeos y los chinos, y en la preferencia de estos últimos por el cultivo de la fórmula del aforismo, en contraposición a planteamientos más racionales y sujetos a los principios de la lógica formal.

Los chinos, en efecto, han estado muy influidos por el extremo opuesto de la inteligencia, el genio aforístico que expone el pensamiento de una máxima complejidad con el mínimo de palabras, cuyo ejemplo más eminente está representado sin duda en el Tao Te Ching. Aunque nadie hasta ahora haya señalado claramente los problemas elusivos que ello implica, parece probable que esta indiferencia general por los problemas de la lógica esté en cierto modo relacionada con la estructura del idioma chino. Los accidentes gramaticales de las lenguas indoeuropeas nos obligan a pensar en categorías, tales como la cosa, la cualidad y la acción pasada, presente y futura, el singular y el plural, cuyas confusiones e inconsistencias nos muestran que las formas de pensamiento presentan dificultades, lo mismo que su contenido; pero en chino las palabras no tienen desinencias y sus funciones sólo están marcadas por partículas y por el orden de las palabras, por eso existe una ilusión mucho más completa de llegar a la realidad por medio del lenguaje como si fuera a través de un órgano perfectamente transparente.

Desde nuestra perspectiva actual, tras siglos intensos de desarrollo de la ciencia en occidente, debemos reconocer que existe la tendencia a la autocontemplación y al olvido, y a defender que prácticamente el conjunto de las ramas científicas, desde la física celeste y

terrestre, a la mecánica, la geometría, la dinámica, etc., es una creación del mundo occidental; incluso que la ciencia como tal, queda formulada exclusivamente por los grandes sabios europeos, empezando por Euclides, Kepler, Galileo, y terminando en las grandes figuras del presente. Sin embargo, la contribución de Asia no debe ser menospreciada. No hay que olvidar que una de las disciplinas que mayor sentido dan a la ciencia moderna -que el Renacimiento europeo sitúa como imprescindible para la formulación de cualquier ley o principio- son las matemáticas y que éstas cobran un impulso único en las culturas asiáticas, especialmente con la aportación del cero, del valor posicional de las cifras y del álgebra. No es casualidad que el cero, esa cifra mágica que cambia por completo el curso de la historia científica en el mundo, aparezca en culturas donde existe un fuerte desarrollo de las concepciones místicas del universo y en las que la unidad y la nada están muy presentes en sus filosofías y creencias.

En las ciencias abocadas a la observación de los fenómenos, China lleva a cabo contribuciones decisivas. La Astronomía, una de las ciencias que más van a contribuir al avance de la fotografía, tiene un especial auge, entre otras cosas, porque se establecieron allí los métodos de observación propios de esta ciencia, como son el montaje ecuatorial y las coordenadas celestes, que van a ser posteriormente adoptados por Tycho Brahe y por el conjunto de la ciencia moderna europea; o también por ser precursores en la práctica del posicionamiento de las estrellas: de hecho, con el tiempo no se adoptará el sistema de las coordenadas elípticas de los griegos ni las medidas del azimut de los árabes, sino el sistema ecuatorial de los chinos. En cuanto a la esfera armilar, que indica la posición de los astros respecto a la bóveda celeste, ésta aparece simultáneamente en Grecia y en China.

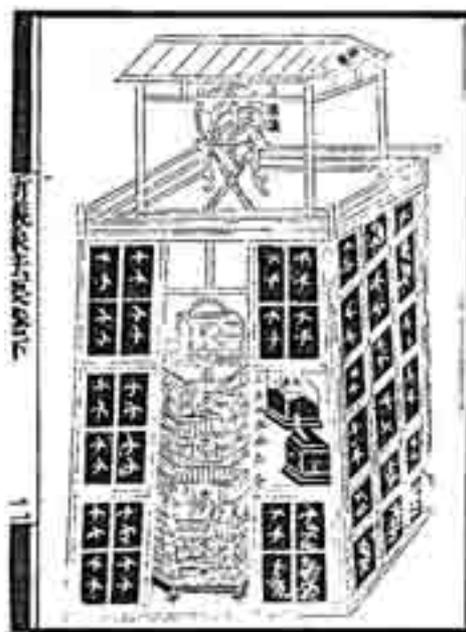


Fig. 7. Reloj hidráulico chino con esfera armilar.

"Es un hecho extraordinario en la historia de la ciencia que los chinos pudieran conseguir adelantos tan brillantes, llegando mucho más lejos que el Occidente (excepto en lo que se refiere al complicado astrolabio), sin un conocimiento a fondo de la geometría en su forma deductiva euclidiana".³⁵

Los avances chinos en astronomía tuvieron una repercusión enorme en la construcción de los primeros telescopios. Se adelantaron en varios siglos a lo que sería el montaje ecuatorial de estos instrumentos y esbozaron lo que sería el futuro "torquetum" o "turco", que sirve para trasladar las coordenadas, inventado en el siglo XII por el hispanomusulmán Jabir ibn Aflah. Asimismo, hacia el 700, fueron precursores en la invención del reloj y en aplicar los sistemas mecánicos de relojería a los telescopios y a las esferas armilares (Figura

7). Más adelante, cuando entremos en la segunda mitad del s. XIX, comprobaremos la enorme utilidad de este dispositivo para programar los telescopios y poder efectuar largas exposiciones de las placas fotográficas. También es de destacar el hecho de la invención mecánica del reloj, normalmente atribuida a los europeos, por la trascendencia que tuvo en el resto de las ciencias y por servir de base de lo que sería la nueva concepción mecánica del universo.

“En las obras del gran eclesiástico y matemático Nicholas Oresmus, que murió en 1328 siendo obispo de Lisieux, encontramos por primera vez la metáfora del universo como un inmenso reloj mecánico creado y puesto en marcha por Dios de modo que "todas las ruedas se mueven con toda la armonía posible. Era una noción con porvenir: más tarde la metáfora se convertiría en metafísica".³⁶

Otros trabajos de observación científica chinos están dedicados, muy en la línea de los *Compendios* hipocráticos, a la anatomía. Recogidos en las primeras ilustraciones conocidas de grabados en madera, pasaron desapercibidos a los hombres de ciencia europeos por la dificultad del lenguaje y lo imbricado de su nomenclatura. Algo parecido ocurrió con la tradición iconográfica de los compendios farmacéuticos, que revelan conocimientos botánicos muy precisos para la época.

No debemos olvidar que, si la astronomía supuso en su día un motor de impulso para la tecnología fotográfica, la fotografía, por su parte, encontrará numerosísimas aplicaciones y desempeñará un papel decisivo en el estudio fisiológico, zoológico y botánico, en los que la descripción de los objetos y procesos estaba limitada al dibujo y a las observaciones escritas hasta la aparición de este nuevo instrumento.

El mundo moderno, tal como empieza a gestarse a partir del s. XII en Europa, se edificará mayormente sobre tres importantes descubrimientos: la pólvora, con la que se alimentarán los cañones; el imán, que abrirá nuevos horizontes a la navegación; y el papel, que junto con los nuevos medios técnicos de impresión, abrirá una nueva época a la humanidad; los tres son invenciones chinas. A ello hay que añadir que los primeros indicios del descubrimiento de la cámara oscura se encuentran en las observaciones del sabio Shen Kua, quien en 1086 comprobó cómo la imagen de una pagoda, al pasar a través del orificio de una ventana, se proyectaba invertida en la pared contraria. Esta primicia tendría que compartirla con los sabios árabes.

2.3. El legado del Islam

La mirada profunda y viva del pueblo árabe les inclina a la observación. No sería de extrañar que la cámara oscura, en la acepción moderna del instrumento, se hubiera adivinado por primera vez en la tienda en penumbra de algún beduino del desierto, al calor de la siesta, en el transcurrir del tiempo lento del sur. ¿Cómo explicar los ojos penetrantes de esta cultura con su rechazo y abominación por el culto de la imagen? También su lengua,

abierta a todos los sonidos posibles, tal vez les facilitó la recepción y hospitalidad, cualidades tan suyas, hacia los sabios griegos que emigraron a sus tierras, tras sufrir la condena por herejes en los primeros concilios de la fe católica. Ese es el caso de los nestorianos, que se exiliaron en Persia, para luego desperdigarse por todo el oriente hasta China, al ser expulsados por el emperador bizantino. Allí, los sasánidas les dieron una cálida acogida, porque sabían que en poco tiempo construirían una academia y una escuela de medicina, contribuyendo con su presencia al florecimiento de Jundeshapur, una ciudad tan decisiva en el desarrollo cultural y científico de la época.

El célebre rey Cosroes Nushirwan (531-579) hizo de la ciudad el centro intelectual más considerable de su tiempo, donde los hombres de ciencia griegos, que habían abandonado Atenas cuando Justiniano cerró las escuelas de filosofía en 529, se reunieron con los sabios sirios, persas, e indos. Así surgió el sincretismo científico, que posteriormente desempeñó un papel importante en el desenvolvimiento del pensamiento islámico.³⁷

Persia, situada en el cruce de las civilizaciones, se convirtió en el primer foco de atracción de los sabios provenientes de oriente y occidente. Mientras en el mundo cristiano se expulsaba a los sabios griegos y se instauraba un nuevo tipo de enseñanza en las escuelas, fiel a la división escolástica del trivium y el quadrivium y apartado por principio del método científico, los árabes invadían el norte de Africa y el Asia occidental, dejando intactas las instituciones académicas y respetando el saber de los sabios bizantinos y persas. El nuevo imperio islámico preservó la academia de Jundeshapur y defendió la convivencia de las culturas árabes, judías, cristianas y persas en sus lindes. Mientras en Europa se producía una decadencia en las ciudades, en favor de la vida rural y de los monasterios, la nueva civilización musulmana fundaba nuevos focos urbanos, centros de cultura llenos de vida, y se afanaba en conservar y transmitir el conocimiento antiguo, copiando y traduciendo las obras cumbre del pensamiento griego. Este impulso dado a la ciencia, por lo demás no estuvo reñido con un desarrollo profundo de la mística y de una religión más acorde con valores absolutos, algo que se reflejaría con el tiempo en el conjunto de las culturas mediterráneas.

Los siglos VIII y IX, bajo el gobierno de los Abásidas, serán los de mayor esplendor cultural. En ellos destaca la labor de Jâbir ibn Hayyân, considerado el padre de la alquimia árabe y el primero en dar a conocer las propiedades de las sales de plata al ser expuestas a la luz, y la fundación en Bagdad de una escuela oficial de traducciones, donde se rescatará la ingente obra de Galeno, el *Almagesto* de Ptolomeo y el tratado más antiguo sobre oftalmología "*Diez estudios sobre los ojos*", entre otros. En estos años, y procedente de China, aparece también en estas latitudes el papel, soporte indispensable para que las obras griegas hayan podido sobrevivir hasta nosotros, gracias a este esfuerzo intelectual del mundo árabe.

"Gran parte de la obra científica de Aristóteles fue vertida al siríaco y al árabe por traductores desconocidos. La Física, la Meteorología, De Anima, De Sensu, De Coelo, De Generatione et

Corruptione, La Historia Animalium, juntamente con trabajos de Botánica, Mineralogía y Mecánica, falsamente atribuidos al gran filósofo, todos ellos fueron conocidos en dichos idiomas".³⁸

Pero el inicio de una ciencia verdaderamente árabe se produce con la llegada de dos eminentes científicos: Al Kindi y Al 'Khwarizmi. El primero destacará como filósofo, geómetra y físico, desarrollando una inmensa obra dedicada a la meteorología, al peso, las estaciones, la música, y, muy especialmente, a la óptica. Este sabio será un precursor de los estudios de la refracción de la luz, y del conjunto de la obra de Roger Bacon. Y el segundo, Al 'Khwarizmi, sobresaldrá en el terreno de las matemáticas y la astronomía. Los principios recogidos en el *Almagesto*, nombre árabe de *La gran creación* de Ptolomeo, se combinaron con los avances decisivos en matemáticas, provenientes de India, tales como el valor posicional de las cifras en el sistema decimal y la incorporación del cero, para dar lugar a un amplio y fructífero desarrollo de una astronomía con una mayor base de cálculo y de observación. El mismo Al 'Khwarizmi elaboró nuevas tablas astronómicas y desarrolló ampliamente las matemáticas. Fueron las traducciones posteriores de su obra al latín las que dieron a conocer las cifras árabes – las que utilizamos en nuestros días- y el álgebra en Europa.

"En su introducción, Al 'Khwarizmi define las razones que lo impulsaron a escribir su libro: "El imam y emir de los creyentes Al-Mamún... me ha alentado a redactar una obra concisa sobre el cálculo al- jabr y al- muqabala, limitado al arte del cálculo y de gran interés, que las gentes precisan constantemente para sus herencias, sus testamentos, sus sentencias, sus transacciones, y toda clase de negocios que realizan entre ellas, sobre todo la medición de las tierras, la construcción de canales, la geometría, y otras cosas del mismo género".³⁹

A diferencia del modelo aristotélico, la ciencia gozaba de un mayor sentido práctico, de aplicación de los conocimientos a realidades más concretas y más ligadas al contexto económico y social. La medicina, por ejemplo, volvió a ser la gran impulsora de la ciencia experimental. El gran médico Rhazes (865- 925) desarrolló una obra ingente en numerosas disciplinas, de la que cabría destacar sus estudios sobre Óptica y Oftalmología. Son escasas las copias que nos quedan de estos libros, pero las numerosas referencias de ellos, hechas en los siglos posteriores, nos confirman el interés de los árabes por los fenómenos de la visión y de la luz.

Con la propagación del Islam por el resto del mediterráneo, los centros de cultura y de ciencias proliferaron en ciudades como Keruán, Córdoba o Toledo. En el siglo X, destaca la labor de Avicena en medicina⁴⁰ y, nuevamente en Oftalmología, los trabajos del cristiano Ali Ben Isa y del musulmán Canamusali (Abu-l-Qasim Ammar ibn Ali al-Mawsili), quienes van a continuar la labor de los griegos con numerosos estudios, operaciones y observaciones personales. Sus obras serán traducidas posteriormente al latín y serán los libros de consulta

más utilizados en Europa hasta la llegada de la nueva ciencia oftalmológica, nacida en la Francia del s. XVIII.

Pero para el objeto de nuestra historia, Alhazen es el hombre. Abu 'Alí al Hasán ben al-Haytham, nacido en Basora en el año 965, fue quien empezó a poner orden en la incipiente ciencia óptica, concretamente en lo que a estudios del fenómeno de la visión se refiere. Para empezar, contradiciendo a Euclides y a Ptolomeo, aclaró que la visión se debe a la acción de los objetos sobre nuestros ojos, y no al revés, como afirmaban sus antecesores. Alhazen se sintió atraído enormemente por el estudio de la luz. Investigó sobre su forma de propagación así como la de los colores; se interesó por los fenómenos de ilusión óptica y, en especial, por los de la refracción. También comenzó el estudio de las formas y de los ángulos que se producen en el fenómeno de la reflexión de la luz y su erudición en estas materias quedó bien patente al exponer el problema que lleva su nombre.

"En un espejo cónico o cilíndrico, esférico, cóncavo o convexo, hallar el punto desde el cual un objeto en posición determinada se reflejará sobre el ojo, colocado en determinada posición". Este problema se reduce a una ecuación de cuarto grado, que Alhazen resuelve por medio de una hipérbola".⁴¹

La gran relevancia que tiene este científico árabe en el estudio de los antecedentes de la fotografía viene dada por su doble incursión en dos elementos que van a ser esenciales en la construcción de los aparatos fotográficos. El primero es el representado por su interés por el fenómeno de la refracción de la luz, que es el que se produce cuando la luz pasa de un medio a otro: en el caso concreto de los estudios de Alhazen, del aire al agua, al hacer pasar rayos de luz a través de vasijas cóncavas y convexas de cristal. Aquí encontramos los principios de formación de las primeras lentes, el estado embrionario de lo que se va a desarrollar tres siglos después en Italia, o lo que es la idea revolucionaria de la formación de un cristalino a semejanza del humano, que aumentará las imágenes, que las alejará, que las invertirá, o que concentrará la luz en un punto. Grandes físicos ópticos como Vitelio, Snell o Roger Bacon, filósofos como Descartes, astrónomos como Kepler, artistas como Leonardo y la mayoría de los primeros ópticos europeos han estado inspirados e imbuidos por la gran obra de Alhazen, el *Opticae Thesaurus*.

Y el segundo elemento esencial, unido a la historia de la fotografía, que trata Alhazen nos recuerda aquella visión de Aristóteles al mirar entre las hojas de los árboles la proyección del eclipse de sol. En esta ocasión, lo que el sabio árabe va a constatar será la imagen semilunar del sol formada por un eclipse cuando, al pasar a través de la cerradura de una ventana, va a aparecer dibujada en el muro contrario; con la particularidad en este caso de que el sabio árabe va a reproducir el fenómeno una y otra vez, con un sentido claro del método experimental.

"La prueba de que la luz y el color no están mezclados en el aire ni en los objetos transparentes, es que cuando en un lugar hay

*muchas velas claramente separadas y todas colocadas delante de un agujero que llega hasta una zona oscurecida y hay enfrente del agujero una pared o un objeto que no es transparente, aparecerá en ese objeto o pared la luz de esas velas, representando con toda claridad el número de ellas y cada una de ellas aparece enfrente de una vela que va en línea recta a través del agujero. Si una vela se cubre, sólo la luz de la vela de enfrente se apaga y si se quita la cubierta la luz vuelve. En una hora se puede demostrar lo siguiente: que si las luces se hallaran mezcladas con el aire estarían mezcladas con el aire en el agujero y deberían cruzarlo entremezcladas y no se separarían después. No encontramos que esto sea así. Por lo tanto, las luces no están mezcladas con el aire, sino que cada una es proyectada en línea recta, estas líneas son equidistantes, delante de los objetos mismos y las posiciones de enfrente". *Opticae Thesaurus*.⁴²*

Es ésta la primera referencia concreta que tenemos de la cámara oscura. No podía pasarle desapercibido un fenómeno así a este científico, cuando vemos el tiempo dedicado a la observación y al estudio de los fenómenos de la luz. Aparte del *Opticae Thesaurus*, escribió otro tratado titulado *De la luz*, donde nos habla de ella como una especie de fuego que se refleja en el límite esférico de la atmósfera. Y dejó numerosos escritos sobre el arco iris, sobre el efecto halo, sobre los espejos esféricos y parabólicos, con los que incluso trabajó experimentalmente, haciendo cálculos para su construcción en metales, etc. También disertó sobre el universo celeste en su obra *De los fenómenos crepusculares* y creó, incluso, una dióptrica superior a la de los griegos, recogida en su obra *El espejo ustorio*. Todo este trabajo nos da a entender su gran familiaridad con fenómenos ópticos tales como el foco, la inversión de la imagen, o la formación de anillos de colores. En definitiva, los estudios sobre la luz de Alhazen dejan preparado el terreno a la ciencia moderna en Europa, no sólo por las conquistas hechas y por los múltiples fenómenos observados y recogidos en sus obras, sino por el hecho de haber establecido, en cierto modo, los que serían las bases del verdadero método científico.

2.4. El resurgir de la cultura europea

La decadencia del Islam comienza a producirse a partir del s. XII. El imperio que se extendía desde Samarkanda a Toledo, con centros de cultura repartidos por Asia occidental, el norte de África, España y el conjunto de islas del mediterráneo, empieza a tambalearse. Y no es casual que esta crisis vaya acompañada de medidas represivas y persecuciones contra los hombres de ciencia, en una dinámica que recuerda la cultura cristiana de la época.

"Podemos decir que mientras la primitiva ortodoxia del Islam fue tolerante con las ciencias, en cambio, desde la época del famoso maestro al-Ghazali (1111) en adelante, la tolerancia fue sustituida

por la persecución de esos estudios, «porque conducían a la pérdida de la fe en el origen del mundo y del Creador»".⁴³

No obstante, hasta la expulsión de los últimos árabes de España, la ciencia de estos pueblos va a seguir ofreciendo insignes sabios y obras de gran repercusión en la ciencia venidera. La peregrinación a la Meca y a Medina servirá en gran medida para la difusión de las ideas y para la puesta al día de los estudiantes provenientes de las diferentes zonas y ciudades del imperio. Los sabios judíos, tal vez por no verse tan constreñidos por las restricciones de la ortodoxia islámica, van a destacar en estos años en ciudades como Bagdad, El Cairo o Toledo. Maimónides (Rabí Mosheh ben Maimon, 1135-1204) es uno de ellos; nacido en Córdoba, pasará la mayor parte de su vida en El Cairo donde publicará sus brillantes estudios médicos. También en este terreno destacará su paisano Averroes (Abū-l-Walid Muhammad ibn Ahmad ibn Muhammad Ibn Rusd, (1126-1198), filósofo de corte aristotélico, que hará grandes contribuciones a la medicina. Él será, no obstante, quien corrija a su maestro griego en la idea de que el fenómeno de la visión se produzca por la acción de los ojos sobre los objetos. La tendencia a combinar la ciencia médica con la filosofía, e incluso con la superstición, irá en aumento en estos años. Tan sólo la devastadora epidemia de "muerte negra" acaecida en España en el s. XIV dará la oportunidad a los médicos para volver a concepciones más afines al método experimental, al análisis y a la confirmación de los sentidos. Ben Al-Jatib, sabio granadino, así lo constata en su obra *De la plaga*.

"La existencia del contagio está determinada por la experiencia, el estudio y la evidencia de los sentidos, por la prueba fidedigna de propagación por medio de los vestidos, vasos, pendientes; se transmite por las personas de una casa determinada, por la contaminación producida en las aguas de un puerto a la llegada de personas procedentes de países infectados...; por la inmunidad en que se hallan los individuos aislados y... las tribus nómadas beduinas de Africa. Debe sentarse el principio de que cualquier prueba originada por la tradición debe ser modificada cuando está en contradicción manifiesta con la evidencia percibida por los sentidos". Esto constituía una afirmación audaz en tiempos de intransigente ortodoxia.⁴⁴

Por lo demás, los trabajos de óptica emprendidos por Alhazen, tendrán continuidad en la obra del persa Kamar al-Din. Este científico del s. XIV avanzó en el estudio de la cámara oscura, y prosiguió con los experimentos iniciados por su maestro en lo referente a la observación del comportamiento de la luz en el interior de esferas de vidrio, para estudiar la refracción de la luz del sol en la lluvia. También determinó, a raíz de estas experiencias, la existencia de los arcos iris primario y secundario.

La paulatina desintegración del poderío islámico va a ofrecer la oportunidad a los pueblos del norte de reconquistar los territorios ocupados durante siglos. Son estas

incursiones, principalmente en los territorios que hoy constituyen España e Italia, las que van a servir para establecer un primer contacto entre ambas culturas. Los ejércitos cristianos comenzarán a desplegarse hacia el sur de estas dos penínsulas, y antes de que la destrucción de los templos y las escuelas vaya a producirse, la semilla del conocimiento y de la ciencia árabe ya estará diseminada y lista para germinar por la irrupción de una nueva ciencia.

La escuela de medicina de Salerno servirá para propagar en occidente la labor de Constantino el Africano, sabio tunecino que tradujo al latín los textos árabes sobre medicina, a su vez traducciones de los originales griegos. Se trata de un primer contacto de la Europa medieval con la ciencia griega. Un siglo más tarde, también en la península itálica, en la ciudad de Cremona, Gerardo dará a conocer en latín el *Almagesto* de Ptolomeo, traducido de una versión rescatada en Toledo de 1114, así como un sinnúmero de otras obras de gran valor e importancia. Los trabajos de ciencia experimental en Botánica, Zoología, Física y Alquimia realizados en Italia se desarrollarán hasta el s. XVI, dentro de la tradición greco-arábiga; no será hasta finales de este siglo cuando empiecen los verdaderos estudios científicos, desligados de toda creencia o superstición, y tendrán lugar, una vez más, en el terreno de la ciencia experimental por antonomasia, la medicina, con disecciones anatómicas públicas ante los estudiantes de la Universidad de Bolonia. Las invasiones normandas que llegan hasta Sicilia se encargarán de propagar todo este conocimiento hacia el norte, a las ciudades y universidades más destacadas de Francia.

En la orilla occidental del Mediterráneo, será Toledo el centro cultural difusor de la ciencia árabe hacia los países nórdicos. Adelardo de Bath, filósofo y matemático inglés, y el español Petrus Alphonsi, quien llegó a ser médico de Enrique I de Inglaterra, fueron los principales artífices de la propagación del conocimiento árabe desde nuestra península. Por aquel entonces, la escuela de traductores de Toledo contaba con miles de volúmenes traducidos al latín, especialmente de textos de astronomía y matemáticas.

La Universidad de París se convertirá a partir del s. XIII en un centro difusor de la tradición científica de los árabes. Será allí donde Roger Bacon rescate el *Thesaurus Opticae* de Alhazen para redactar su obra decisiva sobre óptica. Para entonces, en el seno de Europa se empieza a vivir una transformación en todos los sentidos: las ciudades comienzan a expandirse fuera de sus murallas habituales y aparecen nuevas formas de producción de energía, con la utilización de los molinos y del carbón. A mediados del s. XV tiene lugar una invención decisiva para la propagación del conocimiento, la imprenta. Gracias a ella, son ampliamente difundidas las obras científicas greco-arábigas y, al mismo tiempo, empezarán a escribirse y a editarse las nuevas obras científicas, nacidas en Europa, que acabarán con la primacía del arabismo. Andrea Vesalio publica en 1547 *De Corporis Humani Fabrica*, obra sobre anatomía que incluye grabados detallistas que han pasado a la posteridad; Copérnico subvierte los cimientos de la astronomía con su obra *De Revolutionibus Orbium Caelestium*; Paracelso termina con la Alquimia y la medicina tradicional, animando a sus discípulos a volver a la ciencia experimental, y a olvidar a Avicena y Galeno. Se avecinan nuevos tiempos, que preconizan un nuevo despertar de la cultura y las ciencias en Europa.

Capítulo 3. La ciencia moderna

Pensemos por un momento que el progreso existe, que nos movemos en una línea ascendente por la que se camina desde la barbarie a mayores y mejores grados de civilización. El Renacimiento fue una etapa de la historia de explosión, de triunfo, de auténtico avance en todos los frentes del saber humano; en definitiva, de progreso, porque fue un renacer, no sólo a la cultura y al arte y las ciencias de los clásicos, sino también un despertar a una nueva fe en la humanidad, en los seres animales e inorgánicos del planeta, en definitiva, a una nueva reivindicación de la naturaleza. Si creemos en la evolución de la especie humana y de sus sociedades, el Renacimiento fue un paso decisivo en descorrer velos, censuras y prejuicios, que si por un lado beneficiaron a Europa y a sus pueblos, a un mismo tiempo engrandecieron enormemente las artes y las ciencias universales.

Y en lo que nos atañe, la creación de la imagen técnica, casi se podría decir que en el Renacimiento se inventa la fotografía. Si entendemos el arte y la técnica fotográficos no como algo dado y terminado, sino como un proceso, es evidente que la mayoría y los más importantes de los elementos que van a constituir este invento, nacen y toman cuerpo en estas fechas. Es norma considerar que la fotografía clásica, la que se produce por medios fotoquímicos, hace acto de aparición oficial a principios del siglo XIX, con las primeras pruebas de Niépce; y que esta partida de nacimiento queda confirmada con la fecha en la que por primera vez se logra imprimir una imagen del mundo exterior en una superficie bañada en sales de plata. Pero, al igual que hoy día asistimos a la transformación de este tipo de fotografía en lo que se ha convenido en denominar fotografía digital -hecho que puede subvertir con el tiempo los fundamentos de la fotografía tal como la conocemos-, también podemos mirar hacia atrás y detenernos en los principios, en las raíces de las que se alimenta el medio fotográfico; en las partes que han ido configurando en el tiempo, durante más de trescientos años, los distintos elementos técnicos y teóricos de los que está compuesta la fotografía. Porque el instrumento es de una gran perfección y encierra, en sí mismo, mucha sabiduría de artesanos, técnicos, científicos y artistas que han ido depositando en él su esfuerzo a lo largo de los años. Los inventos no pertenecen a nadie. De nada sirve personificar u otorgar autorías: los inventos son parte de un proceso interminable, en el que todos los que trabajan tienen su pequeña aportación. La fotografía, como cualquier otra invención humana, dispone de un amplio legado de contribuciones personales. No está de más recordar aquí, las sabias palabras de Mumford al respecto.

"Como un invento casi nunca es la obra exclusiva de un solo inventor, por muy grande que pueda ser su genio, y como es el producto de los trabajos sucesivos de innumerables hombres, trabajando en tiempos diferentes y a menudo en diversas direcciones, el atribuir un invento a una sola persona constituye simplemente una manera de hablar, es ésta una falsedad conveniente alentada por un falso sentido del patriotismo y por el sistema de monopolios de patentes, sistema que permite a un hombre reclamar una recompensa financiera especial por ser el

último eslabón en el complicado proceso social que produjo el invento. Cualquier máquina completamente desarrollada es un producto colectivo compuesto, la actual maquinaria de tejer; según Hobson, es un compuesto de cerca de 800 inventos, en tanto la de cardar está constituida por un conjunto de 60 patentes. Esto también es cierto por lo que se refiere a países y generaciones, el acervo común de conocimientos y de experiencias técnicas trasciende los límites de los egos individuales o nacionales, y olvidar este hecho es no sólo fomentar la superstición sino minar la base planetaria esencial de la tecnología misma".⁴⁵

¿Por dónde empezar entonces? Porque tenemos lentes, cajas oscuras, máquinas, cámaras lúcidas, enfoques, diafragmas, emulsiones, etc., y todas las investigaciones llevadas a cabo sobre los efectos de la luz. Como nos encontramos a las puertas del Renacimiento, ¿por qué no empezar con un elemento al que ya aludimos brevemente, que puede ser representativo de una de las esencias de la fotografía: la perspectiva?.

3.1. La perspectiva

El arte gótico encierra dos elementos que, ya de forma latente, apuntan hacia el Renacimiento. Uno es su naturalismo⁴⁶, su gusto por representar los seres de la naturaleza, las plantas, los animales e, incluso, los monstruos; el otro es la idea primitiva del sentido de la perspectiva. Es con el primer gótico y con sus esculturas aisladas en los pórticos de las primeras catedrales, cuando se vuelve a retomar un sentido óptico del espacio. Las estatuas de bulto redondo del gótico, que encontramos en los pórticos de las catedrales, resaltan bajo la forma cóncava del baldaquino, así dejan de ser un elemento atado al edificio, sin independencia alguna, y adquieren un relieve y un sentido en sí mismas. Esta corporeidad, arropada en el hueco de piedra, es un adelanto del nuevo espacio que se avecina, de ese *espacio sistemático* del que nos habla Panofsky⁴⁷, que saltará desde la arquitectura y la escultura a la pintura, bien representada, en estos años, por las *cajas escenográficas* donde Duccio y Giotto (Fig. 8) colocaban sus figuras.



Fig. 8. La fe.. h. 1305. Giotto di Bondone. Detalle de un fresco; capilla Dell' Arena, Padua.

Pero para que la perspectiva fuera surgiendo de aquí y allá hacía falta que el mundo exterior la demandara en cierto modo, puesto que nada nace por sí mismo y para sí mismo. En los años en que empezaban a construirse las primeras iglesias y catedrales góticas,

también hacían su aparición en las ciudades europeas el papel, la brújula y los cañones. Estos tres inventos chinos contribuyeron decisivamente a la creación de un nuevo mundo. De ellos, claramente sería el papel el que ayudaría con creces al surgimiento de esta nueva interpretación del espacio. Las primeras impresiones sobre papel con la ayuda de tipos grabados para letras mayúsculas datan de estas fechas. Y las imágenes dibujadas o impresas no tardarían en aparecer. También los relojes comenzaron a hacer acto de aparición en estos años, probablemente en los monasterios, donde se encargaban de regular las actividades rutinarias de los monjes; desde ahí irían luego propagándose por las ciudades. Pero es posible, como señala Mumford, que lo que realmente se estuviera gestando en el interior de los monasterios con la ayuda del reloj, además del horario de los benedictinos y de otras órdenes, fuera el trabajo cronometrado y racionalizado que, en breve, instauraría el incipiente capitalismo.⁴⁸

La era de las máquinas había llegado. Y a la vez que iban a transformar el paisaje y las sociedades de la época, iban a servir también para dar comienzo a los estudios cuantitativos de los fenómenos de la naturaleza. La medida del tiempo ofrecida por los relojes mecánicos pudo tener tanta importancia en aquellos días como la instauración de la perspectiva.

Para el nacimiento de esta última fueron necesarios la existencia y el desarrollo previo de otros elementos. Uno de ellos, ya lo hemos visto, fue el papel, como superficie práctica y útil donde representar ese nuevo espacio racional; otro elemento ya venía de lejos, las lentes. En este caso, los nuevos talleres y forjas donde trabajaban los artesanos desempeñaron un papel decisivo. Ya al comienzo de la Edad Media se levantaron hornos para la fabricación de vidrio, en un principio para ventanas y recipientes. Y es en estas fechas cuando en Murano, Venecia, aparecen los más famosos cristaleros, verdaderos genios artesanos que van a trabajar tanto en la construcción de ventanas, faroles de embarcaciones y copas, como en la fabricación de lentes, ahora bien delineadas y pulidas. Y desde Venecia, los talleres saltarán a Nuremberg, y luego a toda Europa. No deja de ser curioso que las primeras lentes para anteojos o para las primeras gafas vinieran de la mano junto a los primeros manuscritos en papel y los primeros libros. En menos de un siglo se empezarán a fabricar lentes cóncavas para los miopes.

Y un tercer elemento necesario para la aparición de la perspectiva viene determinado por el estudio de estas lentes, de sus ángulos, de sus formas, de cómo se comportan al ser atravesadas por los rayos de luz, y de su aplicación a los instrumentos ópticos. El testigo ofrecido a Europa por el gran sabio Alhazen lo va a tomar la Escuela de Oxford⁴⁹, que puede ser considerada como el primer centro intelectual europeo que rompe, todavía de forma velada, con la tradición escolástica; y en ella destacará la figura de Roger Bacon (1214- 94). (Fig. 9).

No es casualidad que la obra magna de este científico se llame *Perspectiva*. Indudablemente la configuración de este nuevo espacio representativo estuvo ligada al estudio de la óptica, de la geometría y a las diversas formas en que los artistas intentaron plasmar la realidad en sus lienzos. Las lentes y los espejos fueron profusamente estudiados

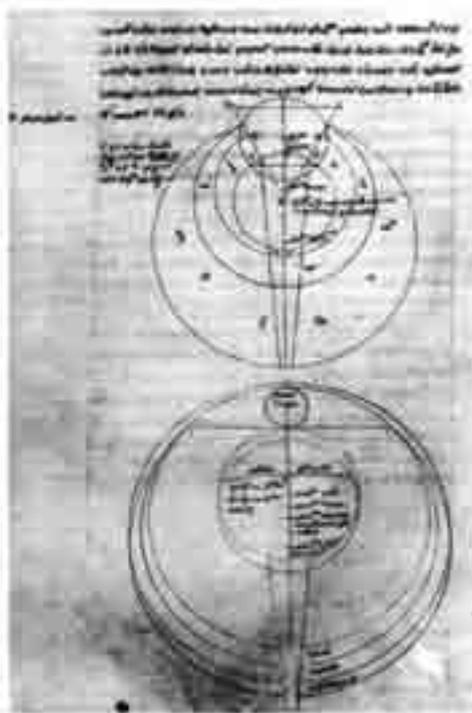


Fig. 9. Efectos de la luz a su paso por diferentes medios. Fenómenos de refracción. Roger Bacon. (1216- 1292)

por Bacon, así como los efectos de la luz al incidir en ellos, todo ello siguiendo la tradición heredada de los estudiosos árabes, como lo demuestran sus trabajos con lentes esféricas y lentes compuestas y su explicación de la formación del arco iris por medio del proceso de dispersión ocurrido en las diminutas gotas de la lluvia. También se aventuró Bacon en el intento de determinar la velocidad de la luz, comparando el efecto de su propagación con el del sonido: que el humo de los cañones fuera captado con antelación a su estruendo le sirvió para formular unas primeras aproximaciones a este fenómeno.

Los elementos del método inductivo, que un siglo más tarde van a ser formulados por su compatriota y homónimo Francis Bacon, comienzan a aparecer en la obra de este sabio. El método experimental, nacido de la observación y de la medida de los fenómenos, iba tomando cuerpo en estos oscuros años, en los que la labor científica

todavía se miraba con recelo. No es de extrañar que los resultados de las investigaciones chocaran frontalmente con la superstición y los intereses creados de la época. Las realidades intangibles, pero ciertas, que forman las imágenes virtuales de la cámara oscura y de la posteriormente denominada cámara lúcida, son intuitas ya en estos días por este científico, quien preferiría siempre atender a estos fenómenos, frente a la incertidumbre de la superstición y la magia.

"Los espejos pueden disponerse de manera que muchas imágenes, de lo que queramos, aparezcan en la casa o en la calle y cualquiera que las divise las verá como si fueran reales, y cuando corriera adonde las ve no encontraría nada. Porque los espejos estarían colocados fuera de la vista, de manera que la posición de las imágenes está al descubierto y aparece en el aire en el punto donde los rayos visuales se juntan con la perpendicular, de manera que quienes las ven corren hacia donde ven las imágenes y piensan que algo existe donde no hay nada, solo una aparición. Y así, de acuerdo con las cosas de esta clase, los temas que hemos tocado acerca de la reflexión y otros similares podrían volverse no sólo útiles para amigos y cosas para atemorizar a nuestros enemigos, sino también una importante fuente de consolación filosófica de manera que toda la vacuidad de los necios pueda ser borrada por la belleza de los milagros de la ciencia y los hombres puedan disfrutar de la verdad, dejando a un lado las falsedades de la magia."⁵⁰

No deja de ser sorprendente, a la vez que admirable, el trabajo de estos científicos en las condiciones sociales y políticas del medioevo, en las que por muy lejos que estuviera uno de renegar o de poner en duda su fe religiosa y así lo expresara fehacientemente y en público, no por ello quedaba libre de que sus escritos fueran rápidamente censurados al asomo del menor atisbo de *herejía*. Ese fue precisamente el caso de Roger Bacon, que fue encarcelado y mantenido en estrecha vigilancia por el resto de su vida, al ser consideradas peligrosas sus ideas; un autor que -sirva lo siguiente de ejemplo para obtener un retrato más preciso de la situación y de la época- describió las siete envolturas del ojo como un reflejo de lo que Dios quería expresar en nuestros cuerpos, a semejanza de las siete gracias del espíritu.⁵¹

La confrontación entre las concepciones científicas y religiosas del mundo medieval se iría acentuando con el paso de los años. Hay que tener en cuenta que nos encontramos en una época en la que todo estaba regulado por una visión arbitraria e interesada de las cosas. Es un mundo en el que las representaciones y las primeras imágenes que cobran vida sobre un papel están regidas por una falsedad y un subjetivismo que sólo beneficia a unos pocos. Incluso la cartografía, que comienza a editarse en esos años, es totalmente arbitraria, dominando en ella, como en la pintura, lo alegórico y lo subjetivo frente a la experiencia real de las distancias, vividas por ejemplo por los caminantes. Nos encontramos en la frontera entre un mundo, cuyo orden cósmico está basado en una concepción extremadamente religiosa en la que el Espacio es el cielo de los ángeles y el Tiempo, la eternidad de la condena en los infiernos, y otro mundo, que nace y reivindica un nuevo orden donde las cosas deben regirse por su magnitud y su posición, esto es, por criterios científicos.

Es en este contexto donde aparece la perspectiva. A partir de ella, el universo visual comenzará a regirse por criterios objetivos y racionales. Hasta los santos y deidades representados en los lienzos ocuparán el lugar y el tamaño que les corresponda de acuerdo a las leyes geométricas, y no ya por rango en el santoral. La nueva pirámide que regirá el espacio en las representaciones será ahora de índole geométrica, no jerárquico o simbólico como había sido hasta entonces. Porque una nueva realidad social y económica demandaba esta nueva concepción, y precisaba de una nueva relación entre los elementos de la naturaleza; las nuevas cartas de navegación, los mapas estelares, la cartografía en general, el diseño de las nuevas máquinas, etc., requerían otros criterios de funcionamiento. El mundo industrial que se construía, y que pronto iba a extenderse por los confines del planeta, necesitaba desplazar, para su funcionamiento, la antigua concepción metafísica de las cosas.

El sucesor de Roger Bacon, y que retomará asimismo la tradición de los trabajos de Alhazen, es el polaco Vitelio (aprox. 1230- 1275). En sus obras, *Perspectiva communis* (1270) y *Optikae* (1275), va a continuar los estudios sobre la refracción, atendiendo a su acción en varios medios, y en función de los colores; y más en particular estudiando el efecto de "pierna quebrada" que ésta produce. También escribirá sobre la acción de las lentes convergentes y sobre la reflexión en los espejos. Toda esta labor le va a permitir mejorar la

construcción de las lentes, consiguiendo una mayor precisión y nitidez de éstas y su aplicación a nuevos instrumentos ópticos que van a ser decisivos en un futuro próximo, como en la construcción de los primeros telescopios. Al igual que su predecesor, se interesó asimismo por la formación de las imágenes virtuales, esta vez conseguidas mediante la construcción de espejos cilíndricos, cóncavos y convexos piramidales, y también por la perspectiva. Respecto a esta última, prefirió compartir la idea clásica, ya enunciada por Lucrecio, de la inexistencia de un punto de fuga exacto y definido.

*"Un pórtico formado de columnas
paralelas e iguales en altura,
mirado en su largor desde un extremo,
se angosta poco a poco como en cono,
el techo se deprime hasta la tierra,
y el lado izquierdo juntarse al derecho,
hasta que descubren más los ojos
que el ángulo confuso de su cono".⁵²*

Vitelio rehusaba admitir que las líneas no horizontales presentes en un lienzo tuvieran que encontrarse necesariamente en un punto. La elaboración del espacio en perspectiva continuaba en un estadio de formación, predominando aún las leyes de la visión por encima de las de la representación; lo que significaba defender la opinión de que desde un punto de vista, digamos empírico- subjetivo de un observador, sería imposible percibir esta convergencia de líneas, que se produce más allá de donde nuestros ojos pueden percibir, en el infinito⁵³. Tampoco las matemáticas de la época respondían aún a estos planteamientos. El concepto de límite en el infinito, desarrollado por el Cálculo Infinitesimal, tendría que esperar aún algún tiempo.

Es lógico, por tanto, que la aparición de la perspectiva, tal como la entendemos hoy día, se demorara algún tiempo más, hasta la llegada del Renacimiento. Los elementos fueron surgiendo de forma paulatina, de un sitio y otro, ante la resistencia de una pesada tradición que se alimentaba de los siglos de arte paleocristiano, bizantino y medieval, y que mantendrían un gran peso en estos años transitorios. No podemos olvidar que en todo este periodo se vivió de espaldas a lo científico, negándose incluso la presencia de la perspectiva clásica, de la *caja escenográfica*, y siendo sustituida por una concepción espacial acorde a sus principios metafísicos, de principios más bien simbólicos que mensurables.

"La antigua forma de "mirar a través" comienza a cerrarse. Pero sucede al mismo tiempo que los diversos elementos del cuadro, que han perdido casi totalmente su nexo dinámico mimético-corpóreo y su nexo espacial- perspectivo, pueden ser unidos de un modo nuevo y en cierta manera más intrínseco: en un contexto inmaterial, pero sin lagunas, en el cual la alternancia rítmica de colores y oro, o la alternancia rítmica de claro-oscuro en cuanto al relieve, crea una unidad, aunque sea sólo colorística o luminística. Una unidad cuya

*forma particular encuentra, a su vez, en la concepción del espacio propio de la filosofía de la época un análogo teórico: la metafísica de la luz del neoplatonismo pagano y cristiano. "El espacio no es otra cosa que la sutilísima luz", escribe Proclo, con lo cual el mundo, igual que el arte, es definido por primera vez como un **continuum** y queda al mismo tiempo privado de su compacidad y de su racionalidad. El espacio se ha transformado en un fluido homogéneo, pero no mensurable y, por lo tanto, falto de dimensiones".⁵⁴*

3.2. La perspectiva y el Renacimiento

Pero el mundo avanza, y nuevas realidades se presentan a los ojos de aquella época. La irrupción del s. XV viene precedida de unos últimos años en los que han proliferado las fábricas de papel, emplazadas junto a los nuevos aserraderos, que van a ir repartiéndose por toda la geografía europea; también los nuevos modos de impresión mediante el uso de planchas con tipos de madera y de metal, el perfeccionamiento de la fabricación del vidrio, la incorporación de la energía hidráulica, que mejorará el rendimiento de las forjas y de las minas, y la fabricación de más y más cañones. También la sociedad empieza a regularse con un tiempo dividido en sesenta partes. Y los molinos de agua y de viento empezarán a moverse al compás de las nuevas embarcaciones que emprenderán lejanas incursiones por el planeta. La riqueza que todo esto va traer a Europa se traducirá en nuevos centros urbanos, en una mayor concentración de población en las incipientes megalópolis, en un comercio que se irá extendiendo por todo el mundo, en una ciencia nueva y en un arte lleno de esplendor. Es el siglo del Renacimiento. De pronto se edificarán edificios en un nuevo estilo, con más colorido y alegría; sobresaldrán los palacios de la nueva clase social que instaaura los primeros bancos y la primera industria. Y en el arte pictórico se implantará definitivamente la perspectiva moderna, esa que define a la actual fotografía. Porque los fotógrafos de ahora y de siempre han estado sujetos a este espacio racional y mensurable que queda prescrito en este siglo. Anteriormente a este modelo, la representación del espacio, ya fuera en dibujos hechos para el arte o para la ciencia, no está unificada; las figuras presentes se encuentran superpuestas, unas junto a otras sin formar un todo realmente estructurado, los tamaños tampoco obedecen a unas reglas determinadas que muestren los objetos interrelacionados. Interesaban otras cosas, o bien no se veía necesario modificar nada de lo anterior; algo parecido ha ocurrido con el arte moderno a partir de su alejamiento de la perspectiva. Y en eso mucho tiene que decir la fotografía. Lo simbólico estaba por encima de lo representacional. El enfrentamiento que se producirá entre la acción humana y la naturaleza, con el fin de explotar sus riquezas, en esta revolución industrial que acompaña al Renacimiento, requería de más calculadas acciones, de más rígidas referencias. El nuevo sistema económico que venía a implantarse demandaba, sin saberlo, la perspectiva. El antiguo espacio donde todo volaba, en el que cada elemento iba por su lado, un lugar, en definitiva, acientífico, dejó de servir; tenía que ser substituido indefectiblemente por un nuevo espacio visual en el que dominara la geometría, el punto de

fuga, las ortogonales y en suma, la perspectiva lineal. El anhelo por lo natural, por las representaciones más reales de lo que les rodeaba, del paisaje, de los retratos, etc., encontraría este modelo en el lugar y la época donde la ciencia y la naturaleza fueron tenidas más en cuenta: en el mundo clásico.

"Podemos ver claramente, en efecto, que Donatello, como su amigo Brunelleschi, había iniciado por aquel entonces un sistemático estudio de las reliquias monumentales de Roma, para ayudarse a conseguir el renacimiento del arte. Pero sería enteramente equivocado, no obstante, imaginar que este estudio del arte griego y romano originó el Renacimiento. Más bien fue al contrario. Los artistas que vivían en torno a Brunelleschi suspiraban tan apasionadamente por un renacer del arte que se volvieron hacia la naturaleza, la ciencia y las reliquias de la antigüedad para conseguir sus nuevos propósitos".⁵⁵

La herramienta técnica que les iba a proporcionar este sueño sería la perspectiva, en su nueva conformación, sustentada en el avance de las máquinas, de los instrumentos, de la óptica y de la geometría del momento. Hacía falta solamente el poder y la visión de una mirada racional; y para ponerse manos a la obra en ese nuevo espacio, bastaba con una ventana. (Fig. 10 y 11). Se entendió que era necesario encuadrar la mirada a través de una



Fig. 10. Dürero. Nuremberg, 1538. Biblioteca Nacional de París.

apertura rígida e inamovible, porqué no, de una ventana; en realidad, eso es lo que hacemos hoy día, cuando tomamos fotografías. Pero en aquel entonces, lo que se nos ofrece ahora de forma automática, con solo apretar el disparador de la cámara, el famoso "*Ud. dispare, nosotros haremos el resto*", estaba aún por hacer. Una vez dispuesta la ventana, el proceso de descubrir todas las reglas para la composición del cuadro llevó su tiempo. Había que encontrar primero una línea de fuga, que empezó a pintarse en los techos; luego en los suelos, mediante el delineado de cientos de baldosas perfectamente encuadradas, y en disposición precisa y geométrica. Serán estas cuadrículas las que ayuden en su prolongación hacia el infinito a encontrar el punto de fuga. No hay más que seguir la pintura realizada en este siglo para recorrer este camino desde un punto a otro de la representación del espacio.

Se tardará algún tiempo también en alinear las ortogonales laterales hacia el punto encontrado, como si hubiera problemas de adaptación del ojo humano a la idea visual del infinito. Son Jan van Eyck (1390?-1441) y sus contemporáneos los que consiguen por primera vez unificar todos los planos, aunque todavía de una forma imprecisa. Era necesario un último escalón, que era la fijación matemática de los parámetros de ese espacio, hecho que probablemente se consiguió por primera vez en Italia, de la mano de la arquitectura de Brunelleschi, y luego en pintura, tal vez en el fresco de la Santísima Trinidad (1425-28) (Fig. 12) de Masaccio (Tomaso di Giovanni, 1401- 1428), que inauguraría toda una revolución pictórica. Y a partir de entonces, entendámonos, todos los cuadros parecerán fotografías.



Fig. 11. Xilografía de Durero. 1525.

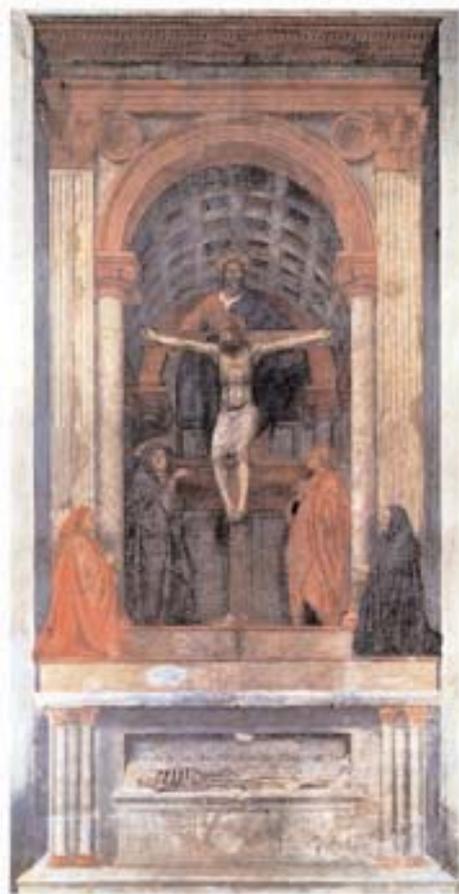


Fig. 12. La Santísima Trinidad. (1425-8) Masaccio

"Esta revolución no consistió solamente en el recurso técnico de la perspectiva pictórica, aunque ésta en sí debió constituir una novedad asombrosa al producirse. Podemos imaginarnos la sorpresa de los florentinos al descubrirse esta pintura mural, como si fuera un agujero en el muro a través del cual pudieran ver una capilla en el moderno estilo de Brunelleschi. Pero quizá quedaron más asombrados todavía ante la simplicidad y la magnitud de las figuras encuadradas por esta nueva arquitectura".⁵⁶

La definición matemática, o mejor dicho geométrica de este nuevo espacio, que va a fijar un antes y un después en la historia de la representación gráfica, quedará sellada con la máxima de L. B. Alberti (1404- 1472) "El cuadro es una intersección plana de la pirámide visual". A partir de este momento, queda establecido el poder de representar imágenes externas, el mundo, en una superficie de espacio único e infinito. Y este espacio racional, construido a partir de un punto de vista, el del observador, es ciertamente la piedra angular en la que se sustentarán la pintura, el dibujo, el grabado de un futuro, etc., y el mismo espacio que prevalecerá en la creación de la fotografía.

Lo que nos une a los millones de fotógrafos de hoy y a los dibujantes y pintores de aquel siglo es la ventana por la que todos construimos nuestros paisajes y por la que retratamos a nuestros modelos. La ventana es la base de la pirámide, la forma que va a determinar la composición del nuevo espacio. El mismo Alberti comenzó esta tarea, pero en vez de una ventana, echaría mano de un bastidor con un velo traslúcido por el que podía mirar el objeto de su pintura, y de esta manera poder realizar apuntes sobre el tamaño, proporciones, disposición en el espacio, etc., de las figuras.

"Al contrario, muchas veces sucede que solo un buen dibuxo basta para agradar: por lo cual el dibuxo es en lo que mas se ha de insistir; para cuyo estudio creo que no puede haber cosa que mas ayude y aproveche que el velo, de cuyo uso soy yo el primer inventor en ésta forma. Tómese un pedazo de tela transparente, llamada comúnmente velo, de cualquier color que sea: estirada ésta en un bastidor, la divido con varios hilos en quadros pequeños e iguales a discreción; póngase después entre la vista y el obgeto que se ha de copiar, para que la pirámide visual penetre por la transparencia del velo".⁵⁷

Era lógico pensar que la primera instrucción que diera este artista a sus discípulos fuera el estudio de la geometría, no ya en el sentido especulativo con el que Platón advertía a sus alumnos de la Academia -"No entre aquí quien no sepa de Geometría"-, sino en el contexto de lo científico y del amor por la naturaleza. Porque la pintura, a partir de Alberti, y sobre todo de Leonardo (1452-1519), se va a aproximar a la ciencia mucho más de lo que nunca lo había hecho. Se pretenderá incluso verla como una ciencia más; fijar la naturaleza, como último fin y modelo de todo lo que el hombre podía crear, acercaba irremediabilmente el arte a la ciencia. De aquí que para Leonardo la perspectiva sea la herramienta básica, imprescindible para todo pintor y dibujante, en su aproximación a la naturaleza.

"El joven debe ante todas cosas aprender la Perspectiva para la justa medida de las cosas: después estudiará copiando buenos dibuxos, para acostumbrarse á un contorno correcto: luego dibuxará el natural, para ver la razón de las cosas que aprendió antes; y últimamente debe ver y examinar las obras de varios Maestros, para adquirir facilidad en practicar lo que ya ha aprendido".⁵⁸

El *Tratado de la pintura* de Leonardo nos confirma la estrecha relación existente entre el arte de la época y las obras que hoy conseguimos por medio de la fotografía; la perspectiva, común a ambos, sitúa estas dos formas de expresión en un mismo campo, con unas mismas reglas. De aquí, que el *Tratado* no sea un canon de actuación exclusivo de pintores, sino que también se presente de una gran utilidad para cualquier fotógrafo. En él están tratados numerosos temas que afectan a la actividad fotográfica de hoy: cómo situar las luces para un retrato, el efecto del halo atmosférico en los paisajes, la composición de las figuras, la

mirada, los colores, etc. Y es más, ese carácter científico que Leonardo quiso con tanta vehemencia imprimir en el oficio de la pintura, y que es compartido evidentemente por la fotografía, se muestra en el apego por lo natural que evidencian ambos métodos, por el mundo tal como se presenta a nuestra mirada. Aquí no existen modelos idealizados que seguir, que cumplan medidas exactas y perfectas, ni un concepto de lo bello que se deba a lo metafísico o al mundo de las ideas; el modelo, aquí, queda dictaminado por la naturaleza, por lo que existe ante nuestros ojos, tal como es, tal como se manifiesta ante nuestros sentidos.

"Siempre debe anhelar el Pintor á ser universal, porque si unas cosas las hace bien y otras mal, le faltará todavía mucha dignidad, como á algunos que solo estudian el desnudo, según la perfecta proporción y simetría, y no advierten su variedad: porque bien puede un hombre ser proporcionado, y ser al mismo tiempo grueso, alto, algo baxo, delgado o de medianas carnes; y asi el que no pone cuidado en ésta variedad, hará siempre sus figuras de estampa, y merecerá gran reprehensión".⁵⁹

La gran maestría de este pintor radica, por tanto, en añadir al conocimiento científico de la época -en este caso a la perspectiva- su gran capacidad de observación de los fenómenos, de los colores, de las formas y de las líneas, junto con el oficio de la pintura como tal, o sea,



Fig. 13. Bastidor trasparente para dibujar. Codex Atlántico 1510. Leonardo da Vinci.

la destreza del artesano. De esa forma pudo conseguir niveles de expresión de una sutileza enorme, no sólo en las miradas de sus modelos, o en la paleta tan personal de sus colores, sino también en la representación de la luz, como en esa luminosidad tenue y delicada, *submarina*, que envuelve a La Gioconda, y que se encuentra en el límite de lo imposible.

tamaños, las proporciones y, sobre todo, el problema que parecía quitar el sueño a la mayoría de los pintores, el escorzo.

No es de extrañar que la ventana de Leonardo fuera de vidrio (Figura 13); en vez de un velo, como ideó Alberti, utilizaba un cristal con el que poder trazar el contorno de sus modelos y dominar así las dificultades propias del dibujo: las líneas y puntos de fuga, los

"Se tomará un cristal del tamaño de medio pliego de marca, el cual se colocará bien firme y vertical entre la vista y el objeto que se quiere copiar: luego alexándose como cosa de una vara, y dirigiendo la vista a él, se afirmará la cabeza con algún instrumento, de modo que no se pueda mover a ningún lado.

Después cerrando el un ojo, se irá señalando sobre el cristal el objeto que está á la otra parte conforme lo represente, y pasando el dibujo al papel en que se haya de executar; se irá concluyendo, observando bien las reglas de la perspectiva aérea.

En todo quadro siempre se debe considerar que le ven por una ventana, según el punto de vista que se tome. Y si se ofrece hacer una bola circular en una altura, será menester hacerla ovalada, y ponerla en un término no tan atrasado, que con el escorzo parezca redonda".⁶⁰

La conquista de su famoso *sfumatto*, entendido como la tenue dilución de las luces y las sombras en los contornos de las figuras, de “carnes transparentes”, tuvo que estar ligada indudablemente al uso de este tipo de artificios, en especial de la ventana de vidrio.

La aproximación científica de Leonardo a la pintura le hizo estar muy al tanto de los adelantos de la época en cuanto a óptica y geometría se refiere (Figs. 14 y 15); también,



Fig. 14 y 15. Torno de alfarero para hacer espejos de gran distancia focal; y máquinas para esmerilar espejos, respect. Cuadernos de notas. Leonardo da Vinci.

cómo no, de la cámara oscura, de la teoría ondulatoria aplicada a la propagación de la luz, y del estudio de la fisiología y de las anatomías humana y animal. (Fig 16 y 17). Por eso, sus dibujos de figuras que portan cargas, que lanzan objetos, que avanzan contra el viento, que luchan y se esfuerzan, de caballos al trote, recuerdan tanto a las cronofotografías de los estudios fisiológicos de Marey, Muybridge o Anschütz, realizados en s. XIX. (Fig. 18). Leonardo se enfrenta al neoplatonismo de la época no sólo con su defensa de una pintura naturalista contraria a la idealización propia de las pinturas

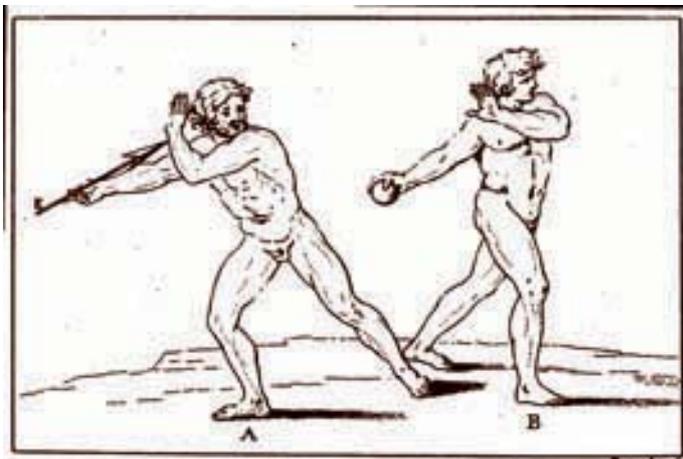


Fig. 13 Lámina III. Tratado de pintura. Leonardo da Vinci

anteriores del medioevo o de contemporáneos como Miguel Angel, sino también al anteponer el movimiento de las figuras como principio formal y emotivo de su arte a la belleza, entendida como un ideal más allá de la realidad y la naturaleza.

Si prescindimos de la fijación de la imagen en el papel, vidrio o celuloide, que es el factor decisivo que culmina el invento fotográfico, y que no llegará hasta los años de Niépce, Daguerre o Talbot, podemos aventurarnos a decir que la existencia de la fotografía ya se presiente en estas fechas del Quattrocento. Mirando hacia atrás, desde estos primeros días del s. XXI, dentro de lo que es la historia de las obras de arte y de las técnicas de representación y reproducción gráficas, comprobamos que cada fase por la que se ha pasado no obedece a momentos aislados, o a formas de ver la realidad, independientes unas de otras, sino que asistimos a un proceso, a una evolución, en la que



Fig. 17. Lámina VI. Tratado de pintura. Leonardo da Vinci



Fig. 18. Albert Londe y Jules Marey (sentado) realizando estudios fotográficos del movimiento humano. 1894. Anónimo. Societé francaise de photographie. París.

cualquier modo de representación, incluida la fotografía, no es más que un escalón en el interminable camino de la historia de la tecnología, en este caso aplicada a la imagen. A partir del Quattrocento todo nos parecerá, desde nuestra posición y visión modernas, cada vez más fotográfico. Las pinturas que Durero (1471- 1528) realizará de plantas y animales, vistas en una escala de grises, se desvelan como auténticos antecedentes de este invento decimonónico. (Fig. 19 y 20). Por no mencionar sus retratos. Nada es comparable, desde luego; tan sólo tratamos de señalar el elemento

común que comparten. Por algo, este pintor fue a Italia a estudiar la perspectiva. La unificación que el Renacimiento llevó a cabo entre ciencia y arte, y que parece perderse en los siglos siguientes, vuelve a surgir vivamente con la aparición de la fotografía, pues en ella se reúnen de nuevo elementos de una y otra disciplina.

No es casualidad que a partir de estos años, y a raíz de la asimilación de la perspectiva por el colectivo de grabadores, pintores y dibujantes, proliferara la representación naturalista de todo tipo de objetos, animales, plantas, minerales, etc., como si de un



Figs. 19 y 20 Hierbas en un prado. 1503. Alberto Durero. Galería Albertina. Viena. Original y copia en blanco y negro, respectivamente.

coleccionismo fotográfico se tratara. (Fig. 21 y 22). Se organizaron las "cámaras de maravillas" para guardar todo tipo de artefactos y objetos, que por su originalidad merecieran la pena ser conservados. Y junto a esta actividad museística se produjo otra de carácter más científico que promovió colecciones de *naturalia*, que iban a verse ampliamente enriquecidas tras la conquista del nuevo mundo. (Fig. 23). La proliferación del grabado de tipo científico impregnó también el campo de los pintores; famosos son los cuantiosos bodegones que van a realizarse a partir de estas fechas, inspirados por este tipo de obras, o como las ya mencionadas obras de Durero sobre botánica y animales. Dentro de



Figs. 21 y 22 Cangrejo. 1491, y liebre. 1502. Alberto Durero. Museo Boymans- van Reuningen. y Galería Albertina. Viena, respect.

esta dinámica hay que destacar los espléndidos grabados de Vesalio (1514- 1564), publicados en su libro *Fábrica del cuerpo humano* (1543), en el que se perfila con todo detalle un completo atlas anatómico de aplicación médica. (Fig. 24). Son dibujos copiados del natural, según la leyenda, a partir de cadáveres robados de hospitales y cementerios, cual doctor Frankenstein. No hay que olvidar que la cirugía y la medicina a estos niveles tan físicos no estaban bien vistas por las autoridades eclesiásticas del momento. Esta tradición pictórica, que se plasmaría mayormente en forma de grabados y dibujos, va a perdurar hasta nuestros días. Aunque sufrió un cierto declive precisamente con la llegada de la fotografía, las publicaciones periódicas de tipo científico que vienen publicándose desde el s. XIX, acostumbran a incluir este tipo de obras en sus números, especialmente en aquellas ocasiones en las que se acude al dibujo más por su capacidad de exposición didáctica y



Fig. 24. La quinta placa de los músculos, 1539- 41. Andreas Vesalio Bruxellensis Icones Anatomicae.



Fig. 23. Nova Plantarum, Animalium et Mineralium Mexicanorum Historia. 1651. Francisco Hernández.

bella, frente al mayor rigor y fehaciencia que consigue la fotografía. También se ha cultivado la fórmula mixta, la del grabado extraído previamente de una fotografía, algo que entra dentro de la tradicional utilización que los artistas hacen del medio fotográfico.

La perspectiva, en definitiva, junto a la nueva astronomía formulada por Copérnico, desbancó la visión aristotélica de un universo construido alrededor de una tierra inamovible y centro de todo lo existente; a partir de ahora, se configurará un espacio ilimitado y abierto, contemplado desde un punto de vista elegido a voluntad por un observador, y determinado matemáticamente. La ciencia comenzaba a renacer de nuevo, insuflando con su espíritu el resto de actividades humanas, desde la astronomía a la pintura, desde la medicina a la física. La observación del mundo y de sus fenómenos se volvía de pronto objetiva. Las puertas a la investigación experimental se abrían nuevamente.

3.3. El método científico

El siglo XV, aparte del valioso y determinante legado de la perspectiva, abrió las puertas a otro invento decisivo en la historia de la humanidad, la imprenta moderna, nacida en los talleres de Gutemberg entre 1440 y 1460. (Fig. 25). Los primeros intentos de impresión mecánica fueron coetáneos a la creación del papel en China; también Japón y Corea están entre los primeros países en conseguir impresiones en bloques. E incluso antes de llegar a Europa, la impresión, en su acepción mecánica, ya fue conocida en Turquía, Persia y Egipto. Como ocurrió con la mayoría de las invenciones originadas en Oriente, fueron los árabes los artífices de su llegada a Europa.

Primero se empezaría a imprimir en Italia; pero la imprenta, en la acepción moderna del término -o sea, cuando incorpora la prensa y los tipos móviles- va a ponerse en funcionamiento por primera vez en los talleres de Gutemberg, en Maguncia, Alemania. Sus piezas, ya estandarizadas y fabricadas en serie, eran un buen ejemplo de la joven industria y mecánica de la época. La imprenta y el papel abrieron las



Fig. 25. Danza de la muerte. Lyon. 1499. Representación de la prensa como la muerte.

puertas a un nuevo modelo de civilización; los cambios sociales causados por estos dos elementos son sólo comparables a los que originaría siglos más tarde el objeto de nuestro estudio, la fotografía. La documentación (contratos, recibos, dinero, etc.) y la difusión del conocimiento (libros) cambiarían las normas y el comportamiento de las nuevas sociedades.

A los pocos años de la aparición de la imprenta en Europa comienzan a aparecer los primeros libros con ilustraciones, algo que la nueva sociedad demandaba con fuerza, especialmente los profesionales provenientes de los talleres de pintura y de los distintos oficios. Los textos, por sí solos, no podían cubrir con sus descripciones la complejidad inherente a una maquinaria, a un utensilio o a la apariencia de una obra de arte. Aunque las primeras xilografías y grabados al metal dejaban mucho que desear por su apartamiento del original, por su tosquedad, por el tipo de papel, o por no poderse imprimir en las mismas planchas que los textos, el público les dio la bienvenida y los aceptó con agrado. A la Biblia publicada por Gutemberg, le siguieron el *Edelstein*, una recopilación de cuentos, el *Torquemada*, un libro de oraciones, y el *Valturius*, un manual de herramientas; a partir de 1480 comenzaron a publicarse libros de botánica, predominando los distintos herbarios (ver Fig. 23), de astronomía, como el *Sphaera Mundi*, de Sacrobosco, y libros de toda suerte de temas: arquitectura, anatomía, zoología, numismática, de viajes, etc.

Para finales del siglo XV ya se imprimen todo tipo de ilustraciones por medio de tres técnicas fundamentalmente: xilografías, grabados al metal y aguafuertes, estando dominadas cada una de ellas por los talleres de pintores y tallistas, los orfebres y plateros, y

los armeros, respectivamente⁶³. Esta incorporación de la imagen a los libros fue un paso decisivo en la difusión del conocimiento, por primera vez la imagen entraba de pleno derecho en las labores de difusión de la cultura, el arte y las ciencias. El hecho de que se pudieran hacer tiradas cada vez más numerosas sobre toda suerte de materias permitió, especialmente a las clases más acomodadas, acercarse a realidades hasta entonces inaccesibles.

De hecho, la mayoría de los inventos eran creados por esta nueva clase y por este nuevo tipo de conocimiento técnico, proveniente en gran parte de las nuevas publicaciones, de la experiencia en los talleres, tanto de forja como textiles, del día a día de los nuevos industriales, de los navegantes, en definitiva, de un sector de la población que no estaba unido necesariamente a los monasterios o a lo religioso. La óptica, por ejemplo, va a ser rescatada por los pintores de las manos de los clérigos y de los filósofos, para ser despojada de ese halo de misticismo aún rémora del medioevo, para cobrar así un sentido más profano y utilitario. Hasta en los temas de la pintura se va a constatar esta tendencia. Miguel Ángel profanaba con faunos somnolientos provenientes de juergas dionisiacas las representaciones de la Madonna, consiguiendo con ello una bella mezcla de lo sacro y lo profano⁶⁴. Ese mismo sentido de liberación dominaba también en la ciencia. El Renacimiento, como apunta Walter Pater⁶⁵, se desdobra en dos tendencias que lejos de contradecirse, se complementan perfectamente: una, la de buscar la inspiración y la nueva medida de las cosas en un mirar hacia atrás, hacia la cultura clásica, sobre todo de los griegos; la otra, en acudir a la naturaleza con el afán de encontrar un nuevo sentido de la realidad, y nuevas y válidas experiencias. Rafael y Leonardo serán los claros representantes de una y otra tendencia.

Volviendo a la óptica, también dejó atrás el Quattrocento la primera experiencia con la linterna mágica, ese invento con el que se creaba la ilusión del movimiento mediante la proyección de sombras y figuras contra una pantalla. Giovanni da Fontana, de Padua, la utilizó en 1420, poniendo el primer hito en los antecedentes del cinematógrafo. Y la cámara oscura siguió interesando profundamente tanto a pintores como a científicos, pues, si bien la perspectiva permitía determinar el punto de fuga, el uso de las paralelas, el escorzo, etc., no proporcionaba sin embargo los detalles del cuadro y otros elementos tan importantes como el brillo, la presencia de la luz, los pliegues de los vestidos; todo esto se iría consiguiendo con el uso de la cámara oscura y de las lentes. Leonardo era muy consciente de la gran ayuda que podía aportar este aparato: para él, la visión que facilitaba era semejante a la que se formaba a través del cristalino humano.

"Yo digo que si el frente de un edificio – o una plaza abierta o un campo- que está iluminado por el sol, tiene una vivienda enfrente de él, y si, en el frente, que no está orientado al sol, usted hace un pequeño agujero redondo, todos los objetos iluminados proyectarán sus imágenes a través de ese agujero y se verán dentro de la vivienda sobre la pared opuesta que puede haberse hecho blanca; y allí, de hecho, estarán al revés, y si usted hace aberturas similares en varios lugares en la misma pared, tendrá el mismo o resultado de cada uno..."

Cómo las imágenes de objetos que recibe el ojo se intersectan dentro del cristalino del ojo".⁶⁶

Según Leonardo, la perspectiva es un juego que se establece entre el objeto y el sujeto que la mira, pero, recordándonos con sus palabras a Demócrito, la perspectiva para él, dependerá de la persona, está dentro de nosotros. Tanto la Geometría como la Pintura son consecuencia de la visión humana, de su naturaleza.

Nos encontramos a un paso de que se produzca la asociación de lentes y cámara oscura, con lo que prácticamente tendríamos ya en nuestras manos, lo que será en el futuro la cámara fotográfica. Los pintores de la época no tendrían aún con qué fijar la imagen, pero con esta combinación iban a solucionar todos aquellos problemas que mencionábamos: los pliegues en el ropaje, el brillo de las armaduras, la fijación de la luz, y cómo conseguir un mayor relieve.

La primera referencia con la que nos topamos en la que se vislumbra la idea de poder construir una cámara oscura con lente, nos la trae en 1550, Gerolamo Cardano (1501- 1576).

"Si quiere mirar esas cosas que están en la calle, coloque una lente convexa en la ventana cuando el sol brille con intensidad; tras haber oscurecido la ventana verá las imágenes llevadas a través de la abertura hasta la superficie de enfrente, pero con colores apagados. Por lo tanto, coloque un papel muy blanco en el lugar donde ve la imagen y logrará el efecto deseado con resultados asombrosos". De subtilitate.⁶⁷

Pero será unos años más tarde, que Giambattista Della Porta (1534- 1615) ofrezca una definición muy concreta de lo que va a ser este aparato en su obra *Magia Naturallis* (1558), texto completísimo sobre óptica, ampliamente difundido en aquellas fechas, .

"Ahora declararé lo que he ocultado hasta este momento, y pensé ocultar siempre. Si pone un pequeño cristal lenticular en el agujero, en seguida verá todas las cosas más claras, los semblantes de los peatones, los colores, las prendas y todas las cosas como si estuviera de pie al lado de ellas; las verá con mucho agrado; quienes las ven no pueden admirarlas lo suficiente. Pero si desea de nuevo coloque el cristal, no el que disipa por medio de dispersar, sino el que congrega por medio de unir; acercándose a él o alejándose de él, hasta que conozca la verdadera cantidad de la imagen, mediante una debida propincuidad del centro; y así el espectador verá con más fidelidad los pájaros volando, los cielos nublados, o claros y movidos por el viento, montañas que están lejos...".⁶⁸

Llama la atención, al leer estas palabras, la descripción que Della Porta nos ofrece del movimiento de las nubes y de los pájaros. La cámara oscura es el cinematógrafo perfecto, infinitud de fotogramas y vida a borbotones. En la ciudad de Cádiz, concretamente en la torre de Tavira, se puede asistir en nuestros días al fabuloso espectáculo de contemplar su amplia bahía azul, con sus barcos y gaviotas, así como el ajetreo cotidiano de la ciudad, a través de una cámara oscura allí emplazada. Y si del texto anterior también se desprende ya la idea del enfoque, consistente en acercar y alejar el plano donde se forma la imagen, diez años más tarde, en 1568, será Daniel Barbaro (1513- 1577) quien nos ofrezca en su obra “*La práctica de la perspectiva*” (1568), una explicación más en detalle de esta técnica, añadiendo incluso la posibilidad del uso del diafragma y de lentes biconvexas.

"Una vez hecho un orificio, por el que quiere observar, tan grande como un cristal de gafas, en la ventana de una habitación, coja una lente de un hombre mayor, convexa por los dos lados, no cóncava, como las de los jóvenes que tienen poca vista; luego, una vez fijada al orificio, cierre todas las puertas y ventanas de la habitación de forma que no entre nada de luz, excepto por donde está la lente. Ahora, coja una hoja de papel y colóquela enfrente de la lente; así podrá ver todo lo que está fuera de la casa. Este efecto se producirá de forma más nítida a una determinada distancia, algo que se consigue situando el papel más o menos lejos, hasta encontrarse la posición correcta. De esta forma, verá las imágenes en el papel tal como son, y sus gradaciones, colores, sombras, movimientos, nubes, las ondas del agua, los pájaros volando, y todo lo que se pueda ver. Para este experimento el sol debe ser intenso y radiante porque es su luz la que tiene el poder de hacer visibles las imágenes. Una vez que se decida a llevar a cabo este experimento, debe elegir las lentes más apropiadas para ello; así como cubrir la lente, dejando abierta sólo una pequeña circunferencia en el medio; de esta forma obtendrá un efecto mucho más claro. Por lo tanto, si observa en el papel el perfil de las cosas, podrá dibujar con un lápiz la perspectiva, y las sombras y los colores de acuerdo a la naturaleza, manteniendo el papel terso hasta que haya completado su dibujo".⁶⁹

Aquí se encuentra una posible explicación a esa tendencia de querer ver siempre la fotografía como un medio más ligado a lo pictórico que a lo científico; este hecho, que fue el que dio pie al presente estudio: la ausencia de referencias científicas en la mayoría de las historias de la fotografía, podría deberse a esta asociación constante de la tecnología fotográfica con la facilitación del dibujo. Ya en sus orígenes, con Niépce y Talbot, ocurrirá un tanto de lo mismo: los intentos pictóricos y la afición por el arte de este par de científicos, uno queriendo ahorrar esfuerzos a grabadores y dibujantes en sus litografías, y el otro empeñado en dibujar el lago Como con la ayuda de cámaras oscuras y lúcidas, son los que promovieron en gran medida la creación de la fotografía.

La Óptica se va a convertir en estas fechas en una disciplina determinante para el avance científico. La observación de las estrellas va a promover la elaboración del primer mapa astronómico, a mano de Alessandro Piccolomini, que probablemente va a ser decisivo en la obra magna de Copérnico *De Revolutionibus Orbium Caelestium*. No es necesario resaltar la trascendencia que va a tener esta nueva interpretación del cosmos, en la que por primera vez se sitúa al sol en el centro del universo, en la ciencia y en la sociedad de entonces. Pero serán las invenciones del microscopio y del telescopio en torno al cambio de siglo, lo que va a catapultar la ciencia a posiciones nunca conseguidas hasta la fecha. La observación de los fenómenos, piedra angular como hemos visto del conocimiento científico, va a multiplicar su potencialidad gracias a estos dos aparatos. Como ocurrirá en su día con la fotografía, estos instrumentos abrirán nuevas fronteras a la ciencia, tanto en el estudio del macrocosmos como del universo de lo invisible y de lo diminuto. Hacia 1590, Z. Jansen saca a la luz el microscopio compuesto; y, aunque se sabe que los chinos y los árabes ya tenían amplios conocimientos del telescopio, se suele atribuir su invención a Lippersheim, quien lo recomendó a su vez a Galileo. Este lo perfeccionó, consiguiendo construir su versión moderna en 1608.

La Óptica y los estudios sobre la luz fueron por estas fechas una rama de estudio obligado. Va a ser Johannes Kepler, con su obra *Ad Vitellionem Paralipomena*, publicada en 1604, el verdadero creador de la Óptica moderna. En esta obra se van a conjugar los adelantos de esta nueva ciencia con la amplia tradición de los estudios astronómicos. Kepler estudia, con verdadero sentido del método experimental, fenómenos tan importantes como la refracción de la luz que producen los astros en las capas de la atmósfera, la disminución del diámetro de la luz en los eclipses de sol, o el movimiento elíptico de los planetas. También esbozó la construcción de un telescopio y, como buen aficionado a la pintura, conoció el procedimiento de la cámara oscura a la perfección.

"Un paisaje. Monta una pequeña tienda negra en el campo, de forma fácil, portátil y convertible como un molino de viento en cualquier parte a gusto de uno; ... exactamente, cerrado y oscuro, salvo un agujero, una pulgada y media de diámetro al que se aplicará una caja larga de perspectiva, con una lente convexa, sujeta a dicho agujero; y el lado cóncavo, en el otro extremo, se prolongará hasta el medio de la tienda, de forma que recoja los rayos de los objetos en un papel; de esta forma de podrán trazar con la ayuda de un lápiz en su apariencia natural; girando la tienda hasta que hayas delineado todos los lados del lugar... Seguramente no hay pintor que pueda superar la precisión de esto...".⁷⁰

La instalación de este tipo de tiendas que albergaban en su interior la cámara oscura fue norma común en los estudios astronómicos de Kepler y de Robert Boyle. Sin embargo, la gran aportación de Kepler a la ciencia será la de aplicar el cálculo matemático a sus observaciones, años antes incluso que el propio Galileo. Con ello se adelantaba a la

formulación del método científico moderno y al sueño posterior de Newton de explicar el movimiento de los planetas con la armonía de los números.

3.4. El *Novum Organum*

El ritmo cambiante de los acontecimientos, provocado por la aparición de las múltiples invenciones, junto a nuevas realidades sociales y económicas que se sustentaban en la recién creada industria, estaba demandando de los filósofos y hombres de ciencia la redefinición de la actividad y del método científicos. La industrialización afectaba a las minas, a los talleres textiles, a la navegación, al comercio. En estos años, además de los ya mencionados microscopio y telescopio, habían sido introducidos también, la moderna cirugía, los primeros estudios de Gilbert sobre el magnetismo, los sofisticados relojes autómatas de las catedrales, los mapas astronómicos de Tycho Brahe, que representaban más de 700 estrellas, etc.,. En cierta manera era previsible que en aquel momento de la historia se fuera gestando una concepción que integrara todos estos nuevos hallazgos, hasta entonces desperdigados y procedentes de múltiples disciplinas, en un nuevo cuerpo teórico. Y es lo que ocurrió, concretamente en 1620, con la aparición del *Novum Organum* de Francis Bacon.

Este pensador y hombre de letras inglés fue coetáneo de Shakespeare y de Cervantes; y la publicación de su *Nueva Lógica*, precedió en escasos años los juicios contra Galileo. Son datos que nos sitúan de pleno en el espíritu de la época. Además, este filósofo, como nos refiere Farrington⁷¹, es el pensador de la era industrial por antonomasia; un hombre de su tiempo, porque se sitúa en el ojo del huracán de las luchas del poder y de los cambios turbulentos que va a experimentar su época. Y un pensador plenamente moderno, que pertenece a nuestros días, porque su obra se mantiene viva dentro de la ciencia moderna. Bacon, precursor del empirismo, ya adelanta en el título de su principal obra el deseo de instaurar una nueva lógica, lejos de la aristotélica; esto es, un nuevo modo de pensar y de hacer ciencia, acorde con los nuevos tiempos que había traído el Renacimiento. No es difícil imaginar, desde la perspectiva de nuestros días, la sensación que estos autores universales tendrían de aquel mundo cerrado y oscuro que les tocó en suerte vivir. Como tampoco sorprende que fueran apartados y repudiados por el poder de la época por arremeter, precisamente -es el caso de Bacon en *The Advancement of Learning*-, contra esa filosofía que daba sentido y privilegio a unos pocos.

"Esta clase de saber degenerado fue la que principalmente reinó entre los escolásticos: quienes, teniendo una gran y aguda inteligencia, y un ocio abundante, y una pequeña variedad de lectura (pero estando encerrada su inteligencia en las celdas de unos pocos autores, sobre todo de Aristóteles, su dictador, igual que sus personas estaban encerradas en las celdas de los monasterios y los colegios), y sabiendo poca historia, tanto de la natural como de la del tiempo, tejieron para nosotros, con no gran cantidad de materia e infinita agitación de la imaginación, aquellas laboriosas

telarañas del saber que se encuentran en sus libros. Porque la inteligencia e imaginación del hombre, si trabaja sobre una materia como es la contemplación de las criaturas de Dios, trabaja de acuerdo con el material y es limitada por éste; pero si trabaja sobre sí misma, como la araña teje su tela, entonces no tiene fin y produce realmente telarañas del saber, admirables por la finura de su hilo y del trabajo, pero sin ninguna sustancia o provecho".⁷²

En línea con el espíritu renacentista por redescubrir la naturaleza, la nueva lógica que va a proponer este sabio es una vuelta a aquellos principios rechazados, desde su llegada al poder, por el cristianismo, pero revitalizados ahora por la nueva realidad de las minas, de la navegación y de los cañones. A la observación, elemento que considerará primordial en el método científico, le añadirá la acción del hombre sobre los objetos, sobre la naturaleza, acción que debe ser realizada, al igual que el trabajo del obrero o del artesano, con la ayuda de utensilios y mediante la creación de instrumentos *ex profeso*. El método experimental queda fijado de esta manera, en contraposición a la especulación y el silogismo.

"Pues el fin que esta ciencia mía pretende es el descubrimiento no de argumentos sino de artes, no de cosas de acuerdo con principios, sino de los principios mismos; no de probables razones, sino de indicaciones e instrucciones para obra".⁷³

Observando su alrededor y atento a los nuevos avances de la óptica, que abría mundos hasta entonces ocultos, o de la medicina, en la que Harvey venía a demostrar por entonces el funcionamiento del sistema sanguíneo (1628), o de los trabajos de Galileo sobre el péndulo, de la determinación que se hacía por entonces de los gases, de la aplicación de la pólvora en las minas, de las nuevas máquinas, etc., Bacon determinó proponer un nuevo método de hacer ciencia, más acorde con los hechos. Este sería el nuevo método inductivo.

"Ni hay ni puede haber más que dos vías para la investigación y el descubrimiento de la verdad; una, que partiendo de la experiencia y de los hechos, se remonta en seguida a los principios más generales, y, mediante esos principios (axiomas supremos), que adquieren una autoridad incontestable, juzga y establece las leyes secundarias (axiomas medios). Esta vía es la que hasta ahora se sigue. La otra, la nueva, consiste en elevarse progresivamente, por grados, sin sacudidas, de los hechos a las leyes intermedias y sólo de ahí a los principios más generales. Este proceso gradual exhibe su valor: se atiende a los hechos por estudiar. La vía inductiva así descrita será en lo futuro, la usual, pero jamás se ha puesto en práctica".⁷⁴

No es casual que Bacon propusiera el término "*ídolos de la caverna*", palabras que recuerdan al *hombre de oro* de la Academia griega, para traer a colación aquellos prejuicios

y creencias de la época que se encargaban de mantener al hombre en un estado de enclaustramiento, lejos del verdadero conocimiento. Para este filósofo, la labor de la ciencia debía ser la vuelta a las cosas, al mundo; sería escarbar en las profundidades no de la mente sino de la naturaleza. Y como primera vía, los sentidos; porque aún pudiéndonos emplazar pistas falsas y confundirnos, debemos reconocer que de ellos mismos depende la posibilidad de descubrir nuestros propios errores. Las limitaciones que Bacon encuentra en la constatación sensorial de los hechos, no convierten a los sentidos, como propugnaba el idealismo, en inservibles; es consciente de los límites de la observación, pero sabe que para suplir esa deficiencia contamos con los nuevos instrumentos. Es revelador un pasaje en el que este sabio, asumiendo las barreras que se anteponen a nuestros ojos, nos evoca la posible ayuda que podrán prestarnos los nuevos instrumentos ópticos; y no sólo los de su época: ya incluso podemos intuir en estas líneas el papel que en el futuro jugarán tanto la fotografía como el cinematógrafo.

"Pues primero, hay muchas cosas que escapan al sentido, aun cuando está mejor dispuesto y de ninguna manera obstruido; debido a la sutileza del todo, o lo diminuto de las partes, o la distancia del lugar; o la lentitud o la velocidad de movimiento, o la familiaridad del objeto y otras causas".⁷⁵

La observación se ve pues amplificada, engrandecida, y eso hace abrir nuevos campos de conocimiento. Pero insiste el sabio -y éste es un punto crucial de su filosofía que entronca con el amor por la naturaleza de los renacentistas- en que la percepción, la información sensorial no debe cobrar sentido en uno mismo, de modo de que sea nuestra mirada la que decida la validez de las cosas; o lo que es lo mismo, que no domine la visión del propio hombre, sino la del universo, la del cosmos. La medida de las cosas no debe depender en definitiva de nosotros, sino de la naturaleza. Nuestros errores deben ser corregidos con la experiencia, con el conocimiento científico, gracias a los instrumentos que construyamos, adecuadamente dispuestos para ello.

"Luego, no doy mucha importancia a la percepción inmediata y propia del sentido, sino que tengo pensado que la única función del sentido será juzgar el experimento, y que el experimento mismo juzgue la cosa".⁷⁶

Tampoco se debe confiar en la fuerza de la mente. Insistiendo en los símiles ópticos que ofrecían los instrumentos de la época, el filósofo nos dice que puede ocurrir lo que en los espejos deformes, que los rayos de los objetos se reflejen de una forma particular y sin valor alguno, por la mezcla de su propia naturaleza con la de las cosas ciertas.

En consonancia con su tiempo, Bacon no podría ser otra cosa que un filósofo para la acción. La actividad frenética, que surgió por primera vez en aquellos años, del hombre contra la naturaleza, a través de la aplicación de la energía hidráulica y eólica en la agricultura, en los talleres, en las forjas, en las minas, etc., se refleja en su pensamiento. La

acción del hombre sobre la naturaleza se entiende libre de las consecuencias a las que estamos acostumbrados en nuestros días. No podían prever los sabios de entonces el grado de perfeccionamiento que alcanzaría la tecnología con el tiempo, ni su capacidad de destrucción pareja. Ahora sabemos que en esos años está la clave del conocimiento científico de una era industrial y moderna que se extiende hasta nosotros y el secreto del tipo de sociedad que hemos construido.

"Mi intención es que sea una historia no sólo de la naturaleza libre (cuando se le da rienda suelta y hace su trabajo a su manera) – como de los cuerpos celestes, los meteoritos, la tierra y el mar, los minerales, las plantas y los animales- sino que mucho más de la naturaleza cohibida e irritada; es decir, cuando mediante la pericia del hombre se le forza fuera de su estado natural y se le oprime y se le moldea".⁷⁷

En definitiva, este filósofo inglés nos propone una doble instrumentación para los nuevos tiempos, como si de un martillo o un sextante se tratara. Por un lado, una de carácter lógico, que enuncia a modo de aforismos, siguiendo el estilo de su adorado maestro Hipócrates, y que titula precisamente *Novum Organum*, y de otro lado, los instrumentos propios de la ciencia, que como prolongación de la mano deben incidir sobre la naturaleza para descubrir sus fenómenos. Telescopios, prismas, espejos, microscopios, máquinas de toda índole, que nos ayudan a comprender la repercusión que tiene en todo momento la nueva instrumentación científica, como es el caso de la fotografía. Ambas herramientas, manufacturadas mentalmente en esta incipiente era industrial, constituirán la base del empirismo como escuela. Y frente a este método experimental, comenzará a construirse otro procedimiento, que aún siendo complementario, en momentos parecerá que se aparta para llegar a conclusiones epistemológicas distintas. Una nueva forma de enfrentarse al mundo que viene de la mano de dos grandes científicos, Kepler y Galileo.

3.5. La ciencia moderna

Al contrario de Bacon, que ejercita su profesión dentro de la filosofía, estos autores son científicos natos, por más que filosofía y ciencia cabalgaran juntas en la época. En común, todos ellos conciben la observación como punto de partida de todo conocimiento. En esto, la construcción de los primeros telescopios fue un elemento decisivo, en especial para estos dos grandes astrónomos. La diferencia entre ambos métodos viene dada fundamentalmente por la importancia que estos últimos darán a las matemáticas para la formulación de sus leyes, pues serán éstas el instrumento que les ayude a sistematizar y fundamentar los nuevos hallazgos. Así, por ejemplo, la mecánica será concebida por Galileo como una teoría matemática del movimiento, actitud que le llevará a decantarse por el método deductivo. "*El libro de la naturaleza está escrito en lengua matemática*", nos dice. A partir de la observación de los fenómenos y de las mediciones llevadas a cabo sobre ellos se irán constatando ciertas regularidades que son las que van a posibilitar la formulación de principios. Estas leyes, traducidas al lenguaje matemático, se aplicarán luego a fenómenos

parecidos o de la misma índole. Este es el procedimiento utilizado para la formulación de su *Primera Ley sobre el Movimiento*, en 1609. De todas formas, la ciencia de este sabio está supeditada a la experimentación y a la práctica; en ella, las matemáticas son un instrumento de incalculable ayuda, pero un instrumento más. La actividad científica sigue fundamentándose en la detenida observación de los fenómenos y en la correcta utilización de los instrumentos de medición. Conocido es el intento suyo de determinar la velocidad de la luz con dos linternas: él encendía una, y a cierta distancia su ayudante respondía con otro fogonazo, aumentando las distancias para tratar de probar sus presunciones; aunque ahora podemos entender este esfuerzo como vano e ingenuo, dado la extrema velocidad de la luz, no deja de ser cierto que en él se encuentra el método lógico y experimental que toda actividad científica va a disponer en un futuro.

No es de extrañar que las matemáticas fueran tenidas muy en cuenta por los científicos de la época, dado el gran avance que experimentaron en aquellos años. A principios del s. XVII asistimos al descubrimiento de los logaritmos por John Napier (1614) y a la formulación de sus primeras tablas; también a la aparición de las primeras máquinas de calcular (Napier, Schickard, Pascal) y a la formulación de los principios de la Geometría Analítica por Fermat (1636) y Descartes, hechos que van a ayudar considerablemente al desarrollo de las ciencias. La óptica, por ejemplo, tan ligada siempre a las matemáticas, experimentará grandes avances. Por un lado, la determinación de los focos de las lentes se traduce en una notable mejora en su fabricación, lo que va a repercutir, a su vez, en nuevos y mejores instrumentos de observación. Y a partir de ellos, vamos a asistir al descubrimiento de organismos diminutos como las bacterias, los glóbulos rojos en la sangre, la estructura celular de las plantas, etc., hechos a los que contribuyó en gran medida el fabricante de lentes y microscopios, Anton van Leeuwenhoek. Por esos mismos años, Willerbrod Snell (1591- 1626) formula matemáticamente las leyes de la refracción (1620 aprox.), que llevarán su nombre a partir de entonces, y que tendrán una amplia repercusión en el pensamiento de Descartes.

3.6. El poder de la razón

Tampoco estaban las matemáticas muy desligadas de la actividad de los artistas, en particular de los pintores. La nueva forma de representación de las figuras en los lienzos se va a ver notablemente influida por este desarrollo espectacular de la óptica. La plasmación de la luz y la consecución de un mayor relieve en los elementos del cuadro estará en gran parte determinado por el uso de las nuevas lentes y de la mejora de las cámaras oscuras. No es extraño que Jan Vermeer (1632- 1675), uno de los pintores más representativos de la época, caracterizado por haber conseguido plasmar la realidad de la luz con tanta finura y precisión en sus cuadros, fuera amigo íntimo de Leeuwenhoek.

Todos estos adelantos que van a sufrir las ciencias gracias al impulso dado por las matemáticas, como fue el caso concreto de las leyes de Snell, van a ser decisivos para la formulación de una nueva filosofía, que junto al empirismo de Bacon, constituirá el par indisoluble en el que se desarrollará el trabajo de los científicos del futuro: el racionalismo

de Descartes (1596- 1650). Este filósofo francés, influido notablemente por el desarrollo de las matemáticas, va a anteponer el intelecto humano a cualquier otra realidad a la hora de formular su teoría del conocimiento. Su famosa frase *Cogito ergo sum* resume de forma precisa todo su pensamiento. Las leyes de la naturaleza se corresponderán con las leyes de la razón. La principal obra de este autor, *El discurso del método*, está repleta de referencias a la óptica, y en especial a las leyes de la refracción, de las que se dice que fueron descubiertas por él, independientemente de Snell. El interés de Descartes por los fenómenos de la luz y de las lentes quedó patente en su obra *Dioptrica*, en la que comenta con profusión numerosos fenómenos ópticos, como la difracción, los anillos de Newton, las franjas de Grimaldi, los cristales birrefringentes, etc...

Todo este contacto con el mundo científico le llevó a repudiar el pensamiento escolástico imperante, pero desde una posición bien distinta a la de Bacon. Pues, si bien el racionalismo intenta apartarse de la tradición metafísica para atender a un nuevo mundo, por otro lado no deja de caer en posiciones próximas y conciliadoras con ella, por recurrir a un criterio de la verdad fundamentado no en lo sensible, sino en lo puramente racional, donde prima un uso exagerado de las matemáticas y en el que se acude, en últimas instancias, a causas innatas o a un apriorismo gnoseológico que prepara el camino a la obra de Kant. Lo primero, por tanto, la primera evidencia, es uno mismo, el yo pensante. De aquí que lo sensible, las representaciones y los conocimientos sean considerados estados pasivos del alma; lo activo es el pensamiento y la voluntad. Hasta qué punto esta postura conciliadora con la tradición escolástica y este intento de combinar una nueva visión del mundo y un nuevo método para la ciencia con posturas puramente idealistas se correspondía con un temor real a ser recriminado por las autoridades eclesiásticas de entonces, es algo digno de tener en cuenta. Mientras Galileo era juzgado por sus escritos y obligado a retractarse de sus ideas públicamente, Descartes se aseguraba de que sus ideas filosóficas estuvieran muy de parte de las "*verdades de la fe, que han sido siempre las primeras en mi creencia*"⁷⁸. E incluso preferir callarse antes que salir en defensa del ilustre científico italiano por el que había expresado su admiración.

*"Me sería muy agradable proseguir y hacer ver aquí todo el encadenamiento de otras verdades que he deducido de aquellas primeras; pero como para eso sería preciso que hablase ahora de diversas cuestiones que están en controversia entre los doctos, con los cuales no deseo indisponerme, creo que será mejor que me abstenga de ello y que diga solamente, en general, cuáles son, a fin de dejar que otros más sabios juzguen si sería útil que el público fuese más particularmente informado de ellas".*⁷⁹

Una vez más nos encontramos ante la disyuntiva que se ha presentado a lo largo de la historia entre sentidos y espíritu. El empirismo y el racionalismo que inauguran estas dos filosofías del s. XVII van a continuar de algún modo el tradicional enfrentamiento al que venimos asistiendo desde el mundo clásico, entre las posturas del atomismo y las más especulativas, y que se van a extender hacia los próximos siglos a través de la pugna

suscitada entre las posiciones ligadas al materialismo y al idealismo. La presencia cada vez mayor del avance científico, a través de nuevas leyes, demostraciones y descubrimientos a lo largo de los años, no será ninguna garantía, como veremos, del triunfo de las tesis más afines a las ciencias de la naturaleza. Descartes es un claro ejemplo.

"Porque, en último término, tanto si velamos como si dormimos, no hemos de dejarnos persuadir nunca más que por la evidencia de nuestra razón, y es preciso advertir que digo de nuestra razón, y no de nuestra imaginación o de nuestros sentidos".⁸⁰

La obra de este pensador tendrá una amplia repercusión en la época, equiparable al de las grandes obras que inauguran la ciencia moderna: la *Physica Coelestis* de Kepler (1609), el *Saggiatore* de Galileo (1623) y *Sobre el movimiento del corazón y de la sangre* de W. Harvey (1628). El nuevo método argumentado por Descartes para llegar al conocimiento está fundamentado estrictamente en las matemáticas. En realidad, se trata de una matematización del conocimiento: algo que irá en continuo aumento y que tendrá un especial auge a partir de finales del s. XIX, con el fuerte desarrollo de la lógica matemática. Sin embargo, él adopta una postura de compromiso y de entendimiento con el pensamiento anterior, no produciéndose un enfrentamiento con la escolástica tan directo como ocurrió en el caso del empirismo. Descartes busca una imagen del mundo, una imagen física que no contradiga la existencia de Dios. Y esta visión globalizadora se va a ver sustentada en lo que es su gran aportación a la historia de la ciencia, su *Geometría Analítica*. El gran acierto de este sabio es comprobar cómo las ecuaciones matemáticas se pueden transformar en imágenes, esto es, en gráficos y curvas; y viceversa, de las curvas y sistemas de coordenadas se puede volver a las ecuaciones. Con ello acaba de nacer una nueva representación de la realidad, obra de los números. Aunque en este caso no se llega a la especulación pura y abstracta de los pitagóricos, las conclusiones apoyarán una imagen del mundo sustentada en una fuerza última y razón de todo, Dios. Una consecuencia lógica de la geometría cartesiana será que si las ecuaciones se pueden transformar en imágenes, también se podrán convertir en máquinas. Es la época de la construcción de los primeros autómatas y de las primeras máquinas de cálculo. No olvidemos que la máquina más perfecta hasta el momento, reflejo del movimiento matemático de los planetas, es el reloj. Todo se convierte de pronto en una máquina y, por un impulso primario, Dios aparece representado a partir de ahora como “*el gran relojero del mundo*”.

En este mundo mecánico todo se rige por figuras y movimientos⁸¹; en él se estructura una imagen física en la que se contempla un espacio en el que evolucionan los fenómenos en el transcurso del tiempo. El eje de coordenadas cartesiano será una herramienta visual de gran trascendencia en la ciencia del futuro. Los científicos se acostumbrarán a ver de esta forma, a situar los datos sensoriales en este constructo hipotético del espacio y del tiempo. Predecir es la finalidad de la ciencia; por tanto, en este universo mecánico, conocer el estado actual de las variables nos ayudará a prever cual será su estado futuro. Es el germen del determinismo, un modelo por el que se han regido multitud de pequeños y grandes científicos, que recibirá un gran impulso con el *Cálculo Diferencial*, herramienta

matemática que va a incorporar la variable tiempo en sus presupuestos, y que se complementará en el *Cálculo Integral*, capaz de reconstituir todas esas múltiples variaciones en un tiempo definido. A la observación y a la experiencia se les unían estos modos de razonamiento y de cálculo que tendrán su continuidad en la labor de Newton y Leibniz y en su formulación conjunta del *Cálculo Infinitesimal*. Tanto la Mecánica como la Astronomía empezarán a regirse por este modelo físico, hasta muy entrado el s. XIX. Serán la termodinámica, la electricidad, y el estudio de los múltiples fenómenos derivados de esta última, -conjuntamente con una nueva valoración de la luz, en la que la fotografía tendrá mucho que decir- lo que forzará a la comunidad de científicos a abandonar los modelos mecánicos tan estrictos, establecidos por este eminente pensador francés.

A medida que avanza el s. XVII, la ciencia experimenta grandes progresos. En matemáticas debemos destacar la formulación por parte de Pascal y Fermat del *Cálculo de Probabilidades* (1654), que, si en un principio va a ser aplicado a los juegos de azar y a los seguros, con el tiempo se va a convertir en una de las herramientas más decisivas en el quehacer científico.

Y en el terreno de la óptica seguimos avanzando en la construcción de nuevos aparatos destinados tanto a la investigación científica como al recreo . Es el caso de la linterna mágica construida en 1650 por Athanasius Kircher (1602- 1678) (Fig. 26), que coincide con el gusto de la época por el teatro de sombras, cuyos antecedentes los encontramos en el teatro griego y en las representaciones mágicas y religiosas de Java y Bali. Su linterna mágica o máquina catóptrica se encargaría de producir visiones fantásticas a través de sus prismas (Fig. 27)⁸². También en este sentido, aparecen las cajas de perspectiva de Franz

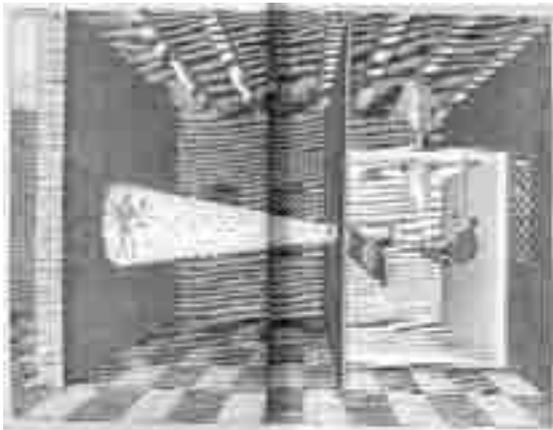


Fig. 26. Linterna mágica. Athanasius Kircher. *Ars Magna et Lucis Umbrae*. 1646.

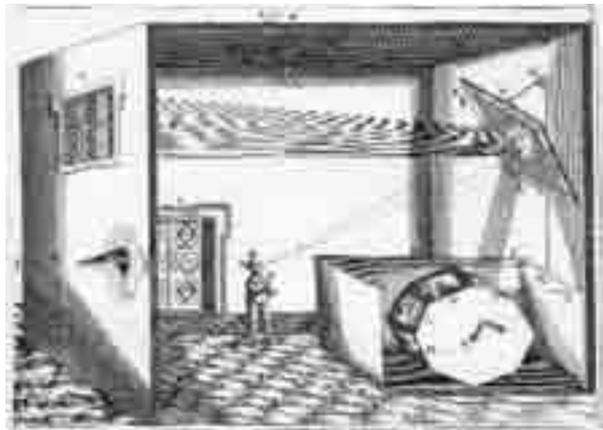


Fig. 27. Máquina catóptrica o linterna mágica. Athanasius Kircher. h. 1650.

von Stratten, pequeños teatros caseros animados con efectos anamórficos mediante el uso de espejos cónicos y cilíndricos, que recuerdan el proceso de composición y descomposición que más tarde utilizará el cinemascope⁸³. Será Kircher asimismo quien dé un nuevo impulso a la cámara oscura, cuando proponga en su obra *Ars magna et lucis umbrae* (1646), el uso de dos compartimentos herméticamente cerrados, uno dentro del otro,

que nos hace pensar en una nueva forma de controlar la distancia focal en la creación de las imágenes. (Fig. 28). No parece, en cambio, que sus libros *Arca de Noé*, de 1675; y *Mundi Subterranei*⁸⁴, de 1678, repletos de ilustraciones de plantas, metales, animales, etc., estuvieran compuestos con la ayuda de este nuevo artilugio. Con el propósito de obtener imágenes en foco, de conseguir una mayor nitidez y poder ver las imágenes al derecho, destaca también la labor de Johann Zahn, con el uso de espejos en el interior de la cámara. (Fig. 29).



Fig. 28. Proyección de sombras, cámara oscura. Athanaius Kircher. *Ars Magna et Lucis Umbrae*. 1646.

Dentro de este apartado de innovaciones en el terreno de la óptica hay que destacar la figura de John Hooke (1635- 1703), quien conseguirá notables mejoras en la construcción de telescopios y microscopios. Su obra *Micrographia*, publicada en 1664 se ha convertido con el tiempo en todo un clásico de esta especialidad⁸⁵. No sólo se ofrecen en esta publicación excelentes láminas de las estructuras de plumas y plantas, sino que se dan indicaciones para la construcción de microscopios y para la iluminación de objetos diminutos (Fig. 30).

Fig. 29. Camera Obscura Portabilis. Johann Zahn. 1685.

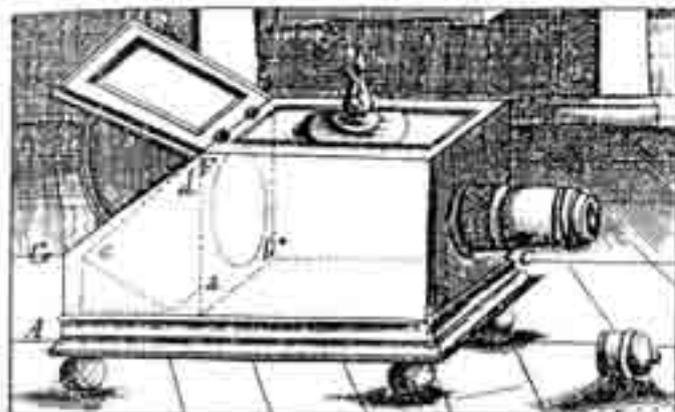


Fig. 30. Dibujos pertenecientes a la Micrografía de Hooke, 1664, en los que se muestran las estructuras circulares de los cristales.



Llegados a este momento de la historia cabe preguntarnos hasta qué punto el estado de la ciencia va a influir en la elaboración de las concepciones filosóficas sobre el mundo. Esto, que parecerá obvio para nuestras mentes del recién nacido s. XXI, no lo era tanto para aquellos que vivieron en aquellos siglos en los que la ciencia, como sistema de concepción universal, se estaba formando. Ya hemos visto que a finales del s. XVII se dan avances claros en dos ramas muy próximas, las Matemáticas y la Óptica, y cómo las dos han suscitado nuevas preguntas a los teóricos del conocimiento: en Descartes de forma conjunta, en Bacon, tal vez fuera la óptica y la fuerza de la observación lo más determinante. Las matemáticas, cuando se entonan como dueñas y señoras y llegan a decidir por las demás ciencias, parece que atraen a los pensadores hacia concepciones más idealistas, o especulativas, en las que los espíritus y las esencias intangibles saltan a la palestra con facilidad. En cambio, cuando es lo sensible, la fuente que alimenta nuestros sentidos lo que determina el origen del conocimiento, surgen corrientes más afines a lo experimental, al estudio intuitivo y a las filosofías naturalistas.

Las corrientes seguidoras del racionalismo cartesiano seguirán ahondando en el camino de la abstracción para construir sistemas sustentados principalmente sobre la mente humana, y en los que los fines últimos estarán representados por las ideas innatas que anidan en los hombres, por las leyes que obedecen a ese lenguaje común del cosmos y de los hombres - las matemáticas-, y en suma, por lo divino. Por el lado contrario, los seguidores de Bacon estarán más atentos a los procesos sensoriales, al contacto real de los hombres con la materia y a la acción de éstos sobre la naturaleza. De ahí que se interesen más por lo que es la pura instrumentación científica, encontrando en ella incluso sus modelos para representar y entender el mundo. La fotografía no escapará a esta influencia, como tampoco lo hizo su predecesora, la cámara oscura.

3.7. Razón y experiencia

En 1690 apareció la obra fundamental de John Locke (1632- 1704), el *Ensayo sobre el entendimiento humano*, que ya había terminado de escribir en 1660. Aquí vamos a encontrar un claro ejemplo de la influencia del estado de la ciencia y, más en particular, de los instrumentos ópticos de representación y medida en una concepción filosófica⁸⁶. Contra el nuevo camino abierto por Descartes, a través del racionalismo y de la construcción de un universo mecánico que obedecía ciegamente a leyes matemáticas, Locke va a reivindicar la tradición inglesa del empirismo y, como su predecesor Bacon, defenderá el mundo sensorial como origen de todo conocimiento; ello le hará oponerse a la aceptación sin más de ideas innatas en el hombre, que el tiempo y la inspiración van desvelando. El modelo propuesto será por tanto antagónico a esta idea del innatismo de las ideas; para este pensador, la mente será un papel en blanco en el que se van escribiendo renglones, dictados exclusivamente por la observación y la experiencia.

"Supongamos que la mente es, como nosotros decimos, un papel en blanco, vacío de caracteres, sin ideas. ¿Cómo se llena? ¿De

dónde procede el vasto acopio que la ilimitada y activa imaginación del hombre ha grabado en ella con una variedad casi infinita? A esto respondo con una palabra: de la experiencia. En ella está fundado todo nuestro conocimiento, y de ella se deriva todo en último término. Nuestra observación, ocupándose ya sobre objetos sensibles externos, o ya sobre las operaciones internas de nuestras mentes, percibidas y reflejadas por nosotros mismos, es la que abastece a nuestro entendimiento con todos los materiales del pensar. Estas dos son las fuentes del conocimiento; de ellas proceden todas las ideas que tenemos o podemos tener".⁸⁷

No es que se menosprecie el poder del pensamiento en sí o la facultad de razonar de los hombres; todo eso, a los ojos de este filósofo, vendrá luego. Es a partir de estos dos elementos, el de la observación y la experiencia, que se activará en la mente una segunda fuente de conocimiento; serán siempre los sentidos los que darán lugar en el interior de nosotros al fenómeno de la sensación, que será el causante de impulsar toda una serie de actividades mentales autónomas, y que ya no dependerán de lo aprehendido externamente; se trata ya de una actividad puramente mental, que se traduce en lo que conocemos por pensar, dudar, razonar, desear, crear, etc. Podríamos decir que las ideas originadas por nuestros sentidos *se reflejan* en nuestra mente y hacen brotar nuevas ideas. El símil óptico es evidente.

"Estas dos – quiero decir, las cosas materiales externas como objeto de la sensación y las operaciones internas de nuestra mente como objetos de reflexión- son, según mi parecer, el origen donde comienzan todas nuestras ideas".⁸⁸

Si la imagen física de Descartes había sido originada por un modelo mecánico y matematizado de la realidad, que conducía inevitablemente a la creencia de ideas innatas en los hombres y a fijar la existencia de un ser superior que nos insufla vida y causante del primer impulso dado a la gran máquina del universo, en Locke nos encontramos también con un símil mecánico, nacido en este caso de los aparatos ópticos de la época, y en el que las consideraciones metafísicas se dejan voluntariamente de lado.

"Pero la discusión de si el alma existe antes que el cuerpo, o al mismo tiempo, o poco después, la dejo para quienes conocen mejor este asunto".⁸⁹

El modelo empírico de Locke está, por tanto, lleno de referencias al mundo del estudio de los fenómenos de la luz y muy pendiente de las características y funcionamiento de los instrumentos ópticos del momento. Se habla del alma como un espejo, de "*ideas de la reflexión*", de impresiones, de "*imágenes e ideas que los objetos puestos delante de él producen*", etc., todo sobre una base real y práctica de las cosas. Si los relojes habían sido determinantes en la creación de los modelos mecánicos de comprensión del universo, en

esta ocasión sería la cámara oscura, por entonces tan en boga, la que iba a aportar un nuevo símil para interpretar el funcionamiento de la mente humana.

"No pretendo enseñar, sino investigar; por esto no puedo por menos de confesar aquí otra vez que las sensaciones internas y externas son los únicos caminos de conocimiento que puedo hallar hacia el entendimiento. Ellos solos son, en lo que alcanzan mis fuerzas, las ventanas por las que penetra la luz en este "cuarto oscuro", pues me parece que el entendimiento no es muy distinto de una cámara totalmente privada de luz, pero con algunos resquicios abiertos que dejan entrar algunas semejanzas visibles externas o ideas de cosas exteriores".⁹⁰

A diferencia de la caverna oscura de Platón, en la que los seres allí confinados ven sólo sombras producidas por el fuego de las antorchas, aquí, la cámara oscura está abierta, como una gran ventana al mundo. No existen ideas a priori ni un origen divino de nuestros pensamientos; tan sólo una simbiosis entre la naturaleza y nuestros sentidos y la razón que actúa a partir de ellos.

3.8. El siglo de las luces

Podemos decir que el s. XVII es un siglo volcado no sólo hacia los fenómenos de la luz, sino también a los de la visión en general; en él nace la Óptica moderna. La atención que se presta a los fenómenos luminosos, a la perspectiva, a los efectos ilusorios, etc., es inusitada. Se ha aprendido la lección de que en los mínimos detalles y en los más extraños comportamientos de la luz se encuentra una fuente inagotable de conocimiento. Y es un siglo de transición en el que se van asentando todos los elementos del método científico experimental. Por un lado, se van dejando de lado las creencias y el proceder de la Alquimia, y por otro, se van imponiendo formas más experimentales de hacer ciencia. Robert Boyle (1627- 1691) e Isaac Newton (1642- 1727) representan este paso intermedio hacia la ciencia moderna.

A la enunciación de las leyes de la reflexión y de la refracción por Snell y Descartes, le seguirán el descubrimiento de la refracción tan particular que ofrece el espato de Islandia, o el fenómeno de la difracción que se produce en los bordes de una pantalla opaca, que permite, curiosamente, la entrada de la luz en la zona delimitada por la sombra; o el efecto de los anillos que se forman en las láminas delgadas de metal, etc., fenómenos todos ellos que van a requerir de una explicación y ser integrados en nuevos modelos interpretativos. La luz se convertirá poco a poco en el centro de atención de los científicos. Y tal acumulación de fenómenos singulares que iban apareciendo día tras día, a la par que el perfeccionamiento continuado de los instrumentos ópticos -en especial del microscopio y del telescopio - van a demandar de los científicos una explicación: no sólo de los fenómenos observados, sino también de la propia naturaleza de la luz. El terreno parece estar ya preparado para la llegada de esas concepciones globalizadoras de la ciencia. En este

contexto es cuando van a aparecer las figuras de dos sabios eminentes, que completarán el siglo con dos obras cumbres de la ciencia moderna y cuyas interpretaciones del fenómeno de la luz, aparentemente antagónicas, prevalecerán hasta nuestros días: son Isaac Newton y Christian Huygens (1629- 1695), defensores de las teorías corpuscular y ondulatoria, respectivamente.

Con Newton se completa en 1687, año en el que completa sus *Principia*, la teoría mecánica del universo. La predilección de este autor por el método experimental es bien patente. Su amistad con Locke se apoya en esta confluencia de pareceres. Y es más, Newton relega el papel de las hipótesis a un segundo plano. Aunque no podrá evitar su uso, como queda confirmado por el cuerpo teórico por él edificado, su interés personal está siempre en el método inductivo.

*Porque, a mi juicio, el método más seguro y apropiado para filosofar consiste en, primero, preguntarse constantemente por las propiedades de las cosas, establecer dichas propiedades por medio de experimentos, para, después, proceder más lentamente hacia la elaboración de hipótesis que las expliquen. Estas hipótesis deberían emplearse solo para la explicación de las propiedades de las cosas, no para su determinación, a menos en la medida que pueda proporcionar experimentos.*⁹¹

No sería aventurado afirmar que esta defensa de la inducción proviniera de su temprana afición por la elaboración de cuadrantes solares, que iba construyendo en cada rincón de la casa aprovechando las sombras proyectadas por el sol sobre las paredes. La sombra del *gnomon* nos vuelve a aparecer de esta manera en episodios tan determinantes de la historia de la ciencia.

*Llenó la casa del pobre Clark con relojes: su propia habitación, otras habitaciones de la casa, el vestíbulo..., cualquier lugar por donde entrara el sol. Clavó puntas en las paredes para marcar las horas, las medias, e incluso los cuartos, y ató a éstas cuerdas con ruedas para medir las sombras en días sucesivos. Llevando una especie de almanaque, aprendió a distinguir los períodos del Sol, de forma que conocía los equinoccios y los solsticios, incluso los días del mes. Al final, la familia y los vecinos iban a consultar “los cuadrantes de Isaac”.*⁹²

También se hace notar esta inclinación por el lado práctico de sus estudios científicos en su continua experimentación con lentes, espejos, prismas, ranuras y orificios, y hasta en la construcción de un telescopio con sus propias manos, actividad que será decisiva en la posterior publicación de su *Optica* (1704) y en la defensa de la teoría corpuscular aplicada a la propagación de la luz.

En relación con su teoría mecánica del universo, este científico empieza por generalizar el principio de inercia, que le ayudará a explicar la relación entre fuerza y movimiento. Luego reducirá la acción de las fuerzas aplicadas a los objetos a la masa de éstos, formulando la *Ley Fundamental de la Dinámica*. Como buen seguidor del atomismo dirá que la materia está constituida por partículas, que asociará a puntos geométricos, o puntos de materia que ejercen fuerzas los unos contra los otros. Será este el camino que le lleve a concebir su famosa *Ley de Gravitación Universal*, aplicando las leyes de la *Dinámica* al movimiento de los cuerpos celestes. La herramienta que él mismo desarrolló, a la par e independientemente de Leibniz, para dar un fundamento sistemático a sus teorías fue el *Cálculo Diferencial e Integral*. Esta concepción general del universo y de la materia llevada a cabo por Newton le exigió la determinación de un punto de referencia desde donde llevar a cabo las observaciones y las mediciones del comportamiento de los objetos de estudio, hecho que le llevó a establecer la idea de un espacio absoluto que "*permanece en razón de su naturaleza y sin relación a ningún objeto exterior, rigurosamente igual e inmóvil*". Este supuesto espacio era, desde luego, una pura abstracción que necesitaba de una teoría para dar cabida a los datos provenientes de las observaciones. "*Se debe hacer constar que no existe ningún cuerpo realmente inmóvil, al cual podamos referir las posiciones y los movimientos*". Lo mismo ocurriría con el tiempo, que hasta entonces venía determinado precisamente por el movimiento de los astros, reproducido a su vez por el movimiento de los engranajes y péndulos de los relojes; era preciso asimismo formular la idea de un tiempo absoluto, "*verdadero y matemático, que se basa en sí mismo conforme a su naturaleza uniforme y sin relación a ningún objeto exterior*" y del que "*el tiempo relativo, aparente y ordinario no es más que una manifestación tangible y exterior*".

El mundo de las imágenes científicas del universo, de los fenómenos, de la naturaleza se abría camino con esta concepción totalizadora. Una visión perfecta y matemática que abriría las puertas a un determinismo que dominará el pensamiento científico hasta nuestros días. Será éste el momento de la instauración de la *Dinámica* en Física, como desarrollo natural de la *Cinética* desarrollada por Galileo y Descartes. Sorprende cómo un científico como Newton, tan atado al método experimental y defensor acérrimo de los datos sensoriales en la formación de hipótesis, tuvo que dar cabida a imágenes físicas más o menos especulativas, como es el concepto de fuerza a distancia, que supone la base de su visión mecánica y dinámica del universo. Su entusiasmo por la alquimia y el haber conseguido una formulación matemática precisa para este fenómeno contribuyeron posiblemente a admitir este concepto tan fructífero para la historia de la humanidad. Las grandes revoluciones científicas de los siglos XIX y XX no han podido desbancar los grandes logros de esta interpretación de la naturaleza. Los cohetes que se envían al espacio con precisión milimétrica siguen rigiéndose por este determinismo. Laplace (1749- 1827), fiel representante de esta tendencia, diría que un ser superior que conociese todas las leyes de las fuerzas, y las posiciones y velocidades de todos los puntos del universo en un instante dado, podría conocer todo el pasado, el presente y el futuro. Esta concepción abstracta no sólo era capaz de abarcar con su explicación los fenómenos desde donde era formulada, sino que se extendía al resto de los cuerpos presentes en la naturaleza. La imagen física creada, formada por puntos geométricos que, dotados de una masa, se comportan siguiendo las

leyes de proporcionalidad de la fuerza y la aceleración, era fácilmente aplicable a otros contextos; así, por ejemplo, llevada al estudio de los planetas, daba lugar a la *Ley de la Gravitación Universal*. El conocimiento de la posición de un objeto - en este caso de un planeta- en el momento de su observación daba a conocer la fuerza que el sol ejerce sobre él o, lo que es lo mismo, su aceleración, pudiéndose predecir a partir de ella sus próximas posiciones y velocidades en cualquier otro momento dado. Las imágenes científicas o físicas se van a convertir en una constante en la historia de las ciencias; los métodos de la inducción y de la deducción se van a entrelazar en un recorrido muy fructífero para el conocimiento científico del futuro.

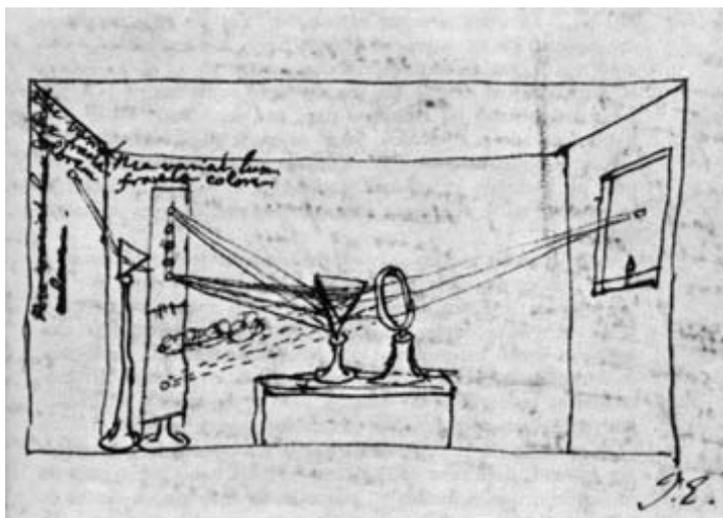


Fig. 31. Dibujo a mano de Newton. La luz y los prismas.

La concepción atómica de Newton, deducida de sus *puntos materiales*, utilizados como principios básicos de su *Mecánica*, se dejó traslucir también en su teoría de la luz. Aunque había algunos fenómenos luminosos, descubiertos por él mismo, que contradecían esta visión corpuscular -como fue el caso de sus famosos anillos-, se decantó por esta concepción por su afinidad con sus teorías previas y con otros frutos de la experiencia, como fue la del estudio de la entrada de la luz a través de ranuras y rendijas, o a través de los prismas, con lo que descubrió el efecto de la doble refracción y la formación del espectro. (Fig. 31). Newton dio un gran impulso a la óptica y a la ciencia en general con las interpretaciones que ofreció sobre la formación de las franjas espectrales, dejando, al propio tiempo, muchas dudas sin resolver: por ejemplo, por qué se refractan más unos colores que otros, cómo pueden cruzarse los rayos sin que choquen sus partículas. Esto obligó a otros científicos a tomar otros caminos.

Tal fue el caso de Christian Huygens, otro hombre de ciencia con una gran capacidad de observación, y un auténtico entusiasta de los estudios de la luz. Además de interesarse vivamente por la linterna mágica de Kircher, que paseó por toda Europa, fue un hombre con una actividad desbordante: contribuyó a la formulación del *Cálculo de Probabilidades*, junto a Pascal y Fermat, aplicándolo a los juegos de azar, sin saber aún la trascendencia que iba a cobrar posteriormente en su aplicación a la Termodinámica; descubrió también las leyes de la fuerza centrífuga, y la teoría del péndulo, artilugio que se aplicaría a la construcción de los nuevos relojes; hizo observaciones de los anillos de Saturno y de la nebulosa de Orión; explicó la doble refracción en su relación con la aberración esférica de las lentes, etc. Pero, tal vez, lo más importante en su carrera y para el futuro de la ciencia fue su formulación del modelo ondulatorio de la propagación de la luz. Desde este punto de

vista, dio cabida a numerosos fenómenos aún inexplicados. Explicó la refracción en función de las longitudes de onda de cada luz o color. Y si los rayos de luz no llegaban a chocar era porque se superponían como las ondas que vemos en el agua. Para ello, necesitó concebir un medio hipotético por el que estas ondas pudieran propagarse, lo que le hizo formular la existencia del éter, elemento que desempeñará un papel determinante en la física venidera. Sin embargo, tal como ocurrió en el caso de la teoría corpuscular, no logró responder a todas las preguntas (p.ej.: por qué la luz se propaga en línea recta, por qué proyecta sombras recortadas, por qué no sortea los obstáculos como lo hacen las ondas del sonido...).

La teoría ondulatoria de Huygens quedó en el olvido durante más de un siglo, hasta que el estudio de los fenómenos de interferencias, observados en las líneas de sombra, estudiadas por Young a principios del s. XIX, la rescatara para colocarla de igual a igual, junto a la teoría de Newton. Ambas formulaciones convivirán hasta nuestros días, obligadas a ofrecer una explicación conjunta de los nuevos fenómenos observados, tanto en la escala cósmica como en la atómica.

Se cierra así un siglo que ha sido definitivo para la formulación del método científico tal como lo conocemos hoy día, y en el que ha surgido una nueva forma de afrontar los enigmas que presenta la naturaleza, mediante la construcción de imágenes físicas o científicas que confirman y dan el espaldarazo al método deductivo. Un nuevo constructo, que deberá mucho a la imaginación y a la intuición humana, y que va a dar cabida a la explicación de fenómenos más allá de aquellos que han contribuido a la formación de ese mismo sistema. La formulación matemática de esas hipótesis, que, no por casualidad se suelen denominar imágenes⁹⁴, será un requisito imprescindible para conseguir la solidez y la durabilidad de sus principios. Las imágenes físicas globales, como la de Newton, se extienden y dan explicación a todo tipo de fenómenos naturales, más allá de sus fronteras originales. La vigencia de sus postulados se mantiene en el tiempo, hasta que la observación y medición de nuevos fenómenos la cuestionan o exigen su revisión. Curiosamente es una imagen real, fruto de la observación o facilitada por un instrumento –piénsese en la fotografía por ejemplo-, la que puede llegar a desbancar aquella otra imagen hipotética y transitoria. Y aún más, lo interesante del asunto es cuando comprobamos que son dichas imágenes teóricas las que hacen posible, en gran parte, la construcción de esos mismos instrumentos y de esas imágenes técnicas. Queda así establecido el ciclo eterno que formará el juego dialéctico entre el conocimiento inductivo y el deductivo, por un lado, y el pensamiento conceptual y el visual e imaginativo, por otro.

La imagen técnica es una imagen generada por aparatos. Y como éstos, a su vez, son producto de textos científicos aplicados, las imágenes técnicas vienen a ser productos indirectos de textos científicos. Esta característica les otorga, tanto histórica como ontológicamente, una posición diferente de la de las imágenes tradicionales. Históricamente, las imágenes tradicionales preceden a los textos en decenas de miles de años, mientras que las imágenes técnicas suceden a textos muy avanzados. Ontológicamente, las

*imágenes tradicionales son abstracciones de primer grado, pues abstraen del mundo concreto; en cambio, las imágenes técnicas son abstracciones de tercer grado: abstraen de textos que abstraen de imágenes tradicionales que abstraen, como hemos visto, del mundo concreto. Históricamente, las imágenes tradicionales son prehistóricas, y las técnicas “posthistóricas”.*⁹⁵

Todo resta en decidir el sentido ontológico de este proceso: si es la observación de los fenómenos y sus imágenes resultantes sobre lo que ha de construirse toda teoría, o si es esta última la que determina lo que debe ser observado y la ideación de los propios instrumentos de visualización. No está de más volver a la historia para buscar las claves de este juego entre teoría y praxis.

El s. XVIII es la confirmación de este proceso. Una vez descubierto el nuevo método científico, el avance en todas las ramas de la ciencia será imparable. Este siglo, denominado de la Ilustración, va a ser testigo de numerosas invenciones y de la formación de nuevas y modernas disciplinas. Concretamente, en estos años van a quedar definidas dos nuevas ciencias que van a tener una gran relevancia en el futuro de la fotografía. Por un lado, la química, que adopta una nueva dimensión, al desligarse de las teorías del flogisto y de cualquier otro planteamiento procedente de la alquimia; y por otro, se inician los estudios en profundidad de los fenómenos eléctricos. Será esta nueva forma de energía, que hasta entonces era sólo apreciada en los efectos de atracción que produce el ámbar al ser frotado, o por la acción de los imanes, la que va a revolucionar toda la ciencia venidera.

Este *Siglo de las Luces* va a coincidir con una admiración generalizada por los frutos que está aportando la ciencia, por sus teorías totalizadoras y deslumbrantes y por los beneficios económicos que van a comenzar a sentirse a raíz de sus múltiples aplicaciones en la industria y el comercio. La gran expansión demográfica, que avivará las tesis malthusianas, será un claro ejemplo de los avances científicos, en este caso de la medicina. Y la industria experimentará un crecimiento exponencial, debido a las nuevas máquinas de vapor y a la producción de energía hidráulica a gran escala, que se aplicará a la minería y a la manufactura textil principalmente. Irán apareciendo máquinas y más máquinas: de coser, de escribir, perforadoras, los primeros trenes para las minas, telares, lanzaderas, hasta llegar a los primeros autómatas parlantes; y también instrumentos y procedimientos científicos de precisión, como el termómetro de mercurio, el cronómetro, los tornos, los agentes químicos para el blanqueo de materiales, la primera forma de anestesia, etc. Se entra en un siglo de invenciones, pero en el que también proliferan las descripciones, colecciones y clasificaciones ligadas a lo científico, y en el que destaca la obra del sueco C. Linneo, que consigue elevar la botánica al rango de ciencia a partir de una exhaustiva descripción y clasificación de las plantas.

Todas estas innovaciones van a tener unas repercusiones sociales de gran trascendencia. En estas fechas ya se hace manifiesto que será el desarrollo industrial de los países el que otorgue más o menos poder a cada uno de ellos en el contexto de Europa y del mundo. Y

también, en este sentido, que las naciones del norte quedarán favorecidas por los grandes caudales de sus ríos, imprescindibles para el comercio y para la creación de energía que alimente las fábricas y las minas, y, asimismo, por hacer suyos los planteamientos y grandes potencialidades que ofrecían la técnica y la ciencia. Se abrirá un nuevo proceso histórico de lucha entre naciones por conseguir la hegemonía mundial, a caballo de la apertura de las nuevas rutas del comercio internacional, en el que el desarrollo científico y tecnológico de los países va a ser decisivo.

Mientras tanto, en el seno de las grandes ciudades, las modas y costumbres se ven ampliamente afectadas por los acontecimientos tecnológicos. En lo que se refiere a los medios de reproducción técnica de imágenes, también éstos iban a experimentar un gran avance, situándonos muy cerca del descubrimiento fotográfico. De un lado, aparecen las primeras máquinas de estereotipia, que potenciarán la difusión de los primeros periódicos, y las primeras planchas de cobre, que harán posible la impresión en tres colores. Estos procesos de impresión mecánica van a verse coronados, un par de décadas antes de la aparición de la fotografía, con la aparición de la litografía. Concretamente, esta técnica aparece de la mano de Aloys Senefelder en 1797, y supuso todo un avance en la técnica de la estampación, ya que permitía al dibujante o al artista realizar él mismo su propia obra



Fig. 32. Con razón o sin ella. F. Goya. Dibujo para el aguafuerte de la serie de grabados Los desastres de la guerra. Museo del Prado. 1810- 20.

Fig. 33. Entrada del gran tunel de un ferrocarril. (Detalle) 1849. H. Daumier. Litografía de Delaunois en "La Caricature". Biblioteca nacional de París, gabinete de estampas.

sobre la piedra, hecho que ahorró malinterpretaciones y los consabidos errores que acarrearba el dibujar sobre copias de copias. Con estas técnicas se abrirá una nueva época en la que va a proliferar la representación de eventos de la vida diaria, en forma de caricaturas, estampas y viñetas, junto a los textos que ya procuraba la imprenta. En este contexto hay que destacar la obra de Daumier y de Goya (Figs. 32 y 33), mediante el aguafuerte, la

litografía y la aguatinta, en la que se conjugan los valores artísticos y documentales de una manera magistral, rasgos que retomará en un futuro la mejor fotografía de carácter periodístico y documental. Si la aparición de la imprenta supuso unos cambios decisivos en la forma de escribir, algo parecido ocurriría en el dibujo y la pintura a raíz de la implantación de estas otras⁹⁶. La sociedad de entonces gustaba de admirar también las estampas y grabados provenientes de las expediciones científicas a lo largo y ancho del mundo: las de Bonpland, las de Robin Cook, las de Humboldt, repletas de animales y plantas exóticas y paisajes nunca vistos. (Fig. 34 y 35). La difusión del conocimiento a través de estos medios, así como de las nuevas enciclopedias, iba a potenciar la consolidación de una nueva clase social, la burguesía, que introduciría una cultura y unos valores nuevos en la sociedad, con una mezcla de admiración y de antagonismo por la aristocracia imperante.



Fig. 34. Alexander von Humboldt. De expediciones a Latino América. h 1802.



Fig. 35. Dibujo del volcán Cayambé (Ecuador), representativo del viaje de Humboldt y Bonpland a Latino América. Finales del XVIII.

Nuevos hábitos de lectura y de apreciación del arte, facilitados por estos primeros medios de reproducción técnica, van a recordar el efecto democratizador del saber que se generará en la sociedad a partir del advenimiento de la fotografía. El consumo de las obras de la cultura comienza de alguna manera a colectivizarse, ejemplo de ello, son las nuevas revistas ilustradas como el semanario Penny Magazine, aparecido en 1832 con tirada de 200. 000 ejemplares, a precio muy económico, y en el que se reproducían toscamente piezas de artes o postales de ciudades y paisajes remotos⁹⁷. O los pequeños teatros de perspectiva, que juegan con diferentes planos, o las nuevas aplicaciones de la linterna mágica, tan en boga en estas fechas, van preparando el camino de la llegada del cinematógrafo. De hecho, la proyección de un reloj con sus horas y minutos, que se efectuó en estos años a través de una linterna mágica, se puede considerar como el primer largometraje de la historia⁹⁸. La cámara oscura también se va a acomodar a las necesidades de la época, consiguiendo ser más portátil y manejable, así como perfeccionando el enfoque y la nitidez de sus imágenes con el uso de nuevas lentes y espejos. (Fig. 36 y 37) Pronto,



Fig. 36. Cámara oscura de Joshua Reynolds. h. 1760- 80



Fig. 37. Cámara oscura. Anthony Turner. h. 1800

podría incorporar uno de los grandes logros de la Óptica del s. XVIII: las lentes acromáticas, inventadas por John Dolland en 1758, que eliminaban las aberraciones debidas al color.

Dentro de este contexto, y en el ámbito de la nueva ciencia de la química, nos encontramos con un hecho de extrema importancia para la historia de la fotografía: en 1727, J. H. Schulze (1687- 1744) comprueba la formación de imágenes a partir del nitrato de plata. En su intento por obtener una sustancia fosforescente a partir de tiza y ácido nítrico, en el que previamente había disuelto restos de plata, constató que, al situarse junto a una ventana y exponer la mezcla a los rayos del sol, el compuesto blanco se oscurecía inmediatamente, mientras que las partes que permanecían a la sombra quedaban inalteradas⁹⁹. En los restos de plata encontró el secreto, comprobando que era esta sustancia la verdadera causante del ennegrecimiento del compuesto químico. Aunque las sales de plata ya se habían utilizado desde la antigüedad para teñir la madera, el

marfil, las pieles y las plumas¹⁰⁰, este físico decidió probar con ellas una utilidad nueva, dedicándose a pegar recortes de papel con la forma de letras y números en las botellas que contenían el compuesto, obteniendo de esta manera copias de esos signos en la tiza plateada. En realidad, había conseguido de esta forma lo que podría ser considerado como el primer fotograma precedero de la historia, ya que una vez que las botellas se movían de sitio, las impresiones desaparecían¹⁰¹.

La publicación de estos experimentos suscitó el interés de otros científicos. William Lewis repitió la experiencia en 1763, bañando, como los antiguos, marfil y madera en nitrato de plata y exponiendo al sol el material resultante. También confirmó el mismo efecto en algunos compuestos del mercurio. La experimentación en estos años en el terreno de la química fue imparable. Una década más tarde, otro químico, Carl W. Scheele (1747-

1786), estuvo muy cerca de encontrar la forma de fijar los efectos fotoquímicos de la plata, pero su atención estaba en otras lindes de la investigación científica. En cambio, en el curso de sus investigaciones sí confirmó que la parte del espectro cercano al ultravioleta dejaba una marca más acentuada en este tipo de sustancias¹⁰². Un mundo de posibilidades se abriría por este camino.

Hasta finales del siglo XVIII se van a suceder los trabajos en este campo, inexplorado hasta entonces, destacando la labor de J-A. C. Charles, quien se va a dedicar a la grabación de contornos de plantas, objetos e, incluso, de figuras humanas, por medio de la acción de la luz solar sobre superficies tintadas con sales de plata. Estos intentos de representación de perfiles humanos por medios químicos van a coincidir con la moda del dibujo y del recorte de siluetas en negro, que era la forma preferida por la gente de aquel entonces para retratarse. Como el fisionotrazo, una especie de grabado que hacía parecer el retratado a la cara de una moneda¹⁰³; o las máscaras de yeso y arcilla policromadas, vaciadas de los rostros de personas fallecidas. (Fig. 38). Adentrándonos un par de años en el siglo siguiente, serán Thomas Wedgwood y Humphry Davy quienes, en su búsqueda de una forma de reproducir pinturas y siluetas por medio de las sales de plata, repetirán los experimentos realizados por Schulze, sin lograr aún la



Fig. 38. Máscara mortuoria de William Blake. (1757- 1827)

formación indeleble de las imágenes¹⁰⁴. Nos encontramos a un paso del descubrimiento de la fotografía, pues tan sólo faltaba encontrar un modo de fijación de las imágenes, algo que estos autores buscaron con ahínco. Habría que esperar unos años para que John Herschel, el hijo del renombrado astrónomo, encontrara una forma de hacerlo acudiendo al hiposulfito de sosa (1819). Todos los elementos del arte fotográfico estaban listos para ser aglutinados en un mismo concepto, en un instrumento y en un método. No deja de sorprender que desde el descubrimiento de Schulze hasta la primera fotografía de la historia transcurriera casi un siglo, pues el descubrimiento de Herschel no se llevó a la práctica hasta 1839, año que Daguerre y Talbot hacen público sus descubrimientos. Los nuevos inventos esperan a veces años y años, hasta que la sociedad cambia a favor de ellos. Y la sociedad de aquella época, de finales del siglo, iba a cambiar con creces. Entre esos dos inventos, las revoluciones iban a proliferar por todo el mundo, trayendo un orden nuevo. La libertad comenzaba a ser sentida por las calles. Las nuevas constituciones iban a dar pasos agigantados en pro de los derechos más fundamentales de la persona. En este clima de reivindicación y de luchas irá a nacer la fotografía, como una hija más de la ciencia.

Tras las grandes conquistas logradas por el conocimiento científico a partir de Galileo, y tras los grandes triunfos de Newton y de toda la química del siglo XVIII, la admiración por

esta nueva forma de pensar, no sujeta a los vaivenes de la historia ni a los puntos de vista de cada cual, va a ser generalizada. Todo y todos van a pretender, de aquí en adelante, parecerse a la ciencia; no sólo afectando a aquellas nuevas disciplinas y ramas que surgieron por entonces, y que tildaron de blandas, sino que hasta la propia filosofía iba a intentar conseguirlo. El siglo XIX se inaugura con el prurito generalizado de hacer ciencia en todos los frentes, de conseguir la exactitud y la objetividad que éstas brindan; se van a buscar sistemas cerrados y autosuficientes, que aún reconociendo su relativismo y su sujeción a la historia, van a pretender hacer de la filosofía, incluso del pensamiento y formas de razonar humanos, algo científico. El idealismo triunfante, construido durante el s. XVIII y principios del XIX con las grandes obras de Kant y de Hegel, se va a tambalear tras la sucesión casi interminable de revoluciones que acabarán sepultando el Antiguo Régimen, y con la llegada de este nuevo ímpetu de la ciencia, que vendrá cargada de nuevas experiencias, nuevos laboratorios, nuevas fuentes de energía y nuevos instrumentos, entre ellos, la fotografía.

PARTE II. LA ERA DE LA FOTOGRAFÍA

Capítulo 4. La aparición de la fotografía

Tras las convulsiones sociales y políticas ocurridas en el mundo a raíz de la Revolución Francesa y de la lucha por la independencia de las colonias americanas, el s. XIX se despertaba a un avance de la ciencia único en la historia. Si hay un siglo que podemos denominar el siglo de la ciencia, definitivamente, ese es el s. XIX. La lista de invenciones que se produce a lo largo de estos cien años se podría decir que es incontable. La mayor parte de la tecnología que nos rodea hoy día, en los umbrales del s. XXI, nació y se desarrolló durante este agitado tiempo. En estos años, podemos encontrar también las raíces que alimentarán la gran revolución científica que tendrá lugar a partir de 1900, con la formulación de la teoría cuántica. De igual forma, en el último tercio de esta centuria surgen las bases teóricas y experimentales de otros avances científicos decisivos, que se irán consolidando a lo largo del siglo siguiente, tales como la teoría de la relatividad, la lógica formal -que dará sentido a nuestra actual informática-, todas las ramas derivadas de la electrónica y, desde luego, la tecnología de la imagen. Todas las ramificaciones del saber humano crecieron de forma exponencial, en consonancia con la nueva forma de obrar del nuevo método científico; y los resultados de este imponente despliegue comenzaron a afectar cada parcela de las vidas de los ciudadanos y de las sociedades del momento.

El avance en los estudios de los fenómenos eléctricos y de la luz, y la consolidación de la electricidad como una nueva fuente de energía fueron, tal vez, los elementos más determinantes en los cambios que se iban a producir a lo largo del siglo. Todas las ciencias se iban a ver afectadas por la aplicación y el control de esta nueva forma de energía. El análisis químico de la materia, las telecomunicaciones, la industria en general, el transporte y la vida en las ciudades, por entresacar lo más sobresaliente, se vieron afectadas por el advenimiento del mundo eléctrico. Y la ciencia, como tal, tampoco iba a escapar a esta influencia: el estudio de los fenómenos derivados de la electricidad iba a obligar al mundo científico a revisar sus leyes, sus métodos y sus propios fundamentos. La constatación de nuevos fenómenos observados, que resultaban inexplicables, se iría acumulando a lo largo de los años, hasta hacer tambalear los principios de la propia física, tal como fue entendida por Galileo y Newton.

Surgían, a un mismo tiempo, nuevas disciplinas y nuevos instrumentos que iban asimismo a contribuir a esa obligada remodelación de la ciencia. La biología, y en especial los estudios de Charles Darwin sobre la evolución de las especies, significó un nuevo mazazo al edificio tambaleante del antropocentrismo y una llamada de atención sobre la irrupción en el ámbito científico de las nuevas ciencias, consideradas *blandas*. El método científico también se vio obligado a adoptar una mayor flexibilización, a partir del estudio de los fenómenos irreversibles experimentados en los gases y el calor, contemplados por la Termodinámica. Por no hablar de los nuevos instrumentos ópticos, como el espectroscopio y la fotografía, que abrieron nuevos campos de investigación y una nueva dimensión al

proceso de la observación en la ciencia. Como colofón, el siglo legaría a la posteridad una de las conquistas más sobresalientes de la historia científica y tecnológica: la Teoría del Electromagnetismo, en la que, para sorpresa de todos, quedaban fusionadas de manera magistral la Electricidad y la Óptica. La luz se desvelaba como el elemento aglutinador de los fenómenos estudiados por ambas disciplinas y se convertía, de cara al futuro, en una de las estrellas alrededor de la cual girarían las demás ramas de la ciencia.

La tecnología y la ciencia se convertían en las dueñas y señoras de la civilización moderna. Todo el mundo quería ser científico, y someter sus trabajos, sus estudios, sus empresas, sus comercios, y hasta a sí mismos, a las exigencias de este nuevo método de conocimiento, que no dependía de elucubraciones, mitos, modas o creencias. La ciencia significaba poder, daba seguridad y -si volvemos a reivindicar la idea de progreso- podía incluso significar un mayor grado de libertad en el mundo. Gracias a ella se vivía más y con menor sufrimiento, se podía viajar mejor y más rápido, comunicarse con lugares remotos, ahorrarse esfuerzos innecesarios y abrir los ojos a realidades hasta entonces desconocidas y ocultas. La política, el arte, la filosofía, las nuevas ciencias humanas, todavía en un estado embrionario, mirarían hacia ella en busca de confirmación y seguridad de sus planteamientos. No es fortuito que fuera en estos años cuando, por primera vez en la historia de la humanidad, el pensamiento se atreve a prescindir de lo divino y lo sagrado, ya fuera apartándolo disimuladamente, o bien atacándolo sin tapujos, al señalar su efecto embriagador sobre las masas, o, sencillamente, afirmando que la máxima divinidad había muerto. Hasta la nueva clase triunfante de la revolución, la burguesía, no tuvo otra opción que claudicar ante esta nueva evidencia y marchar a favor del viento de lo racional; pues, aunque de cara a las costumbres debía seguir acudiendo a los templos, en su fuero interno sabía que sólo este conocimiento práctico del mundo les aseguraría prósperos y más copiosos negocios. El mito de Prometeo, ladrón de la sabiduría y del fuego divinos, se transformaba en el de Fausto, que vendía su alma al diablo a cambio de la llave de la felicidad y del conocimiento.

La acción del hombre sobre la naturaleza, tal como fue formulada por Francis Bacon como fundamento del método científico, empezó de esta manera a levantar serias sospechas. Las fuerzas incontroladas de la electricidad y del magnetismo, en ocasiones aplicadas al propio ser humano, o la pretensión de insuflar ánima y espíritu a las máquinas, o los efectos, ya por entonces constatados, de la devastadora y continuada explotación del paisaje, se tradujeron en llamadas de advertencias y alarma, casi siempre procedentes del mundo de la literatura y del arte, en forma de claras y vehementes críticas a lo que se preveía ya como un progreso caótico e incontrolado.

....“¿Por qué me traes a la memoria hechos que me hacen estremecer, y de los cuales soy autor y causa? ¡Maldito sea el día, abominable diablo, en el cual viste la luz! ¡Maldita sean - aunque me maldigo a mí mismo- las manos que te dieron forma! Me has hecho más desgraciado de lo que me es posible expresar. ¡No me has dejado la posibilidad de ser justo contigo! ¡Aparta!, libra mis ojos de tu detestable visión!” 105

A estas palabras angustiosas del *Doctor Frankenstein*, (1818) de Mary Shelley, se sumaron los cuentos fantásticos de E.T.A. Hoffmann (1817), en los que el magnetismo mágico e hipnótico jugaba un papel demonizador; la gran metáfora científico-literaria del *Moby Dick* (1851), de Melville; los monstruos producidos por la ciencia del *Doctor Jekyll y Mr. Hyde* (1886), de Stevenson; las premonitorias hecatombes radiactivas de los relatos de Lovecraft (Mitos de Cthulhu 1921- -26), hasta completar un largo etcétera que llega sin cesar hasta nuestros días.



Fig. 39. Vista de La Gras desde ventana. 1826. Joseph Nicéphore Niépce.

La fotografía, aunque también cargada de magia, pasaría en un principio más desapercibida que estas fuerzas oscuras -el electro-magnetismo, los autómatas o la química- amenazadoras de la sociedad. En los años en que se produjeron los primeros intentos por sacar a la luz la primera impresión fotográfica, nadie podía imaginar lo que con el tiempo supondría este nuevo invento. A ello contribuyó en gran medida el hecho de que Joseph Nicéphore Niépce (1765- 1833), nuestro primer fotógrafo, lo que en realidad buscaba era, simplemente, un nuevo método que facilitara el arduo trabajo de los litógrafos al grabar la piedra. Como torpe dibujante que era, deseaba encontrar alguna sustancia que fuera sensible a la acción del sol y que le pudiera ayudar en la composición de los dibujos. Por eso, cuando consiguió imprimir la primera fotografía, la llamó heliografía. En 1826, a nadie le sorprendió un invento que seguía el camino trazado por la cámara oscura, que se ponía a disposición casi exclusiva de los dibujantes y grabadores del momento. Tuvieron que transcurrir al menos diez años más para que el invento se perfeccionara y se pudiera conseguir la que está considerada como la primera fotografía de la historia: esa fachada ennegrecida de las casas de Saint-Loup-de-Varennes, que ya deja vislumbrar todo el poder de expresión que la fotografía tendría en un futuro, esa extraña combinación que logra irradiar a un mismo tiempo realidad y magia. (Fig. 39 y 40)

La fotografía nacía, por consiguiente, de la mano de la pintura; y el interés de la sociedad por ella se fue despertando muy lentamente, en

La fotografía, aunque también cargada de magia, pasaría en un principio más desapercibida que estas fuerzas oscuras -el electro-magnetismo, los autómatas o la química- amenazadoras de la sociedad. En los años en que se produjeron los primeros intentos por sacar a la luz la primera impresión fotográfica, nadie podía imaginar lo que con el tiempo supondría este nuevo invento. A ello contribuyó en gran medida el hecho de que Joseph Nicéphore Niépce (1765- 1833), nuestro primer fotógrafo, lo que en



Fig. 40. Joseph Nicéphore Niépce. (1765- 1833)



Fig. 40. Louis Jacques Mandé Daguerre. (1787- 1851)

ciudades distantes entre sí, y mediante trabajos que tomaban cuerpo de forma independiente. No deja de sorprender que el siguiente impulso dado a su desarrollo viniera también de la mano de lo pictórico, concretamente, cuando Niépce entabló amistad con Daguerre (Louis Jacques Mandé Daguerre) (1787- 1851), un pintor aficionado, que se convertiría con el tiempo en uno de los padres de esta técnica. Se conocieron en casa de un óptico, amigo de ambos, quien los puso en contacto porque conocía su afición común por la pintura y la fotografía. Daguerre pintaba escenarios de teatro y regentaba también un pequeño negocio de dioramas, ese antecedente del cinematógrafo que consistía en mostrar decorados en perspectivas, amenizado con juegos de luces. Y andaba también obsesionado con poder fijar las imágenes que veía en la cámara oscura (Fig. 41 y 42); así que le propuso al viejo Niépce, quien

utilizaba en aquel momento una rudimentaria técnica a base de betún de Judea y asfalto, asociarse con él y aunar sus esfuerzos para encontrar una fórmula más adecuada que ofreciera mejores e indelebles impresiones. La reticencia de Niépce, en un principio, y los numerosos intentos infructuosos de ambos, retrasaron mucho el trabajo. Hasta que la fotografía apareció por sí sola, casi por sorpresa. Como ocurriría en un futuro no muy lejano, con los rayos X y la radiactividad, se dio a conocer por un descuido, o por una de esas casualidades de la vida: Daguerre había interrumpido un experimento porque se había nublado el día, así que recogió las placas que tenía expuestas desde hacía rato y las guardó; a los pocos días, para asombro suyo, cuando se disponía a exponerlas de nuevo, las imágenes ya estaban allí, claras y relucientes. ¿Cuál fue el secreto? Al parecer, el vapor de unos restos de mercurio que estaban almacenados en el mismo armario donde había guardado las impresiones, las había revelado. Se descubría así el procedimiento de la *imagen latente*, y a un mismo tiempo un modo de reproducción que llevaría su nombre, el daguerrotipo.



Fig. 41. Diorama de Daguerre; según Tissandier.

El revuelo en esta ocasión fue inmenso. El pintor Paul Delaroche dijo: "*A partir de hoy, la pintura ha muerto*"¹⁰⁶. Y empezó, como era de esperar, la lucha por la atribución del

invento. En Inglaterra, W. H. Fox Talbot (1800-1877) (Fig. 43), un científico también aficionado al arte pictórico, se había volcado de lleno en la investigación de estos procedimientos. Y al igual que sus homólogos franceses, ligaría una vez más los orígenes de la fotografía a la pintura. Este aprendiz de pintor se sentía frustrado por no poder dibujar, ni aún con la ayuda de una cámara lúcida, un paisaje del lago Como, en Italia. Probó incluso con una cámara oscura, pero su talante inquieto y su impaciencia ante lo laborioso que resultaba el trazado de tantos detalles y tantas líneas, le hicieron desistir de su empeño. Así que, con un desconocimiento total de las investigaciones que ya se habían emprendido en Francia y en su propio país, y con el vago recuerdo de los avances efectuados por Wedgwood y Davy , de que las sales de plata podrían ser de utilidad con el dibujo, se puso manos a la obra.



Fig. 43. W. H. Fox Talbot (1800-1877)

A partir de 1834 comenzó con sus experimentos, impregnando papeles con diversas sales de plata (nitrato y cloruro de plata) y exponiéndolos al sol - lo que denominó *esquiografías* -, muchas veces con objetos encima, sobre todo hojas de plantas y de árboles, plumas, o cintas y trozos de encaje. (Fig.44 y 45). Al año siguiente se le ocurrió bañar los papeles

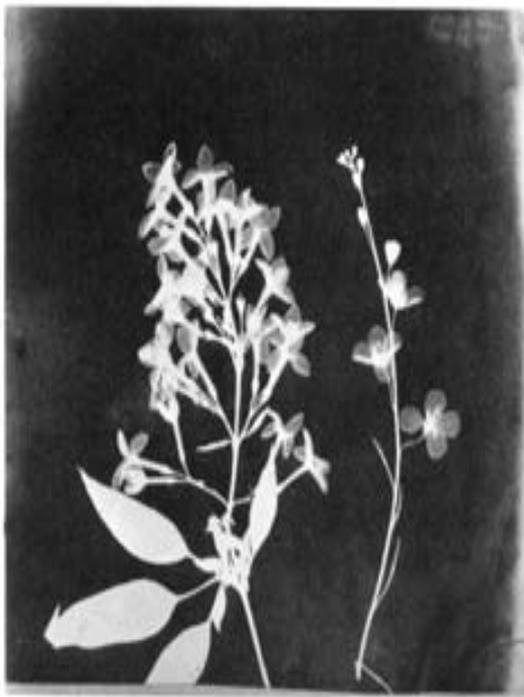


Fig. 44. Especímenes botánicos. Dibujo fotogénico. 1839. Fox Talbot.

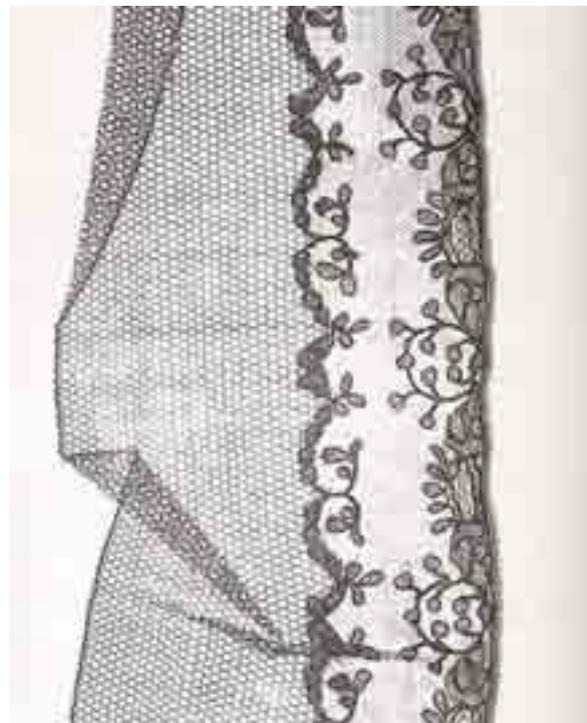


Fig. 45. Encaje. Copia sobre papel salado a partir de un negativo de dibujo fotogénico. c. 1840. Fox Talbot.

sucesivamente en plata y sal (nitrato de plata y yoduro potásico) y estando aún húmedos, colocarlos en el interior de la cámara oscura. De esta forma logró en varias ocasiones fotografiar su casa de campo.

*"Fue en el verano de 1835 cuando estas curiosas auto representaciones comenzaron a aparecer por primera vez. Sus tamaños eran muy pequeños; a decir verdad, eran miniaturas, aunque muy bien definidas, e hicieron falta tiempos de al menos nueve o diez minutos para obtenerlas."*¹⁰⁷

Era obvio que los primeros pasos de la fotografía, ya fuera en Inglaterra o en el continente, estuvieron dirigidos a la representación pictórica de la naturaleza, de la gente y de las ciudades. Daguerre sustituyó el betún de Judea y el aceite de lavanda, que eran los últimos productos utilizados por Niépce, por otro procedimiento más cercano a la química del momento, a base de yoduro de plata, vapor de mercurio y sal, pero cuya fórmula exacta se resistió a desvelar públicamente. La fotografía se dio a conocer, como lo haría el cine posteriormente, en el ambiente de las barracas y del mundo del espectáculo, que era el medio en el que se desenvolvía este empresario francés. No fue hasta 1839 que el nuevo invento entró oficialmente en el mundo científico, al ser presentado ante la Academia Francesa de las Ciencias por el científico F. J. Arago, a cuya reunión asistieron invitados de renombre del mundo entero. A partir de este momento, la fotografía atrajo la atención del resto de la sociedad, dejando entrever la trascendencia que tendría en un futuro no muy lejano en todas las ramas de la ciencia y de las artes, así como en los hábitos y costumbres del público en general. El mismo Arago, en su discurso de presentación ante la Academia ya se atrevió a vaticinar el uso probable que tendría este nuevo invento; concretamente señaló la astronomía, la fotometría, la microscopía, la fisiología, la medicina, la topografía y la arqueología.

La industria en torno a la fabricación de cámaras, accesorios, placas, productos químicos, etc., no tardó en prosperar por todo el mundo. Los nombres de Zeiss, Petzval, Voitgländer, Lewis, Leitz, y los de otros eminentes ópticos y químicos saltaron a la palestra. En pocos años, la técnica fotográfica avanzó de forma notable. Los tiempos de exposición, la nitidez, el peso de los equipos, la fragilidad de las placas, etc., fueron elementos que se mejoraron día a día en los laboratorios, cada vez más numerosos y dedicados por entero a este nuevo y próspero negocio. El daguerrotipo, que en realidad dependía de un positivo único en el que aparecía invertida la imagen, no dejaba de ser un procedimiento lento y complicado; sin embargo, aún así, sería la técnica utilizada en la mayoría de los países industrializados durante los primeros años. El uso masivo de la fotografía, obviamente, vendría dado por el público en general, que ansiaba probar la nueva técnica con fines no muy diferentes de los actuales: el retrato y los recuerdos de viajes. La fotografía estereoscópica hizo furor por entonces, proliferando la fabricación de estereoscopios para uso doméstico y los laboratorios dedicados exclusivamente a la producción de estereografías. (Fig. 46). Y a la sombra de esta arrolladora moda que recorría todas las grandes ciudades, la fotografía seguía atrayendo la atención de los científicos. Los primeros intentos que recoge la historia

de aplicaciones a la ciencia, se llevan a cabo en ramas que con el tiempo se van a convertir en los principales motores de desarrollo del medio fotográfico: el análisis microscópico de lo diminuto, el análisis espectroscópico y el estudio de los cuerpos celestes. A partir de 1840 tienen lugar las primeras tomas de la Luna por John William Draper, quien, siguiendo los pasos de E. Becquerel, también se dedica a fotografiar las líneas de sombra proporcionadas por el espectroscopio. Y en esas mismas fechas, el óptico Soleil, combina el microscopio con la técnica del daguerrotipo¹⁰⁸.



Fig. 46. Laboratorio de estereografías. Finales de 1850.

Pero ya vimos que el interés de la ciencia por la fotografía se remonta a años anteriores. Ya comprobamos como en la primera década del siglo la acción de las sales de plata había atraído la atención de físicos como Wedgwood y Davy, cuyos trabajos iban a suscitar el interés y la curiosidad del astrónomo John Herschel (1792- 1871), quien dedicaría muchos años de su vida al estudio de la fotografía. Al parecer, el propio nombre del invento se debe a él, al igual que la técnica del fijado de las imágenes (1819), que, en realidad, es el elemento determinante en la constitución de lo fotográfico, así como otros procedimientos y términos muy comunes hoy día, tales como *positivo*, *negativo* o *fotografía instantánea*. El cine también debe un capítulo de su historia a este incansable y curioso investigador, por ser él quien ingenió el Taumatropio, un juguete consistente en una cartulina redonda que gira alrededor de sí misma cuando se tira de los hilos que la sujetan, produciendo la ilusión del movimiento de las imágenes que lleva pintadas en sus caras. Si en una cara dibujamos una jaula, y en la otra un pajarito, la rotación del cartón produce el efecto de que el pájaro ha sido enjaulado. La profusión de creadores de invenciones en torno a la fotografía de aquellos años nos trae a la memoria aquellas palabras de Lewis Mumford, citadas en el anterior capítulo, sobre la aparición y atribución de los inventos. Porque en torno a 1839, los ensayos e investigaciones sobre los procesos fotográficos, al menos en los países más industrializados, y los logros obtenidos a un mismo tiempo por diferentes científicos, con resultados muy parecidos, eran tan generalizados que nos deben apartar de cualquier visión personalista o chovinista al respecto.

La nueva técnica inventada por Talbot fue el calotipo (1841), cuya propia raíz etimológica hacía patente la relación del nuevo formato con los procesos de grabación aún imperantes. En este proceso, que reducía considerablemente el tiempo de exposición, se formaba primero una imagen latente, que era posteriormente revelada. De esta forma había conseguido, sin darse cuenta, un método para extraer varias copias de un mismo original. Una vez más, el azar intervino decisivamente en el avance científico de esta materia.

Un día de septiembre pasado, estaba probando algunos trozos de papel sensible, preparados de diferentes maneras, en la cámara oscura, dejándolos allí sólo por un breve periodo de tiempo con el fin de comprobar cuáles eran los más sensibles. Saqué uno de estos papeles y lo examiné a la luz de una vela. Se veía poco, por no decir nada, con lo que lo dejé encima de la mesa del cuarto oscuro. Al volver después de un rato y mirar de nuevo el papel, cual no sería la sorpresa de ver en él una imagen clara y nítida. Verdaderamente no había visto nunca nada parecido, por consiguiente (magia aparte), la única conclusión que podía ser sacada fue que la imagen se había revelado contra todo pronóstico por sí misma, debido a algún efecto espontáneo.¹⁰⁹

Esta carta, por otro lado, ilustra a la perfección la convivencia de los elementos artísticos con los experimentales en esta primera época de la fotografía. A simple vista, se desprende de ella la idea de que el origen de este nuevo medio de reproducción técnica pudo estar ligado más estrechamente al mundo del dibujo y del grabado que al científico, pues queda patente que el trabajo está encaminado a mejorar las prestaciones de la cámara oscura y que el objeto de la nueva invención no parece otro que el de la reproducción de índole pictórica. Pero, a un mismo tiempo, comprobamos cómo la faceta científica subyace a estos propósitos artísticos, dada la forma de proceder de un verdadero científico experimentador como era Talbot. En este corto relato descubrimos ya lo que serán las diferencias esenciales entre un tipo de fotografía y otro, pues, mientras que en la fotografía artística y convencional la perspectiva es fundamental e ineludible, al menos durante muchos años, en la científica y tecnológica no será en absoluto un factor determinante.

El calotipo demostró en el mercado su superioridad sobre el procedimiento de Daguerre y fue perfeccionándose e imponiéndose con los años. La experimentación con vistas a mejorar el procedimiento fotográfico fue frenética a lo largo del siglo. No hay que olvidar que la división entre el trabajo de los "fotógrafos" -en su concepción más actual- y el de los fabricantes de material fotosensible no aparecería hasta la década de los ochenta, lo que significaba que la mayoría de ellos, hasta esa época, manufacturaban habitualmente sus propios materiales; razón de más, cuando éstos debían ser preparados y procesados en el mismo momento de las exposiciones.

Varias técnicas se sucederían a lo largo del siglo, entre las que cabría destacar la de la albúmina (1847), ingeniada por Niépce de Sant Victor, primo del viejo inventor, e incansable investigador del medio fotográfico. A él se deben los primeros negativos sobre cristal y el intento de utilizar las sales de uranio como material fotosensible. La albúmina era un procedimiento delicado, con el que se conseguía una imagen negativa sobre placas de cristal. Estas debían ser fabricadas con vidrio de gran calidad y bañadas con clara de huevo de gallinas viejas (Figuras 47 a 52). Los positivos se hacían también en papel impregnado de esta misma manera, consiguiéndose copias de muy buen brillo y con posibilidad de diferentes tonos rojos, sepías o azulados. Otra técnica que desempeñaría un papel decisivo en estos años fue la del colodión húmedo, lanzado al mercado por Frederik

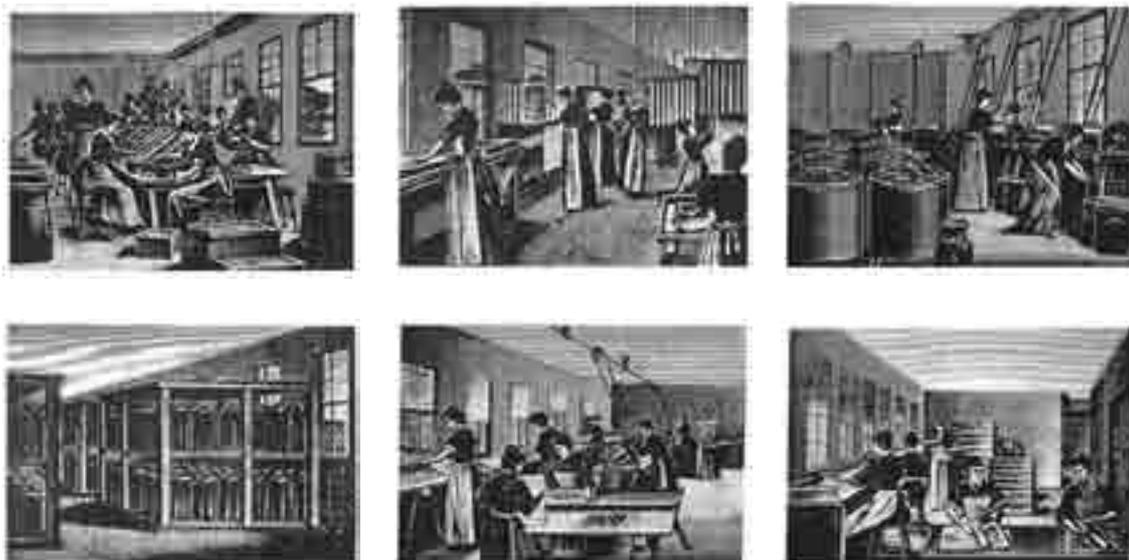


Fig. 47 a 52. Fabricación de papeles a la albúmina. 1.- Separando la clara de la yema de los huevos. 2.- Impregnanando el papel con la solución a la albúmina. 3.- Batiendo la albúmina a punto de nieve. 4.- Fermentación de la albúmina en grandes recipientes. 5.- Enrollando las láminas de papel a la albúmina en máquinas de prensado. 6. Clasificando y empaquetando papel a la albúmina. h. 1860.

Scott Archer en 1851. El colodión es una sustancia transparente y viscosa a base de nitrato de celulosa, que sirve como aglutinador de las sales de plata. Si bien sus resultados eran notables, presentaba la inconveniencia de que todo el proceso de exposición y de revelado debía ser llevado a cabo mientras la placa se mantenía húmeda. Aun así, fue la técnica preponderante en las décadas de los sesenta y setenta, dado su bajo costo, facilidad de uso y rapidez de procesamiento. Es de destacar su uso por la sociedad civil en las famosas tarjetas de visita, muy en boga en la época, o en la emisión de los primeros pasaportes que comenzaban a incluir fotografía identificativa. En el terreno científico, el colodión fue de gran ayuda en los primeros estudios espectroscópicos de la luz solar y de algunas estrellas, así como en la fotografía astronómica y microscópica. Es importante señalar al respecto que la fotografía, en todas sus formas y procedimientos, potenció el avance de las ciencias al fijar las imágenes de los objetos estudiados, pero también al permitir la investigación más en profundidad de los efectos fotoquímicos, de las reacciones químicas, de los nuevos compuestos aglutinantes, de las fuentes y los filtros de luz, etc. que serán determinantes en los avances de la física y la química. Especial atención merece la óptica, que gracias a la fotografía experimentará un avance decisivo, posible especialmente por la actividad de la industria alemana, que comenzará a fabricar lentes cada vez más luminosas y ausentes de defectos y aberraciones, que se aplicarán luego a las nuevas cámaras fotográficas y a todo el resto de la instrumentación científica.

El paso decisivo, no obstante, se daría con la invención de la técnica de fabricación de placas en seco, gracias a la aparición de un nuevo medio aglutinador de los compuestos químicos, la gelatina. La placa compuesta de gelatina y bromuro de plata, conocida en castellano como al *gelatino- bromuro*, o de *gelatina de plata*, salió a la luz en 1871, de la mano de Richard L. Maddox¹¹⁰, un médico inglés aficionado a la fotomicrografía, y

consiguió implantarse masivamente por las obvias mejoras que ofrecía en su almacenamiento y procesado. De hecho, este nuevo tipo de emulsión supuso un antes y un después en la historia de la fotografía. A partir de finales de la década de los setenta, la placa de *gelatina de plata* se impuso abrumadoramente. Y fue entonces cuando la fotografía empezó a buscarse a sí misma, a contemplarse como una tecnología refinada y como una rama más de la ciencia. Era preciso, en una palabra, que adquiriera la mayoría de edad a partir de una definición exhaustiva de sus procedimientos y de la aplicación del propio método científico a sí misma. En otras palabras: declarar su campo de acción, proponer sus vías de experimentación y obtener una definición cuantitativa de los fenómenos fotosensibles. En los primeros años de los noventa, el procedimiento fotográfico, tal como lo conocemos hoy día, ya queda definido gracias a la aparición de negativos y papeles fabricados con la técnica de la gelatina de plata. La sensitometría, o ciencia que determina con exactitud la relación de la intensidad o el tiempo de la luz incidente con el ennegrecimiento de las sales quedó definida con este nuevo soporte. En 1888 aparecen las primeras tablas relativas a la exposición de los materiales fotográficos. En este sentido es de destacar la aparición en 1890 de la obra de Hurter y Driffield, en la que se fijan las principales tablas de sensitometría y la *curva característica* que relaciona los valores de luminosidad y densidad de los materiales fotosensibles. La entrada en escena de la compañía Eastman Kodak con la fabricación industrial de este tipo de soportes a partir de 1884 dará comienzo a la fotografía química moderna.

Si este avance era totalmente necesario, si no imprescindible, para la fotografía científica, para la fotografía pictórica se traducía en un mejor control de la paleta de tonos, en la consecución de algún que otro efecto, o en mejoras de la nitidez o el brillo. En el terreno de la aplicación científica de la fotografía, el avance debido a la placa de gelatina en seco fue determinante. A partir de este procedimiento, el control de las observaciones sería más sutil; y la tarea de los científicos mucho más metódica y cómoda.

A llegar a estos años próximos al final del siglo, la diferencia entre la fotografía pictórica y la científica era manifiesta. Poco a poco, cada una de ellas habían ido tomando su camino. La primera se dedicó principalmente a cubrir las demandas sociales condicionadas por las nuevas modas, en especial por el gusto por el retrato, por los recuerdos de los viajes, o por los álbumes familiares, incluidas las fotografías de los muertos. La polémica suscitada sobre si se debía considerar o no la fotografía como una nueva forma de arte invadió los círculos culturales.

Al irrumpir el primer medio de reproducción de veras revolucionario, a saber la fotografía (a un tiempo con el despunte del socialismo), el arte sintió la proximidad de la crisis que después de otros cien años resulta innegable), y reaccionó con la teoría de “l’art pour l’art”, esto es, con una teología del arte.¹¹¹

De nada servía, por tanto, plantearse cuestiones tan baladíes. Lo importante, como señaló el mismo Benjamin, no era divagar sobre el posible valor artístico de la fotografía, sino

analizar en qué forma el arte se iba a ver convulsionado por la aparición de este nuevo medio de reproducción técnica. El siglo XX se ha encargado por sí solo de confirmar con rotundidad estas premoniciones del filósofo alemán: la fotografía no sólo ha obligado al arte a dar un giro copernicano en sus formas y contenidos, sino que ha llegado a convertirse, en sus múltiples formas, en la expresión artística más representativa de este pasado siglo.

Y mientras la fotografía artística campaba por sus fueros, la científica seguía avanzando en el silencio de los laboratorios. En honor a la verdad, hay que decir que ambas fotografías se mantuvieron ligadas durante la mayor parte del s. XIX. No era infrecuente la presentación conjunta de sus logros en las ferias internacionales, como las celebradas habitualmente en el Palacio de Cristal de Londres, en las que los paisajes pictorialistas de H. Emerson, o los retratos difuminados de Julia M. Cameron, se exhibían conjuntamente con las primeras impresiones de la Luna y el Sol, o de los primeros glóbulos de la sangre retratados con la ayuda del microscopio. Esta convivencia, que en la actualidad nos produciría sorpresa –es difícil imaginar, hoy en día, una exposición en uno de nuestros recintos feriales, donde las fotografías de S. Salgado o de R. Avedon, pudieran exhibirse conjuntamente con las últimas tomas de las galaxias más remotas o con los procedimientos de reproducción fotográfica de los microchips, por ejemplo-, era entonces moneda común.

El porqué de esta escisión habrá tal vez que buscarlo en el alejamiento paulatino que sufriría la ciencia con respecto a la población en general, sobre todo a partir del desarrollo de aquellas ramas científicas menos tangibles y más imbricadas en cuanto a sus planteamientos teóricos. La entropía, los campos magnéticos, la lógica formal, los estudios espectroscópicos, la irrupción de la electrónica, etc., habían construido un mundo de fenómenos *invisibles*, que alejaban irremediablemente a todos aquellos que necesitaban del *ver para creer*, de los que comprenden viendo las cosas. No es que la ciencia hubiera adoptado planteamientos más especulativos -eso vendría luego, a partir de la mecánica cuántica-, sino que construía imágenes físicas cada vez más elaboradas y complejas. La idea del campo magnético, de Faraday; las Leyes Fundamentales de la Termodinámica, de Carnot, Mayer y Joule, y Clausius, entre otros; la formulación de la Teoría del Electromagnetismo, por Maxwell; o la Teoría Electrónica de Lorentz, por ejemplo, integraban de forma magistral, en concepciones lo más cerradas posibles, el resultado de las observaciones llevadas a cabo hasta entonces en cada una de esas materias. Hasta tal punto que bordeaban el campo de la filosofía, con sus conceptos de líneas de fuerza, conservación de la energía, entropía, o con sus incursiones en el atomismo; ciertamente no hasta el punto de desplazar la labor de los filósofos, pero sí para que éstos tuvieran que estar muy pendientes de sus teorías y de sus aplicaciones en la vida cotidiana. Con lo que los sucesores del empirismo y del racionalismo encontraron de esta forma un nuevo escenario para proseguir su particular batalla.

4.1. La fotografía y el fin de la filosofía clásica alemana

El mundo de los espectros se hacía realidad. Los simulacros de los que nos hablaba Lucrecio, se hacían tangibles, tenían un porqué. El espectroscopio y la cámara lúcida objetivaban el mundo de los espíritus¹¹². La creación del primer elemento sintético, la urea, hacía tambalear todos los apriorismos posibles. El universo de los átomos volvía a aparecer con más fuerza. Tras un siglo dominado por la omnipresencia de la filosofía kantiana, las ciencias naturales volvían a irrumpir con fuerza, arrastrando nuevamente tras de sí a todas las corrientes del pensamiento. La concepción de Newton de un espacio y un tiempo absolutos, en cuyas coordenadas abstractas se producían todos los fenómenos de la naturaleza, había conducido a Kant a la formulación de una nueva filosofía general, elaborada hasta el último detalle, que iba a servir de continuación al pensamiento cartesiano. El mundo omnipotente de la razón y de las ideas innatas del racionalismo se transformaba en una nueva dualidad abstracta, que descansaba en este caso en la distinción entre la *cosa en sí* y los *fenómenos*, los dos pilares sobre los que se sustentaría el conocimiento humano. Si la experiencia y los sentidos eran el camino directo hacia el mundo de los fenómenos, la *cosa en sí*, la verdadera esencia de los objetos que nos rodean, se convertía en algo inaccesible para la mente humana. El mundo de las ideas quedaba reforzado nuevamente por esta distinción. Volvíamos a enfrentarnos a sombras inexplicables. Sin embargo, la nueva metafísica se sentía obligada a convivir con el espectacular avance de las ciencias naturales de finales de siglo, especialmente con el originado por el galvanismo, la fisiología animal y vegetal, la astronomía física, la anatomía comparada, etc., y a dar cabida en su seno a todas las innovaciones técnicas que éstas estaban originando. Esta ardua tarea fue la que se impuso A. Schopenhauer (1788- 1860), como continuador de la obra de Kant, no limitándose solamente a ser un testigo atento de los avances científicos, sino situando las mismas ciencias en el eje central de su filosofía.

*Y de aquí resulta que no se queda mi sistema, como todos los precedentes, flotando en el aire, por encima de toda realidad y de toda experiencia, sino que se asienta en el firme suelo de la efectividad, que es el de las ciencias físicas.*¹¹³

Según este filósofo alemán, la acción de los científicos, a través de su actividad profesional diaria, les habría conducido, sin ellos mismos saberlo, a una concepción metafísica, que él se encargaría de dar forma a partir de la obra magna de Kant. Pero en Schopenhauer, la dualidad establecida por su maestro entre *cosa en sí* y *fenómeno*, se transformó en un nuevo par indisoluble: el de la voluntad y la representación. Si las representaciones eran al fin y al cabo la imagen y la idea que tenemos de los fenómenos naturales, la voluntad abarcaría todo; sería el verdadero principio de las cosas, de las ideas, de las esencias metafísicas, así como de la vida en todos sus aspectos; desde los instintos animales al universo de las plantas, desde cualquier manifestación del mundo inorgánico, hasta, incluso, la propia fuerza de la gravedad. Los fenómenos, como representaciones, estaban supeditados a este primer principio, base de todo lo real, y verdadero motor de todo lo existente.

*Toda manifestación de vida lo es de la voluntad orgánica, tanto enferma como sana; esta voluntad es la que determina la vida vegetativa. Lo hace en el estado de salud, de acuerdo con la unidad del todo, y en el de enfermedad vese movida a querer, en desacuerdo con la unidad.*¹¹⁴

Una nueva metafísica era entonces necesaria, tanto a fin de aglutinar las conclusiones y los modelos teóricos provenientes de la nueva ciencia natural, como para dar continuidad a la tradición filosófica. Kant se veía fusionado de esta forma con la obra de los más importantes fisiólogos de la época: Stahl, Haller, Müller, etc. La innovación de Schopenhauer con respecto a las filosofías anteriores, consistió en anteponer la voluntad por encima incluso de la inteligencia o de la razón, como primer principio del conocimiento y del espíritu humanos. En la obra de este filósofo ya no será el alma el principio eterno e indestructible de la vida; a semejanza del agua que encierra en sí misma dos elementos, el yo se forma de voluntad e intelecto, pero es la primera la que prevalece por encima de todo lo demás. La representación, por consiguiente, es un mero espejo de ésta, una producción del organismo, procesada por el cerebro, que está movido a su vez por este primer principio de las cosas. Las acciones del cuerpo no son otra cosa que los actos de la voluntad que se dibujan en la representación; y la figura del mismo cuerpo no es más que la imagen de esa fuerza incólume. La voluntad se erigía, pues, como origen tanto de la conciencia como del mundo físico de los hombres. Así, la percepción y el pensamiento humanos se entienden como actos ligados a lo orgánico: si un excitante físico-químico produce una reacción en el organismo, las representaciones, de igual forma, producen una imagen cerebral que potencia idéntica reacción; y por encima de todo, en el origen de uno y otro proceso, se encuentra la voluntad. Este nuevo principio metafísico intentaba aglutinar todas las acciones del hombre, ya fueran los fenómenos físicos ligados a la naturaleza, ya fueran los provenientes del espíritu. Las mismas imágenes formadas en la conciencia humana procederán bien del mundo exterior, bien de la combinación de conceptos o recuerdos ya existentes, y desligados en ese momento de lo sensible, que por combinación adquieren forma en el intelecto; son representaciones al fin y al cabo, motivos que acaban produciendo imágenes en el cerebro. Incluso el libre albedrío está, en Schopenhauer, supeditado a la voluntad; éste no sería otra cosa que una manifestación más de aquella, como lo sería cualquier ser orgánico o inorgánico de la naturaleza. El albedrío, que es *la voluntad cuando la alumbra el intelecto*, toma forma en la conciencia; de ahí que los actos involuntarios o inconscientes no dependan de él, sino de la voluntad. Libre albedrío e inteligencia dan lugar al mundo de las representaciones, que es ese apartado en el que el hombre unifica el mundo externo con el propio, y que es lo que nos diferencia de las plantas y otros animales.

La filosofía de Schopenhauer estuvo grandemente influenciada por el desarrollo de las ciencias del momento, en especial por el de la Fisiología animal y vegetal, por lo que su obra es una curiosa mezcla de principios metafísicos con fenómenos orgánicos, de abstracciones con realidades que rezuman humores, excrecencias y todo tipo de fluidos corpóreos, y de ideas impregnadas de hechos provenientes de la reproducción animal y de las plantas, de la reacción de los tejidos y fibras musculares a los estímulos, de la anatomía comparada,

siendo, en definitiva, un complejo entramado teórico que buscaba desesperadamente un entendimiento entre el mundo de la filosofía kantiana y el de la nueva ciencia que se iba construyendo. La filosofía de la voluntad, a diferencia por ejemplo del pensamiento de Leibniz, nacía más de las entrañas de la Fisiología como ciencia, que de las realidades e instrumentaciones del mundo de la Óptica. La fuerza vital de la naturaleza adquiriría un claro protagonismo en esta concepción, profundamente influida por las filosofías orientales. La voluntad, al fin y al cabo, no era otra cosa que un ser supremo, el absoluto que habita en cada ser viviente; y la ciencia, como las representaciones, sólo una parte de esa deidad. De aquí que, a fin de cuentas, esta filosofía, a pesar de su atención al mundo científico de la época y a las fuerzas de la naturaleza, no dejara de ser una formulación de idealismo puro, que a la postre se vio forzado a reconocer la primacía de lo espiritual por encima de cualquier materia. O más aún, a aceptar la idea de que el mundo no existe fuera de nosotros mismos.

La verdadera fisiología, cuando se eleva, muéstranos lo espiritual del hombre (el conocimiento), como producto de lo físico de él, lo que ha demostrado cual ningún otro, Cabanis; pero la verdadera metafísica nos enseña que eso mismo físico no es más que producto o más bien manifestación de algo espiritual (la voluntad) y que la materia misma está condicionada por la representación, en la cual tan sólo existe.

Porque, en efecto, un mundo objetivo sin un sujeto en cuya conciencia exista, es, bien considerado, algo eternamente inconcebible.¹¹⁵

No sería ésta la única filosofía influida por el desarrollo científico de aquellos años. Las nuevas ciencias sociales y humanas, los avances producidos en óptica, así como los estudios sobre el calor, la nueva química, el despegue de la biología, etc., acompañado por los movimientos de sello socialista y anarquista que se fraguaron en torno a las nuevas clases trabajadoras, concentradas por la industria, iban a despertar el interés de otros pensadores. A finales de siglo y comienzos del XIX comenzó a entablarse una pugna encendida entre los partidarios de las corrientes cercanas al idealismo, en torno a la figura de Hegel, y aquellos otros, reivindicadores del pensamiento materialista surgido a raíz del auge de las ciencias, enfrentamiento que se prolongaría vivamente a lo largo del s. XIX. En esta disyuntiva, la ciencia desempeñó un papel determinante, hasta el punto de que ambas tendencias acabaron por supeditarse a la evidencia del conocimiento científico, pretendiendo alcanzar ellas mismas esa categoría. El descubrimiento de un nuevo mundo hasta entonces invisible, gracias a los nuevos instrumentos ópticos, sería decisivo en esta batalla. Y ni que decir tiene que los partidarios del positivismo y del materialismo conseguirían cierta ventaja durante el transcurso del siglo, logrando atraer a sus tesis a numerosos científicos.

El positivismo de Auguste Comte siguió el camino inverso al del filósofo de la voluntad. Para el creador de la ciencia positiva, el conocimiento humano, a lo largo de la historia,

había sufrido tres transformaciones: en primer lugar existió el estado *teológico o ficticio*, dominado por la idea de lo absoluto y por la creencia en seres sobrenaturales; en segundo lugar, encontrábamos el estado *metafísico o abstracto*, en el que dominaron los conceptos y las palabras como primer principio de la realidad; y por último, llegábamos al estado *positivo o científico*, fundamentado en los hechos observados y en las leyes que nacían del estudio de la relación entre ellos. Evidentemente se trataba de una filosofía que entroncaba con la tradición del empirismo inglés y con la filosofía que a partir de Newton se iba a denominar Filosofía Natural. Aquí, el peso de las ciencias era a todas luces manifiesto. El pensamiento positivo se podría aplicar a cualquier disciplina o actividad humana, por lo que iba más allá de lo que entendemos por una simple filosofía de las ciencias; en este caso, se trataba más bien de un método general que podía ser aplicado a cada una de las ramas científicas. La filosofía positiva ya no era un intento de integración del mundo del pensamiento y el científico en un cuerpo teórico, como fue en el caso del autor de *El mundo como voluntad y representación*, sino un método de razonamiento único, afín a las ciencias, y aplicable a cualquier actividad humana. De aquí la importancia del positivismo en las emergentes ciencias sociales del momento. La economía, la sociología, la psicología, las ciencias de la naturaleza, etc., vivían en aquel entonces un momento de ebullición y demandaban un método y una definición de su campo de estudio; en este contexto, el positivismo no sólo estaba dispuesto a satisfacer esta necesidad, sino que iba a pretender erigirse como el verdadero método para la adquisición del conocimiento. Incluso la filosofía, a partir de ahora, debería adoptar este esquema conceptual, evitando las especulaciones y su atención a lo absoluto e indescifrable, para convertirse en un método universal y práctico que diera cabida a las diferentes formas de conocimiento.

*Por fin, en el estado positivo, el espíritu humano, reconociendo la imposibilidad de obtener nociones absolutas, renuncia a buscar el origen y el destino del universo y a conocer las causas íntimas de los fenómenos, para dedicarse únicamente a descubrir, con el uso bien combinado del razonamiento y de la observación, sus leyes efectivas, es decir, sus relaciones invariables de sucesión y similitud.*¹¹⁶

Estas líneas recuerdan aquellas otras de Locke, que incluíamos en el capítulo anterior, con las que este empirista inglés rehusaba plantearse las cuestiones del espíritu, dejándolas para otros más capaces en esos menesteres. Quedaba clara la continuidad que el positivismo mostraba con la escuela empirista inglesa, al reducir todo conocimiento a los hechos observables y medibles y al método general de las ciencias experimentales. Con la salvedad de que, en esta ocasión, se buscaba una integración no sólo de las ciencias físicas, químicas y fisiológicas, sino también de las sociales. De hecho, la incorporación de estas nuevas disciplinas al marco general de las ciencias era condición inexcusable para una formulación completa de lo que él entendía por ciencia positiva.

Ésta es la única, aunque grande laguna que hay que rellenar para acabar de constituir la filosofía positiva. Ahora que el espíritu

*humano ha fundado la física celeste, la física terrestre mecánica o química, la física orgánica, vegetal o animal, fáltale completar el sistema de las ciencias de la observación fundando la física social. Ésta es la más grande y la más acuciante necesidad de nuestra inteligencia; esta es, me atrevo a decir, la primera finalidad de este curso, su finalidad especial.*¹¹⁷

No es casual que el trabajo de Comte coincidiera con la aparición y el auge de la fotografía y de la espectroscopía. El énfasis puesto por esta filosofía en la observación, como base del conocimiento científico, tuvo que apoyarse necesariamente en el desarrollo de la instrumentación óptica del momento. Este alejamiento de las cuestiones trascendentales, o de las indagaciones de tipo absoluto, que el positivismo entendía propias de estados primitivos del conocimiento, tuvo que surgir del impacto que las ciencias y la tecnología tenían en la sociedad en esas fechas. Para que todo cobrara un sentido real e inteligible, la lógica debía enunciar exclusivamente proposiciones reducibles a hechos y la imaginación debía ser subordinada a la observación. La limitación de los sentidos encontraba rápidamente una compensación en los instrumentos que son capaces de abrirnos nuevas realidades y mundos secretos.

*Si la pérdida de un sentido importante basta para ocultarnos radicalmente un orden entero de fenómenos naturales, tenemos todas las razones para pensar que, recíprocamente, la adquisición de un sentido nuevo nos descubriría una clase de hechos de los que actualmente no tenemos la menor idea, a menos de creer que la diversidad de los sentidos, tan diferentes entre los principales tipos de animalidad, ha llegado en nuestro organismo al más alto grado que pueda exigir la exploración total del mundo exterior, suposición evidentemente gratuita y casi ridícula.*¹¹⁸

Para comprobarlo sólo había que mirar hacia la astronomía, o hacia el análisis microscópico de plantas y animales, incluidas bacterias y bacilos, que se llevaban a cabo en esos años; por no hablar del análisis espectroscópico que abría por entonces nuevas fronteras en el estudio de los cuerpos celestes, de la luz o de los gases. Y esta fuerte presencia del factor observación en la ciencia no tenía otra finalidad que la de poder anticiparse a los hechos futuros. Había que mirar hacia delante, el *ver para creer* no era suficiente, pues el fin de toda ciencia ha de ser adelantarse, para prever el futuro.

*De suerte que el verdadero espíritu positivo consiste, sobre todo, en ver para prever, en estudiar lo que es para deducir lo que será, según el dogma general de la invariabilidad de las leyes naturales.*¹¹⁹

Sin embargo, no todo podía ser observado. La gran fuerza que desplegaron por entonces las máquinas de vapor o los nuevos barcos y locomotoras traídos por la industria aprovechaba un nuevo tipo de energía, consistente en la traslación del poder del fuego a los movimientos mecánicos de sus poleas, engranajes y ruedas, y ese poder no era en absoluto visible. Se producía en el interior de las calderas y de los pistones donde se acumulaban los gases, cuya presión provocaba el movimiento. El estudio de esos procesos, observables indirectamente e irreversibles, fue dando forma a una nueva rama de la ciencia: la Termodinámica, una ciencia que hablaba de temperatura, calor, equilibrio térmico. Mecánica y calor se aliaron para formar una nueva visión de las cosas. Un tornillo que se apretaba contra un metal producía calor. También el rozamiento de los cuerpos. Y así hasta llegar al funcionamiento de lo que constituía la tecnología punta del momento: los nuevos ferrocarriles y los barcos de vapor; las extractoras de las minas y las máquinas que movían toda la industria textil, del metal o de los cañones. De ese mundo brotaron las primeras leyes de esta nueva ciencia, como la que afirma que la misma cantidad de trabajo produce siempre la misma cantidad de calor, independientemente del procedimiento utilizado¹²⁰. O que el calor depende del ordenamiento de las moléculas, por lo que mientras más caos o desorden encontremos en las del interior de un gas o un cuerpo, todo se encontrará paradójicamente más disipado, más tranquilo, y por consiguiente producirá menos calor, acentuándose éste, por el contrario, si las encontramos muy ordenadas. Un desorden total sería, obviamente, la muerte. De aquí, que para convertir calor en trabajo hagan falta siempre dos fuentes de calor, una siempre más caliente que la otra¹²¹.

Los conceptos y las leyes, como vemos, empezaron a proliferar para explicar los nuevos hechos, pues era imposible determinar a ciencia cierta el valor o la evolución de las moléculas de un gas o de un líquido, ya que el choque entre ellas o su comportamiento podía ser infinito. Podríamos conocer la temperatura con la ayuda de un termómetro, pero nunca saber la situación exacta ni las fuerzas de cada una de ellas; era preciso pues acudir a la estadística. Al fin y al cabo, interesaba más conocer el comportamiento de todas ellas como conjunto que el de cada una de ellas. Presión, temperatura y energía mecánica que movilizaban la industria, y que se sustentaban en leyes escritas por el azar, por las probabilidades. La ciencia había originado un nuevo método científico que convulsionaba el determinismo radical de la mecánica clásica. Los positivistas y materialistas inflexibles comenzaban a ser criticados. El mundo de la casualidad tendría que ser tenido en cuenta de aquí en adelante. Porque en verdad, lo casual de esta vida es inconmensurable, e infinitamente mayor que la parte del mundo que conocemos. A veces uno se olvida de que el terreno de las posibilidades, del azar, de la incertidumbre es una vastedad que se extiende hasta el infinito; y que las pocas causas que conocemos y que hemos ido acumulando en los últimos cinco mil años, no son nada comparables con ese océano ilimitado de posibilidades. Al prestar atención a esta realidad y aportar una herramienta matemática para el estudio de los fenómenos más inciertos, la Termodinámica abrió un horizonte nuevo en la ciencia.

¿Por qué buscar verdades escondidas detrás de la Termodinámica triunfante? se preguntaban la mayor parte de los físicos, ¿para qué esforzarse en redemonstrar las leyes, abandonando

el terreno firme de los principios para comprometerse en razonamientos dudosos sobre estos átomos que, para utilizar la irónica expresión de un ilustre sabio, "no existían más que en el polvo de las bibliotecas"? La teoría cinética de la materia (como su hermana gemela, la hipótesis atómica) esperó la victoria durante más de ochenta años.¹²²

La mecánica cuántica también se apoyaría en este modelo teórico para explicar el comportamiento de los sistemas atómicos. El atomismo avivado por Dalton a principios del s. XIX y que tendría su culminación en las teorías y los modelos atómicos de Rutherford y de Bohr, ya en el s. XX, no sólo iba a llamar la atención de los científicos; el viejo Epicuro volvía de la mano de Marx, lanzando sus proclamas sobre la caída libre del átomo, a una nueva clase social llamada proletariado.

Karl Marx (1842- 1910), creador del materialismo dialéctico, y Engels, divulgador y continuador de esta revolucionaria obra, estuvieron muy pendientes de los avances de las ciencias del momento; no sólo de la Termodinámica, sino también de los estudios de la célula, de la nueva Geología de Lyell, de la Teoría de la Evolución de Darwin, o de figuras relevantes como William Herschel, Lavoisier, Joule, etc., y, en general, de todas las Ciencias de la naturaleza.

Pero, hay sobre todo tres grandes descubrimientos, que han dado un impulso gigantesco a nuestros conocimientos acerca de la concatenación de los procesos naturales: el primero es el descubrimiento de la célula, como unidad de cuya multiplicación y diferenciación se desarrolla todo el cuerpo del vegetal y del animal, de tal modo que no sólo se ha podido establecer que el desarrollo y el crecimiento de todos los organismos superiores son fenómenos sujetos a una sola ley general, sino que, además, la capacidad de variación de la célula, nos señala el camino por el que los organismos pueden cambiar de especie, y por tanto, recorrer una trayectoria superior a la individual. El segundo es la transformación de la energía, gracias al cual todas las llamadas fuerzas que actúan en primer lugar en la naturaleza inorgánica, la fuerza mecánica y su complemento, la llamada energía potencial, el calor, las radiaciones (la luz y el calor radiado), la electricidad, el magnetismo, la energía química, se han acreditado como otras tantas formas de manifestarse el movimiento universal, formas que, en determinadas proporciones de cantidad, se truecan las unas en las otras, por donde la cantidad de una fuerza que desaparece es sustituida por una determinada cantidad de otra que aparece, y todo el movimiento de la naturaleza se reduce a este proceso incesante de transformación de unas formas en otras. Finalmente, el tercero es la prueba, desarrollada primeramente por Darwin de

*un modo completo, de que los productos orgánicos de la naturaleza que hoy existen en torno nuestro, incluyendo los hombres, son el resultado de un largo proceso de evolución, que arranca de unos cuantos gérmenes primitivamente unicelulares, los cuales a su vez, proceden del protoplasma o albúmina formada por vía química.*¹²³

La ciencia para el marxismo fue la consecuencia natural de todo el conocimiento acumulado por la humanidad hasta entonces. No hay que olvidar que la filosofía de Marx nació del idealismo hegeliano y del profundo conocimiento que tenía este filósofo de los griegos, en especial de Epicuro, sobre quien desarrolló su tesis doctoral con tan sólo veintitrés años. Sorprende como alguien a esa edad tan temprana pudo intuir hacia donde se dirigiría el sentido general de toda su filosofía posterior. La impronta de Epicuro será manifiesta en todo el pensamiento de Marx, desde el momento en que el materialismo dialéctico queda definido, como así lo hizo también la filosofía del polémico fundador del Jardín, como una filosofía para la acción. La prueba de ello es que su efecto expansivo aún perdura en nuestros días. Y en segundo lugar, por la pervivencia en Marx de la distinción entre azar y necesidad, procedente de aquella obsesión del sabio griego por defender la caída libre del átomo; lo que no tuvo por lo demás otra significación que la defensa de la libertad, en la naturaleza y en la persona.

De otro lado, encontramos a Hegel positivado. La fotografía nos ofrece un símil muy ajustado del tratamiento que el marxismo hizo del idealismo de este filósofo. Fue como la copia hecha de un negativo, o de la imagen invertida y volátil de la cámara oscura: su antítesis. Si en la retina se componen de forma invertida los objetos de la realidad y en la cámara oscura se proyectan de la misma forma los hombres y sus relaciones, las relaciones de poder que vienen dadas por las de producción, del dominio que se establecen entre unos y otros, como reflejo también de lo que son las ideologías.

*Y lo mismo ocurre con la producción espiritual, tal y como se manifiesta en el lenguaje de la política, de las leyes, de la moral, de la religión, de la metafísica, etc; de un pueblo. Los hombres son los productores de sus representaciones, de sus ideas, etc., pero los hombres reales y actuantes, tal y como se hallan condicionados por un determinado desarrollo de sus fuerzas productivas y por el intercambio que a él corresponde, hasta llegar a sus formaciones más amplias. La conciencia no puede ser nunca otra cosa que el ser consciente, y el ser de los hombres es un proceso de vida real. Y si en toda la ideología los hombres y sus relaciones aparecen invertidos como en una cámara oscura, este fenómeno responde a su proceso histórico de vida, como la inversión de los objetos al proyectarse sobre la retina responde a su proceso de vida directamente físico.*¹²⁴

Si la cámara oscura seguía ofreciendo un modelo útil a los filósofos – recordemos a Locke-, la espectroscopía también tendría algo que decir al respecto. La obra de Hegel era la obra de los espectros. Si en Schopenhauer, era la voluntad, en Hegel, es la Idea -con mayúsculas- la que ocupa un lugar central. Su filosofía recogía en sí toda la filosofía, idealista o no, anterior. Se trataba de un pensamiento que integraba todos los pensamientos habidos hasta entonces. Era el resultado lógico de la Historia. Pero a las ideas de Hegel, les sucedió lo mismo que a los espectros de entonces: al ser vistos y analizados por primera vez con el espectroscopio, se hicieron reales, físicos. La ciencia, sus instrumentos ópticos, y las máquinas en general jugaron en contra de esta filosofía. Los productos de la conciencia humana, en este filósofo alemán, nacen del mundo de las ideas, del espíritu; en el materialismo dialéctico, por el contrario, es la vida la que determina la conciencia: las ideas nacen del mundo de los hombres, de sus formas de vida, de sus economías, de cómo se relacionan entre sí, de la práctica de la libertad y de la justicia entre ellos. Las ideologías cumplen su función al servicio de unos y de otros.

No se trata de buscar una categoría en cada período, como hace la concepción idealista de la historia, sino de mantenerse siempre sobre el terreno histórico real, de no explicar la práctica partiendo de la idea, de explicar las formaciones ideológicas sobre la base de la práctica material, por donde se llega, consecuentemente, al resultado de que todas las formas y todos los productos de la conciencia no brotan por obra de la crítica espiritual, mediante la reducción a la "autoconciencia" o la transformación en "fantasmas", "espectros", "visiones", etc., sino que sólo pueden disolverse por el derrocamiento práctico de las relaciones sociales reales, de que emanan estas quimeras idealistas; de que la fuerza propulsora de la historia, incluso la de la religión, la filosofía, y toda otra teoría, no es la crítica, sino la revolución.¹²⁵

Religión, filosofía, toda teoría, y también la imagen, por supuesto. Habría que detenerse a pensar, tras dos siglos de una cultura dominada por la reproducción técnica, qué papel desempeña la imagen en el nuevo sistema social que nos rodea. Ni que decir tiene que la fotografía, en la hora de su confirmación, también trajo aires de revolución. Como parte integrante de la ciencia y de la técnica, contribuyó a formar un universo nuevo que caminaba a marchas forzadas y fuera de control. La tecnología ha instaurado un proceso irreversible, enajenado del conjunto de los hombres, que cíclicamente necesita de su máxima expresión, la guerra, para encontrar un nuevo, pero frágil equilibrio. El avance tecnológico, como señala Walter Benjamin, sobre unas relaciones de producción desiguales, nos conduce irremediabilmente al aprovechamiento antinatural de las fuentes de energía y de los medios técnicos¹²⁶. Pero a un mismo tiempo, es la ciencia lo único que nos queda. La fotografía y el materialismo caminaron de la mano; son coetáneos. Se trata de la primera filosofía que aspira al rango de científica, pretendiendo una sociedad regulada por esta visión de la naturaleza. El socialismo científico es la propuesta histórica de construcción de una sociedad bajo los principios de la ciencia, del conocimiento humano basado en el método

experimental. Que la voz de los científicos y sus constantes gritos de alarma ante el devenir de la humanidad sean tan poco tenidos en cuenta son muestras de lo lejos que estamos aún de conseguir un modelo racional de desarrollo para todos.

La "verdad absoluta", imposible de alcanzar por este camino e inasequible para un solo individuo, ya no interesa, y lo que se persigue son las verdades relativas, asequibles por el camino de las ciencias positivas y de la generalización de sus resultados mediante el pensamiento dialéctico. En general, con Hegel termina toda la filosofía; de un lado, porque en su sistema se resume del modo más grandioso toda la trayectoria filosófica; y, por otra parte, porque este filósofo nos traza, aunque sea inconscientemente, el camino para salir de este laberinto de los sistemas hacia el conocimiento positivo y real del mundo¹²⁷.

Pensar que la verdad es histórica, que cada época tiene su razón, es casi de sentido común. La fotografía vino también a representar una verdad material del mundo; sus sombras fijadas de forma permanente venían a constatar los hechos, a preservar la memoria, incluso a desvelar nuevas realidades ocultas hasta entonces, como un *inconsciente óptico*¹²⁸ que se presentaba por sorpresa ante nuestros ojos. La realidad que hablaba a la cámara era mucho más extensa que la que llegaba a nuestros ojos desnudos. Lo real se expandía ante nosotros y ante la ciencia y el arte. Los sentidos cobraban nuevo vigor. Se sentían impulsados por la evidencia de los hechos que presentaban los productos de la cámara. La materia volvía a ocupar el lugar que le correspondía en el pensamiento. La fotografía, por tanto, tuvo mucho que ver con el fin de la filosofía clásica alemana.

La filosofía alemana moderna encontró su remate en el sistema de Hegel, en el que por vez primera –y es ése su gran mérito– se concibe todo el mundo de la naturaleza, de la historia y del espíritu como un proceso, es decir, en constante movimiento, cambio, transformación y desarrollo, intentando además poner de relieve la íntima conexión que preside este proceso de movimiento y desarrollo.

A esto, hay que añadir una tercera circunstancia. Hegel era idealista; es decir, que para él las ideas de su cabeza no eran imágenes más o menos abstractas de los objetos y fenómenos de la realidad, sino que estas cosas y su desarrollo se le antojaban, por el contrario, proyecciones realizadas de la "Idea" que ya existía, no se sabe cómo, antes de que existiese el mundo¹²⁹.

A este materialismo aportado por la cámara, se añadía otra cualidad más, la acción. Aunque pueda parecer que las primeras placas o papeles emulsionados desempeñaban un papel pasivo ante el mundo, de ser simples receptáculos del universo de luz que incidía

sobre ellos, la fotografía pronto demostró ser pura percepción activa; porque del inmenso abanico de posibilidades que se presentaba ante los ojos de los primeros fotógrafos, había que elegir, que componer, que demostrar la visión personal del mundo externo. No se trataría por tanto de una contemplación sensorial, o de una mirada abstracta, sino de una actividad totalmente práctica.

*El defecto fundamental de todo el materialismo anterior - incluyendo el de Feuerbach- es que sólo concibe el objeto, la realidad, la sensoriedad, bajo la forma de objeto (objekt) o de contemplación, pero no como actividad sensorial humana, como práctica, no de un modo subjetivo. De aquí que el lado activo fuese desarrollado por el idealismo, por oposición al materialismo, pero sólo de un modo abstracto, ya que el idealismo, naturalmente, no conoce la actividad real, sensorial, como tal. Feuerbach quiere objetos sensibles, realmente distintos de los objetos conceptuales; pero tampoco él concibe la actividad humana como una actividad objetiva. Por eso, en **La esencia del cristianismo** sólo considera la actitud teórica como la auténticamente humana, mientras que concibe y plasma la práctica sólo en su forma suciamente judaica de manifestarse. Por tanto, no comprende la importancia de la actuación "revolucionaria", práctico- crítica¹³⁰.*

La vuelta al mundo de lo sensible fue favorecida por la aparición de la cámara fotográfica. Los postulados del empirismo, del método científico basado en la observación, cobraron nuevas fuerzas. Nuevamente, el mundo sensorial ocupaba un lugar de privilegio, en contra del mundo nacido de las ideas, de la abstracción, de los principios intangibles. Los sentidos, como reivindicaba el viejo Epicuro, volvían a ser los heraldos de la verdad.

... no es de ningún modo el producto del concepto que se engendra a sí mismo y que concibe aparte y por encima de la percepción y de la representación, sino que es la elaboración de la percepción y de la representación en conceptos¹³¹.

Pero el materialismo dialéctico nunca olvidó la máxima del pensamiento epicúreo "Sería preferible seguir el mito sobre los dioses que ser esclavo del hado de los físicos. Pues aquél deja la esperanza de la misericordia por haber honrado a los dioses, pero éste presenta la inexorable necesidad". Mejor entonces decantarse por el azar que por ninguno de estos dos tiranos. La acusación de determinismo que ha sufrido el materialismo dialéctico a lo largo de la historia ha sido en parte por ignorancia, por haberse atendido más a sus resultados sociales de corte totalitario, o por intereses velados. Es posible que la atención prestada por esta filosofía al mundo de la ciencia y su empeño en convertirse ella misma en una parte más de ésta, hayan favorecido esta mala interpretación. Obviamente, existen muchos tipos de materialismos, unos más deterministas que otros; como existen ciencias más atentas a la causalidad de los fenómenos que otras. El determinismo en las ciencias físicas puede ser de

máxima utilidad; en las ciencias sociales, no tanto. La naturaleza está por encima de todo determinismo. Se trata de ir descubriendo leyes en el inmenso azar que nos rodea. La fotografía puede ser, por esto, infinita. La captación de un trozo de realidad por medios ópticos no es más que el aislamiento de una gota de agua en un vasto océano. Y ya que puede ser infinita, debe ser entendida también no como un hecho, sino como un proceso, como parte de la acción humana, de la percepción activa sobre el mundo que nos circunda. Un retrato encierra miles de posibilidades, tantas como miradas emite el modelo, y de entre ellas se elige tan sólo una; y no digamos una escena callejera: las posibilidades son infinitas. El "*instante decisivo*" es un golpe de voluntad, una trampa que se impone a la naturaleza. Elegimos una simple nota perdida en la sinfonía de todo un universo. La casualidad está ligada a lo fotográfico. El azar pertenece a la historia de la fotografía, tanto o más que sus elementos tecnológicos exactos. La ventana fotográfica elige un instante, una realidad cambiante, como la ciencia elige unos hechos. La dialéctica de lo fotográfico se debate entre lo que se ha conseguido como presa y todo aquello que se ha escapado. La ansiedad del fotógrafo es la misma que la del científico; ambos están dominados por la obsesión de querer cerrar el círculo, de apresar lo inapresable, cuando el azar tan sólo deja contadas opciones.

*Quitarle su envoltura a cada objeto, triturar su aura, es la signatura de una percepción cuyo sentido para lo igual en el mundo ha crecido tanto que incluso, por medio de la reproducción, le gana terreno a lo irrepitable. Se denota así en el ámbito plástico lo que en el ámbito de la teoría advertimos como un aumento de la importancia de la estadística*¹³³.

Esa es la inestabilidad que ofrece el mundo. Porque es el mundo el objeto de lo fotográfico: no hay otra realidad que se presente ante la lente de la cámara. La imagen producida por la cámara nace del mundo sensible y vuelve hacia él, para ser comprendida y descifrada. Se trata de algo concreto, que como la ideología, nace del estado actual de la tecnología, de las relaciones de producción, del mundo que nos rodea. Las imágenes, como los textos o como las propiedades, son enajenadas también; se apropian de ellas edulcorándolas, con falsos pies de página, o simplemente mediante efectos que conducen a la burda mentira. La manipulación de la imagen es la tergiversación actual de la información en el grado sumo, porque somos sobre todo consumidores de imagen técnica. Por eso, el extremo de enajenación iconográfica en el que nos encontramos a principios de este siglo XXI, nos inquieta porque nos hace sentir la cercanía, nuevamente, del fascismo.

Capítulo 5. La fotografía en acción

5.1. Introducción

La sombra del *gnomon* volvía a aparecer. La estaca mágica que con su proyección abrió los primeros conocimientos a la humanidad, se transformaba; y con la ayuda de los prismas, los espejos, las lentes y las sales de plata, se reencarnaba en una nueva tecnología, la fotografía, que abría un nuevo horizonte a la ciencia moderna. La fotografía es una hija más de la máquina; y es la responsable de la última etapa del modo de representación iniciado en el Renacimiento. El observador de la cámara oscura es parte integral del proceso de representación facilitado por ese artefacto; lo mismo ocurre con la cámara lúcida. La fotografía, en cambio, inaugura el periodo mecánico en esta evolución tecnológica, que con el tiempo caminará hacia grados mayores de automatismo. El aparato fotográfico, como ocurriría con el resto de las máquinas, a medida que avanzaban los años, fue incorporando cada vez más elementos automáticos, desde los puramente mecánicos, a los ópticos y químicos. Este proceso continúa hasta nuestros días. Es ésta una de las razones por las que se debe contemplar el hecho fotográfico como parte y causa de nuevas formas de producción, con todo lo que eso conlleva. La representación que facilita el medio fotográfico es consustancial al tipo de sociedad y al tiempo histórico en los que se ha engendrado. Y a su vez, su presencia supone la transformación de la sociedad hacia esas coordenadas de espacio y tiempo. La técnica fotográfica inicia su andadura en solitario a partir de la fijación de las sombras que las lentes producen cuando son atravesadas por la luz. A partir de ese momento, y en un primer estado, el conocimiento humano, apoyado en este nuevo medio, emprendería básicamente dos nuevos caminos: uno hacia el cosmos, retratando la composición de los espacios intergalácticos y la luz proveniente de los cuerpos celestes; y otro, en sentido contrario, hacia el interior de lo diminuto, de lo más pequeño de la materia, hacia el universo de los átomos. El telescopio y el microscopio descubrían universos semejantes, compuestos de esferas divagando en círculos por el éter o el vacío. La semejanza que iban a mostrar ambos universos, el macrocosmo y el microcosmo, abrieron muchas puertas a la fantasía filosófica y a la búsqueda de una trascendencia que condujo a una revitalización de la metafísica. Aliándose con la espectroscopía - el análisis de la luz a través de los prismas-, la fotografía produjo un revuelo sin precedentes en la ciencia de los dos últimos siglos. Las encendidas discusiones que se produjeron en las primeras décadas del siglo veinte entre científicos, filósofos e, incluso, artistas en torno a los límites del conocimiento que imponía la nueva ciencia tuvieron mucho que ver con estas dos nuevas tecnologías. Los nuevos científicos de corte idealista, la postura crítica de Einstein contra éstos, la nueva etapa de discusiones en torno a las teorías ondulatorias y corpusculares de la luz, el intento de matematizar la filosofía por parte de Bertrand Russell, e incluso la crítica del lenguaje de Wittgenstein, son, hasta cierto punto, consecuencias de las grandes conquistas y limitaciones que la alianza de la espectroscopía con la fotografía estaban ofreciendo al conocimiento científico.

La fijación de la luz y de la sombra por la fotografía representa un hecho único en la historia de la humanidad. Las consecuencias en el arte ya las conocemos; existen un antes y un después manifiestos. Y su impacto en la cultura y en la sociedad, junto al resto de los medios técnicos de reproducción, ha contribuido enormemente a la democratización del saber humano. A partir de su asimilación por la sociedad, como bien señaló Moholy-Nagy, los analfabetos han pasado a ser los que no saben de fotografía¹³⁴. Y en la ciencia tuvo un peso aún mayor si cabe, porque expandió el poder de la observación. Por ello, si hay que elegir un punto o una fecha de nacimiento de lo fotográfico, habría que elegir el momento de la primera fijación de la imagen. Hasta ese momento se habían ido construyendo uno a uno, y desde tiempos inmemorables, los distintos elementos de la fotografía: espejos, diafragmas, vidrios, perspectiva, cámara oscura, lentes, etc.,. La permanencia de la imagen marca un punto de inflexión en la historia, siendo la mayor ayuda que ha prestado esta tecnología tanto a la ciencia, como al arte. Ver para creer. La sombra indeleble, la luz raptada, el cartón o el cristal emulsionado, convertido en un paisaje de luces y sombras para siempre. Si el espectroscopio ayudó a desentrañar la composición de la luz y de los distintos cuerpos de la naturaleza, con el microscopio se empezó a estudiar lo diminuto en todos los campos de la ciencia, incluyendo la propia imagen fijada en el papel o en el cristal; el ojo podía escudriñar a partir de entonces el detalle de esas sombras, medirla con un micrómetro, hacer mapas de estrellas, y sacar conclusiones. Las posibilidades se expandían, de este modo, hacia todo lo que pudiera ser fotografiado, ya fuera directamente a partir de los resultados que brindaban las cámaras fotográficas, o bien con la ayuda del espectroscopio, del microscopio o del telescopio, hacia el mundo de los átomos o el de las estrellas. Pero con el tiempo, las posibilidades se ampliaron, pudiéndose abarcar realidades más allá del espectro visible; se demostró que con la fotografía se podían hacer incursiones en el terreno de lo hasta entonces considerado invisible, pues gracias a ella, se logró contemplar "a simple vista" más allá del rojo y del violeta.

Las proezas del nuevo invento no concluyeron ahí: a la posibilidad de viajar desde lo más diminuto a lo más inmenso del universo, o más allá del mundo de lo visible, se añadió la capacidad de fijar conjuntamente y por primera vez, la imagen y el tiempo. Se abrió así un nuevo modo de estudiar el movimiento, y en un doble sentido, porque cabía la posibilidad de paralizar, ralentizar, o fragmentar en secuencias aquellos fenómenos que avanzaban muy rápidamente y sin tregua, y que a simple vista no nos daba tiempo a distinguir; y por el contrario, también se podían acelerar aquellos fenómenos que, debido a su lentitud, no nos permiten construir una imagen cerrada e inmediata de los mismos. La Fentociencia, o ciencia dedicada al análisis del movimiento y en especial de los fenómenos fugaces y ultrarrápidos, es de máxima actualidad en nuestros días.

Y esta capacidad de fijación de la imagen y del tiempo, o de aproximación a lo remoto, a lo diminuto y a lo invisible, se veía ampliada con otras cualidades no menos importantes, tales como su poder de identificación de realidades de toda índole, ya fueran rostros, letras o paisajes; o su capacidad de constatación de los hechos, lo que le abriría todo el territorio virgen del trabajo documental; o su tremenda aportación a la memoria colectiva, convirtiéndose en una de las herramientas más valiosa del estudio histórico. Este conjunto

de aportaciones es el que ha hecho posible que la mayoría de las ciencias haga uso hoy en día, de una forma u otra, de la fotografía; eso sin olvidar su no menos importante papel como parte integrante de los procesos de reproducción técnica, ya sea en los diferentes modos de impresión gráfica o de fabricación de circuitos integrados, y como instrumento imprescindible en todas las ramas de las ciencias aplicadas y de la tecnología.

No obstante, no todo han sido glorias y aciertos. También se han producido errores y sobreestimaciones en su utilización, que han situado a más de un científico en un callejón sin salida. La fotografía, como cualquier otro instrumento científico, encierra limitaciones; apartándose de su verdadera razón de ser, o de lo que podemos denominar su esencia, se corre el riesgo de malinterpretar la información que nos brinda, o de hacernos emprender caminos errados que no conducen a ningún sitio. M. Antonioni, el director de cine italiano, dijo en una ocasión¹³⁵ que la fotografía puede que esconda algo en su interior, desconocido aún, atrás, en el fondo de las emulsiones todavía intactas, y que no haya podido ser revelado por la técnica más moderna; un contenido latente por surgir, que quién sabe qué secretos guardará tras la imagen manifiesta que conocemos. Esta incertidumbre es una bella aproximación al lado poético de la cuestión, que se abraza al sentido estético que toda ciencia conlleva; como el eco de la primera eclosión del universo, recogido por las antenas de Penzias y Wilson. Pero, de momento, debemos atenernos a lo existente y al periodo histórico que se ha elegido para esta andadura, para así dibujar un cuadro esquemático que nos ayude a catalogar lo que fueron las aplicaciones y funciones más destacadas de la fotografía científica hasta 1927.

1- La fotografía de los espectros	<ul style="list-style-type: none"> • <i>La espectrografía</i>
2- La fotografía de lo recóndito	<ul style="list-style-type: none"> • <i>La fotografía astronómica</i>
3- La fotografía de lo diminuto y de lo invisible	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Microfotografía</i> • <i>La Nueva Fotografía: los rayos X</i> • <i>La Radiactividad</i> • <i>Fotocristalografía</i> • <i>La cámara de niebla</i>
4- El análisis del movimiento	<ul style="list-style-type: none"> • <i>La cronofotografía</i> • <i>El cinematógrafo</i>
5- La fotografía como herramienta topográfica	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fotogrametría</i> • <i>Fotografía aérea</i> • <i>Geología</i>
6- Fotografía documental	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mundo animal y vegetal</i> • <i>Arqueología</i> • <i>Judicial y pericial</i> • <i>Reproducción técnica</i> • <i>etc.</i>

Cuadro nº 1. Principales aplicaciones de la fotografía científica, hasta 1927.

En el presente estudio habrá áreas de aplicación de la fotografía que sólo esbozaremos con algunas pinceladas, como son las relacionadas con los dos últimos apartados del cuadro anterior y con otras áreas relacionadas como son las telecomunicaciones, la historia, la fisiología, la sicología, etc., circunscribiéndonos más a sus aplicaciones en las áreas más próximas a la física.

5.2. La fotografía de los espectros

La cámara lúcida nació a contratiempo, en el principio de un siglo que ya estaba apostando por otros derrotados. El s. XIX es un siglo eminentemente industrial, de maquinaria pesada y grasienta, de ésa que tan bien retrata la fotografía en blanco y negro; la cámara lúcida es, por contraste, pura delicadeza y finura. Fue un instrumento creado por William Wollaston (1766- 1828) en 1808, para dibujantes de trazo fino y pulso recio. Requería dotes artesanales que la gran industria estaba tirando por la borda, muy a pesar de John Ruskin y del movimiento Arts and Crafts. Algo parecido es lo que nos está ocurriendo en la actualidad a los amantes de la fotografía en blanco y negro tradicional con la llegada del mundo digital. Pero, así como ésta perdurará aún muchos años, la cámara lúcida tampoco murió ni mucho menos con la irrupción de la fotografía. Ella es la responsable de la belleza desbordante de muchas ilustraciones incluidas en las revistas del XIX, tan llenas de vida y ensueño. Con esas láminas muchos habrán viajado a países lejanos, conocido



Fig. 53. Cámara lúcida. J. G. Hofmann. 1878.

extraños animales y plantas exóticas, o habrán aprendido mucho de ciencias, observando los dibujos detallistas de los nuevos instrumentos, de los experimentos, de las expediciones o del mismo sol. Para el historiador gráfico, o para el realizador de documentales históricos, estas piezas dibujadas al milímetro son un tesoro; sin ellas no nos quedaría nada visual de muchos mundos que la pintura, por ejemplo, no quiso atender. Es el caso del universo industrial que envolvía la época, pues son contados los artistas que se dedicaron a retratar al óleo aquella realidad. El trabajo de las minas, la emigración, las escenas callejeras en los barrios humildes de las ciudades, etc., -especialmente en los países menos industrializados- no están presentes en los museos de pintura; la riqueza de la memoria gráfica es inversamente proporcional a la pobreza de las personas, las clases o las naciones. Hasta que la fotografía no asumió ese papel social, el vacío fue enorme. Gloria, pues, a la cámara lúcida y a tantas otras herramientas de ayuda al dibujo.

Al ser contraria a todo automatismo, y también por la dificultad inherente al modo en cómo se tenían que realizar los dibujos, la cámara lúcida fue rápidamente suplantada por la cámara fotográfica; sin embargo, justo es decir que su

uso todavía pervive hoy en día, tanto en el campo artístico como en el científico. El fabricante del instrumento (Fig. 53) prometía que con este modelo se ahorraban muchos esfuerzos.

"Los diferentes modelos de cámara lúcida utilizados hasta ahora han presentado muchos inconvenientes, ninguno de ellos permite ver por encima del papel con la precisión suficiente, y de forma simultánea, la imagen del objeto y la punta del lápiz. Con objeto de solucionar este problema, el Dr. J. G. Hoffmann, de la calle Bertrand de París, ha recurrido a un ingenio con el que obtiene brillantes resultados"¹³⁶.

La cámara lúcida fue un instrumento obligado en muchas de las expediciones científicas del siglo, siendo un objeto bien conocido por naturalistas, botánicos y astrónomos, quienes la utilizaban muchas veces aplicada al microscopio, como sería el caso de Ramón y Cajal, o al telescopio. De hecho, fue utilizada en fechas tan tardías como 1915 en el estudio de las propias emulsiones fotográficas. Los resultados que por entonces ofrecía la microfotografía en el estudio de las composiciones granulares de las sales de plata, por medio de ampliaciones gigantescas, uso de planímetros, micrómetros, etc., también se obtenían mediante este delicado aparato, con la ayuda y paciencia de los dibujantes. Y si un prisma fue la pieza fundamental de este artilugio, que crea una imagen virtual de lo que se quiere retratar, en terreno de nadie, en algún lugar entre el ojo y el papel, otro prisma iba a ser determinante en la construcción de un instrumento clave en la historia de la ciencia, que, junto con la fotografía, conseguiría hitos memorables del trabajo científico: el espectroscopio.

Los estudios de Newton sobre la composición de la luz a través de los prismas, dejaron el camino abierto para la creación de la espectroscopía, cuyo antecedente más directo y próximo a estas fechas de fines del XVIII se encuentra en el estudio llevado a cabo en 1777 por Carl W. Scheele -de quien comentamos en el capítulo anterior su aproximación al descubrimiento del efecto fotográfico- sobre los efectos acentuados que la luz producía en las sales de plata a medida que nos acercamos a la franja del espectro más próxima al violeta. No hicieron falta muchos años para poder seguir avanzando en este sentido del espectro y que en 1801 se descubrieran los rayos ultravioleta. Fue J. W. Ritter quien lo consiguió, utilizando una cámara oscura y papeles impregnados con estas mismas sales. Un año antes, el astrónomo William Herschel (1738- 1822) caminó por el espectro en sentido contrario, dedicándose a estudiar el calor que producían luces de diferentes colores. De esta forma comprobó cómo ascendía la temperatura a medida que se aproximaba el termómetro al color rojo y que, para sorpresa de todos, el calor seguía subiendo más allá de este punto, con lo que se había descubierto la franja del infrarrojo. Fue Johann T. Seebeck, hacia 1810, quien, siguiendo las enseñanzas del propio Goethe en su teoría del color, comprobó la formación del espectro solar con todos sus colores en una superficie de papel bañada en cloruro de plata. La forma en que fueron observados todos estos tipos de fenómenos en el espectro nos da una clara idea de lo cerca que se estaba en esas fechas de completarse el procedimiento fotográfico tal como lo conocemos ahora.

Con estos descubrimientos, los partidarios de la concepción ondulatoria de la luz - Grimaldi, Euler, Huygens, etc.,...- tuvieron la oportunidad de resurgir con nuevas fuerzas. Thomas Young (1773- 1823) llevaba a cabo a principios del s. XIX un experimento consistente en hacer pasar un rayo de luz a través de una pantalla con dos orificios pequeños; del otro lado salían dos haces de luz, uno junto al otro, observándose que, curiosamente no producían dos puntos de luz independientes sobre la pared o pantalla contraria, sino franjas de luces y sombras superpuestas. Se producía, por tanto, un fenómeno de interferencia como el que se produce en un estanque cuando las ondas del agua se cruzan unas entre sí. El propio Young, esta vez con la ayuda de las sales de plata, comprobó la formación de anillos de interferencia haciendo uso de un microscopio solar, incluso en la franja del ultravioleta. El denostado Huygens volvía a renacer, y los seguidores de la teoría ondulatoria veían reafirmarse sus teorías por tratarse éste de un fenómeno difícilmente explicable desde el punto de vista de la teoría corpuscular. Este impulso a favor de la teoría de las ondas vino a ser reforzado por otro científico de renombre, Agustín Fresnel (1788- 1827), quien defendió este modelo de propagación de la luz, apoyándolo en un formulismo matemático riguroso. Ya no sólo se podría explicar el fenómeno de la interferencia, sino también el de la difracción, otro fenómeno largamente observado y poco comprendido hasta entonces. A priori, las superficies afiladas o cortantes deberían producir sombras perfiladas y bien delineadas; sin embargo, contra lo que cabría esperar, producían también zonas de interferencias en sus límites. Este efecto de difracción de la luz venía también a apoyar las tesis ondulatorias.

El mismo creador de la cámara lúcida, Wollaston, fue uno de los primeros en comprobar otro fenómeno óptico de suma importancia, el de las franjas de sombras que producen los prismas que son atravesados por la luz solar, que son las que dan origen a la ciencia de la espectroscopía. Aparte de los tonos del arco iris que se forman cuando la luz atraviesa un prisma, este científico descubrió siete líneas oscuras repartidas a lo largo del espectro, algo que él interpretó erróneamente al pensar que se trataba de simples interrupciones en la gama de los colores. Una vez que el fenómeno fue explicado adecuadamente, hacia 1820, el desarrollo de la espectroscopía fue rápido y su impacto posterior, enorme. De algo tan simple como observar las franjas que se producían en la luz, en los gases, en la atmósfera, en los astros, o en los metales incandescentes, iba a depender el avance de ramas tan importantes como la astronomía, la física y química generales, la física atómica, la cristalografía, o la electrónica.

La consolidación del análisis espectral vino de la mano de un óptico alemán, Joseph von Fraunhofer (1787- 1826), quien ya en 1814 hizo pasar la luz a través de una ranura antes de que se refractara en un prisma, observando que la figura de la ranura se reproducía en todas las tonalidades del espectro. Al parecer, este científico estaba calibrando un telescopio en los talleres de una fábrica del ejército cuando, por azar, descubrió estas líneas oscuras que llevarían en adelante su nombre. Corrigiendo la interpretación de Wollaston, entendió que las franjas eran parte del espectro y comprobó que eran distintas si se observaban en el sol o en las estrellas, lo que le hizo pensar que esa diferencia se debería a un efecto producido en la luz por la atmósfera terrestre. De esta forma, constató que tanto el sol como las

distintas llamas estudiadas a través de los prismas presentaban una distribución determinada de estas líneas oscuras. Fraunhofer llegó a catalogar hasta 574 líneas diferentes en el espectro solar, destacando ocho de ellas, dada su apariencia más marcada y prominente. Estas fueron identificadas con letras de la "A" a la "G", con la particularidad de que la "D", se dividía en dos líneas muy próximas. Estas ocho líneas espectrales son conocidas hoy día como las *líneas de Fraunhofer* y el tipo de espectro que este autor estudió sería denominado posteriormente *espectro de absorción*, por estar asociado a la formación de líneas oscuras o de sombras.

La espectroscopía pronto se aproximó a la fotografía. John Herschel, que ya conocemos por su descubrimiento del hiposulfito de sosa como elemento fijador de las emulsiones, y el propio Fox Talbot comenzaron a estudiar a partir de 1826 el espectro de líneas claras de color que emitían diferentes sustancias al ser calentadas. De esta forma pudieron asociar un determinado espectro a cada uno de los elementos estudiados, con lo que se acercaron a una nueva forma de análisis de sustancias, más sencilla y rápida que la realizada por procedimientos químicos. Estas líneas de color constituirían el *espectro de emisión*. A partir de estos descubrimientos, el análisis espectral se iba aplicar sin demora a la astronomía y, más concretamente, al estudio de la luz irradiada por los astros y las estrellas, a la composición de los diferentes gases y elementos que los envuelven y a las radiaciones invisibles al ojo humano, más allá del rojo y del violeta. Pronto, la fotografía prestaría una valiosísima ayuda al análisis espectroscópico, puesto que la fijación de los espectros en placas o papeles permitía el estudio detallado y comparado del mismo. Ya vimos como John Herschel y Edmund Becquerel obtuvieron las primeras fotografías del espectro solar sobre daguerrotipos en 1840 y 1842, respectivamente. Al año siguiente, J. W. Draper, utilizó numerosas fotografías para la construcción de los primeros mapas espectrales del sol, que, hasta el momento, debían hacerse mediante el dibujo a mano, logrando asimismo detectar la acción de los rayos infrarrojos emitidos por el astro. Tanto el daguerrotipo como las placas al colodión dejaron clara constancia de que las sales de plata eran más sensibles a la franja del azul y del violeta y prácticamente "ciegos" al extremo próximo al rojo. Años más tarde, Draper recordaba:

"En los mejores mapas dibujados a mano, tales como los que aparecen en el famoso "Spectre Normal du Soleil" de Angström, la intensidad relativa y las sombras de las líneas pueden ser representadas pero solo de forma parcial por el artista, siendo necesaria una serie de observaciones y cálculos muy laboriosos y pesados por parte del físico a fin de asegurar de forma aproximada las posiciones correctas de las múltiples líneas de Fraunhofer. Entre longitudes de onda de 3925 y 4205, Angström muestra 118 líneas, mientras que mis negativos originales tienen al menos 293. Por tales razones muchos intentos se han hecho para procurar buenas fotografías del espectro de difracción".¹³⁸

Las ventajas eran manifiestas, por lo que la espectrografía iría pronto perfeccionándose, a medida que también lo harían los procedimientos fotográficos, y acabaría siendo aplicada a casi todas las ramas de la ciencia y de la técnica. En 1859, Kirchhoff y Bunsen consiguieron relacionar los dos tipos de espectros, el de absorción y el de emisión, al comprobar que los gases, al ser calentados, absorben la misma longitud de onda que emiten. Partiendo de este principio, en un futuro se podrían identificar los gases de la atmósfera, ya fuera terrestre o perteneciente a cualquier otro astro o estrella, a partir del análisis de la luz. Del mismo modo, se podrían determinar los elementos constituyentes de una substancia con tan sólo calentarla y analizar el espectro de sus emanaciones.

"El siguiente experimento demuestra que la química no dispone de medios de distinción comparables en sensibilidad al del análisis espectroscópico del sodio. En una esquina de nuestra habitación de 60 m², lejos del aparato, hemos hecho estallar 3mg de clorato de sodio con lactosa y observamos la llama de luz blanca a través de la ranura. Tras unos minutos, la llama gradualmente cambia a amarillo, mostrando muy marcada la línea del sodio, que no desaparece hasta diez minutos después. Por el peso de la sal de sodio y el volumen de aire en la habitación, es fácil calcular que cada parte de aire no puede contener más de una veintemillonésima parte de sodio. La reacción puede ser constatada adecuadamente durante un periodo de un segundo, y en este tiempo tan sólo unos 50 cc o 0.0647 gramos de aire, conteniendo menos de una veintemillonésima parte de gramo por gramo, pasan a través de la llama, lo que significa que el ojo puede percibir de forma bastante clara menos de una tresmillonésima parte de un mg de sodio".¹³⁹

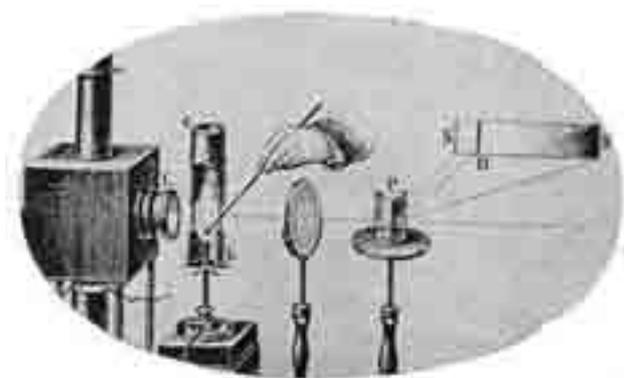


Fig. 54. Método de espectroscopía. h. 1870. La fuente incandescente de luz proporciona un espectro continuo a través de la lente condensadora y del prisma, a partir de sodio colocado en una llama, lo que produce una línea de absorción relativa al sodio.

Las líneas espectrales de cada uno de los elementos de la naturaleza presentaban la ventaja de mantenerse inalterables y de poder ser detectadas a simple vista. En poco tiempo, la infinidad de líneas y franjas comenzaría a ser catalogada con las letras de la A a la H, cubriendo el espectro desde el rojo al violeta. (Fig. 54 y 55). Así, la C estaría situada en el anaranjado, la D en el amarillo, la F en el azul-verde, y así sucesivamente. El espectroscopio permitía identificar en una luz dada las diferentes longitudes de onda o colores que están presentes en ella, con lo que se

podía analizar la composición de un astro partiendo de su luz, a pesar de la gran distancia que nos separa de él. Igualmente, si se trataba de un cuerpo, bastaba con colocarlo en la

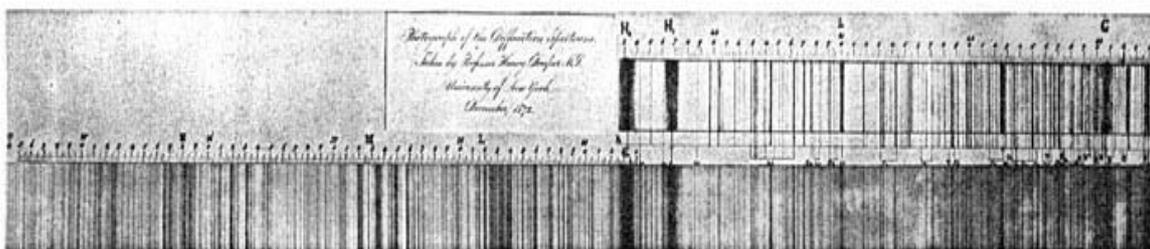


Fig. 55. Fotografía del espectro de difracción. (Rayos ultravioletas). H. Draper. 1872.

llama de un mechero Bunsen y el espectroscopio determinaría las luces correspondientes a los elementos que lo componían. El litio, por ejemplo, emitía dos líneas muy marcadas, una amarilla débil, y otra roja fuerte, identificación que superaba cualquier otra por medios químicos. Y lo mismo ocurría con el resto de elementos: potasio, estroncio, calcio, bario, etc. Este fue el procedimiento con el que estos dos autores pudieron identificar por primera vez el rubidio y el cesio, elementos que se incluyeron en la Tabla Periódica de Elementos con esa denominación, precisamente por la presencia acentuada en ellos de esos dos mismos colores.



Fig. 56. Ampliador de negativos para estudios espectroscópicos. 1870.

La aplicación de la fotografía al análisis espectral marcó todo un hito en la ciencia. El estudio detallado de las líneas y bandas espectrales en las placas fotográficas se vio perfeccionado con la incorporación de lo que fueron los primeros proyectores. El aparato que muestra la figura (Fig. 56), alimentado con alcohol y provisto de una especie de chimenea para la expulsión de los gases, servía para ampliar los negativos fotográficos resultantes del análisis espectral, mediante su proyección en una pantalla, por lo que es un claro antecedente de los actuales proyectores de diapositivas o de cuerpos opacos, o de las técnicas de proyección por ordenador¹⁴⁰.

Este tipo de proyector fue ampliamente utilizado por los científicos de la época, no sólo en tareas de investigación y análisis espectroscópicos y microscópicos, sino también con fines didácticos y expositivos a la hora de presentar los resultados ante colegas o alumnos.

Los distintos modelos de espectroscopio proliferaron rápidamente, pero la mayoría mantuvo un esquema de funcionamiento común (Fig. 57). Normalmente, su pieza principal era un prisma o un conjunto de ellos, sustentada sobre un pedestal sólido de hierro, y dos o tres anteojos o telescopios, distribuidos de acuerdo a una angulación determinada (Fig. 58 y 59). El primero de ellos, denominado

La aplicación de la fotografía al análisis espectral marcó todo un hito en la ciencia. El estudio detallado de las líneas y bandas espectrales en las placas fotográficas se vio perfeccionado con la incorporación de lo que fueron los primeros proyectores. El aparato que muestra la figura (Fig. 56), alimentado con alcohol y provisto de una especie de chimenea para la expulsión de los gases, servía para ampliar los negativos fotográficos resultantes del análisis espectral, mediante su proyección en una pantalla, por lo que es un claro antecedente de los actuales proyectores de diapositivas o de cuerpos opacos, o de las técnicas de proyección por ordenador¹⁴⁰.



Fig. 57. Espectroscopio de cuatro prismas Steiheil. Y fotografía del espectro solar en la franja de las líneas gruesas del calcio. 1881. J. Norman Lockyer.



Fig. 58. Dispositivo espectroscópico par el estudio de los rayos del Sol. 1875.

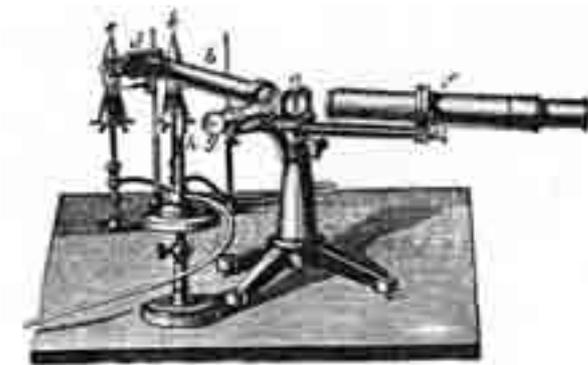


Fig. 59. Espectroscopio para el análisis del espectro de una llama. 1899.

espejo plano dividido por múltiples líneas paralelas -hasta 20.000 líneas por centímetro- que producen un efecto de interferencia. Cuando las luces que se iban a estudiar eran débiles, como es el caso de las procedentes de las estrellas, se solía utilizar el espectroscopio de prisma, porque producía espectros más luminosos, aunque tenía el inconveniente de presentar una menor dispersión en las ondas largas del espectro que en las cortas. En cambio, el espectroscopio de rejillas de difracción producía una gama de espectros no tan luminosa, pero sí más uniforme, separando las distintas longitudes de onda de una forma más clara y pareja.

La aplicación de la fotografía al análisis espectral se perfeccionó de manera considerable a partir de la creación de los primeros espectrógrafos (Fig. 61 y 62). En este caso, el anteojos que recogía la luz o colimador se transformaba en una lente de enfoque, y el telescopio, dedicado a la observación del espectro, se convertía en una cámara fotográfica de gran precisión. De esta forma se hizo más fácil y cómodo el análisis de los diferentes tipos de radiaciones. Por ejemplo, en las fotografías, el espectro continuo, el que

colimador, consiste en una lente que se sitúa próxima al prisma, con una ranura regulable mediante un tornillo, emplazada en el otro extremo. A través de este primer anteojos entra la luz que se quiere analizar. Al llegar al prisma, la luz se desvía y entra en los otros dos anteojos. En uno de ellos, que es por el que miramos, denominado *anteojos*, se forman tantas imágenes como longitudes de onda haya presentes en la luz original que se está estudiando. Esto nos da el espectro de dicha luz. El otro tubo o portaescala lleva una escala graduada que nos permite situar las diferentes líneas del espectro en una escala y así poder otorgarles una posición o unos valores determinados arbitrariamente.

Era frecuente también encontrar espectroscopios que, en vez de un prisma, utilizaban una rejilla de difracción, técnica que es la que predomina en la actualidad (Fig. 60). Esta consiste en un



Fig. 60. Espectroscopio de difracción de Angström. 1899.

emiten los cuerpos incandescentes como los filamentos de las lámparas o determinados gases aparece como una tira de color uniforme y sin interrupciones entre un color y otro. En cambio, el espectro de línea, producido por los gases que son calentados o en los que se efectúa una descarga eléctrica, presenta líneas que acompañan sólo a determinadas longitudes de onda o colores, dependiendo de las sustancias que estén presentes en dicho gas. Cada línea es, en realidad, una imagen de la ranura por la que se recoge la luz en el espectroscopio. Por último, dentro de estos espectros de emisión, encontramos los de banda, que son los que emiten las agrupaciones de moléculas presentes en un gas luminoso, que en realidad son grupos de líneas muy concentradas y difíciles de dispersar.

Dentro del espectro electromagnético, que comprende desde las ondas de radio más largas hasta llegar a las radiaciones gamma de los elementos radiactivos o hasta los mismos rayos cósmicos, la fotografía espectral, lógicamente, sólo podía abarcar una porción determinada, que va desde el espectro infrarrojo -cercano a la luz visible por el ojo humano- hasta la franja lejana del ultravioleta. En el caso de los rayos X, la fotografía, con la ayuda de cristales de difracción, consigue impresiones de la distribución regular de los átomos de esos mismos cristales, pero en realidad no se trata de espectros, ya que este tipo de radiación, de longitud de onda muy corta, es difícilmente dispersada. La mayoría de los espectrógrafos disponían de una escala de longitudes de ondas que aparecen en las placas junto al espectro fotografiado, lo que permite su posicionamiento y estudio comparativo.

El análisis espectroscópico apoyado en la fotografía fue expandiéndose a todas las ramas de la ciencia, tanto experimentales como aplicadas. Entre estas últimas debemos destacar la propia fotografía. Los estudios de Hermann W. Vogel, llevados a cabo a partir de 1873 con la ayuda de un espectrógrafo, dieron paso al descubrimiento de los “sensibilizadores ópticos” y de otras sustancias químicas que permitieron la fabricación de emulsiones sensibles a todo el espectro visible (pancromáticas) y, posteriormente, el desarrollo de la fotografía en color. El espectro lineal se convertiría asimismo en una herramienta decisiva para la astronomía moderna, al poderse comprobar, gracias a su ayuda, la composición, la temperatura, o la masa de las estrellas, así como otros fenómenos muy característicos de los cuerpos celestes, tales como las manchas y protuberancias solares, las nebulosas, etc. (Fig. 63 y 64). Por otro lado, fue decisiva la aplicación de la espectroscopía al estudio de las radiaciones y de la composición de la materia y de las cargas eléctricas mediante la



Fig. 61. Espectrógrafo. 1907. Adam Hilger Ltd.



Fig. 62. Espectrógrafo de cuarzo. 1909. Adam Hilger Ltd.



Fig. 63. Espectrosocpio acoplado a un telescopio refractor para el análisis del sol. 1866.



Fig. 64. Espectro de una nebulosa y de algunas estrellas. 1895.

tecnología de los tubos de vacío. Cuando se analizan los espectros que se producen en el interior de uno de estos tubos, cargados con algún tipo de gas luminoso, se puede descifrar de una manera muy precisa la composición del material que se encuentra presente en los electrodos de estas ampollas. Por consiguiente, la espectrografía de una descarga eléctrica efectuada con electrodos compuestos o bañados por el elemento que se quiere estudiar ofrece una información detallada al respecto que supera los procedimientos químicos. Este análisis cualitativo de los elementos se pudo completar con estudios cuantitativos, gracias a la ayuda de microdensitómetros, que son instrumentos que ofrecen información sobre el resultado de la acción de la luz en los elementos fotosensibles de las placas reveladas. El análisis espectrográfico de materiales tales como metales y aleaciones ha sido determinante en el campo de la tecnología pesada, en la construcción de máquinas, en la instrumentación científica, la aeronáutica y otros tipos de ingenierías.

En otro orden de estudios, no debemos olvidar que la espectroscopía ha sido una herramienta decisiva en manos de los físicos teóricos y experimentales de los dos últimos siglos. Tanto la teoría cuántica de Max Planck con sus implicaciones en el futuro de las concepciones de Einstein y de toda la física posterior a 1900, como el estudio global de la estructura y del comportamiento del átomo, tal como fue desarrollado en un primer momento por Rutherford y posteriormente ampliado y actualizado por la que sería la revolucionaria formulación de la mecánica cuántica y de la mecánica ondulatoria, están basados, en gran medida, en los resultados experimentales observados mediante el análisis espectroscópico de las radiaciones y de los distintos cuerpos.

*Planck dedujo una fórmula para la distribución de la energía espectral de la radiación de un cuerpo negro a partir de la hipótesis de que la radiación era emitida y absorbida por osciladores eléctricos en cuantos definidos, cada uno de ellos igual a la frecuencia del oscilador multiplicado por una constante universal h , el *wirkungsquantum*. Más tarde, amplió su teoría a lo relacionado con la absorción. Einstein y otros fueron más allá,*

asumiendo que estos cuantos mantienen su identidad en su propagación a través del espacio, revitalizando la teoría corpuscular.

....

La teoría del núcleo atómico es de una importancia fundamental en espectroscopía. El trabajo de Rutherford y de otros no deja lugar a dudas respecto a la conclusión de que el núcleo del átomo es un grupo concentrado de cargas positivas y electrones, con un exceso de cargas elementales positivas aproximadamente igual a la mitad del peso atómico, mientras que el mismo número de electrones circulan en órbitas alrededor del núcleo. Los espectroscopistas deben intentar acoplar sus teorías a estos hechos probables, aunque desde un principio se encontrarán con dificultades insuperables en relación a la estabilidad de tales átomos y por la generalizada complejidad de los espectros de acuerdo a las leyes de la electrodinámica. Bohr deshizo este nudo gordiano suponiendo que las leyes clásicas se aplican sólo en condiciones de estabilidad, cuando no se irradia energía, y que dicha radiación se ajusta a la transición de un electrón desde un estado de estabilidad a otro, estando su frecuencia determinada por la relación que establece que h multiplicada por la frecuencia es igual a la diferencia entre las energías del sistema en dos estados estables¹⁴¹.

Además, a lo anterior habría que añadir el papel decisivo que el espectroscopio desempeñó en numerosas investigaciones, que con los años, tendrían grandes repercusiones en la historia de la ciencia. Dentro de la astronomía hay que destacar el papel crucial que ocupó en la determinación de la relación existente entre la velocidad de las estrellas y sus edades aparentes, a partir del color desprendido por éstas, o en el intento de los científicos por trazar el curso de la evolución de los cuerpos celestes. La creación del espectroheliógrafo por Hale, en 1892, también dio un buen impulso al estudio del sol, gracias a las fotografías de partes concretas y fenómenos particulares del astro que este instrumento fue capaz de proporcionar. El estudio espectral de las manchas solares y de los vapores en forma de torbellino que éstas desprenden llevó a conclusiones decisivas acerca de las características de los campos magnéticos, tanto del sol como de la tierra. Sorprende cómo los científicos pudieron extraer tanta información del estudio de la distribución de los colores y de las sombras provistas por este instrumento; así, se pudieron identificar las sustancias que componen los cuerpos celestes, ya fuera hidrógeno, sodio, calcio, o cualquier otro elemento, como también su temperatura, la densidad de los vapores, la presión o las condiciones eléctricas existentes. La determinación de todos estos parámetros en los cuerpos celestes, conseguida por primera vez con la ayuda del espectroscopio, dio nacimiento a una nueva disciplina dentro de la astronomía, la Astrofísica.

Por lo demás, el espectroscopio y la fotografía estarían presentes en la mayoría de los nuevos campos abiertos en el seno de la física por los descubrimientos de los rayos X, de la

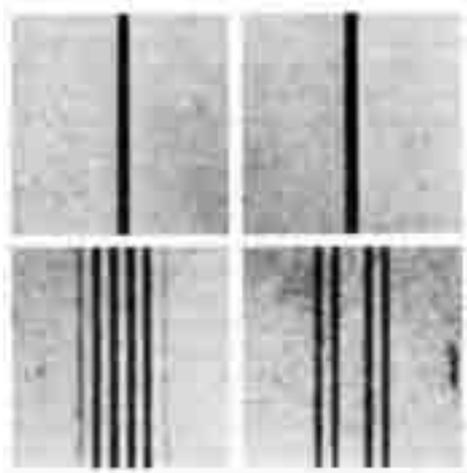


Fig. 65. El efecto Zeeman: la acción de un campo magnético divide las líneas espectrales del sodio en varias líneas.

radiactividad, de la nueva cristalografía, así como en la constatación de nuevos fenómenos como el efecto Zeeman (Fig. 65), el efecto Stark, o el Doppler-Fizeau, que tantas repercusiones tendrían en las nuevas teorías físicas. Sirva de ejemplo éste último para ilustrar hasta qué punto se pueden inferir hechos a partir de tan poco y para comprender la importancia de este instrumento. El efecto Doppler-Fizeau consiste básicamente, en que la energía radiante de un cuerpo y la frecuencia de sus radiaciones cambian según la velocidad relativa del cuerpo emisor respecto a un observador. Este hecho, que se detecta con el espectroscopio, ofrece una información muy válida sobre la dirección del movimiento y las velocidades de las estrellas, ya que

la frecuencia de las ondas de luz que vienen de los cuerpos celestes, se ve modificada dependiendo de la velocidad de éstos y de si están acercándose o alejándose de la tierra. Hasta qué punto una simple observación puede forzar el curso de la historia quedó demostrado con este fenómeno pues, al no poder ser explicado por los principios y fundamentos de la mecánica clásica, contribuyó decisivamente a la construcción de la nueva concepción del universo, que cobraría forma en la Teoría de la Relatividad. También el espectrógrafo de masas, construido por Aston en 1919, y que estudiaremos en detalle en un capítulo posterior, fue de vital importancia en la comprensión del universo atómico. La distribución de los puntos de sombra en las placas fotográficas, producidos por iones forzados a pasar a través de campos electrostáticos y magnéticos, posibilitaría el estudio y determinación de las masas y de la relación masa/carga de los diferentes elementos. La constatación de que un mismo elemento presentaba iones de diferentes masas le llevó a la conclusión de la existencia de los isótopos (igual carga y distinto peso atómico).

La espectrografía en la actualidad ha trascendido el estudio exclusivo del espectro visible, forzando la renovación del concepto de aquello que se considera un instrumento de observación. El concepto de “sonda” o dispositivo capaz de captar cualquier tipo de señal energética haciéndola visible y medible se ha impuesto en el mundo científico. La espectrografía ha sido también una de las primeras tecnologías en utilizar los chips CCD, a partir de 1985. La fotografía a partir de estas fechas sufrió una transformación, coincidente con la digitalización que sufriría la mayoría de las tecnologías, incluida la telecomunicación. Desde los viejos tiempos, en que las espectrografías eran como obras minimalistas de líneas y franjas monocromáticas colocadas una tras otra, portadoras de verdaderos misterios, hemos viajado a una nueva dimensión de lo fotográfico, que es como decir a una nueva dimensión del mundo de la representación. Las espectrografías parecen ahora cuadros abstractos de una belleza dinámica; la información subyace tras emulsiones cuantificables, pues cada grano de plata equivale a un píxel. La información de la imagen comienza a formarse por sí sola; los procesos imparables de automatismo serán los únicos que podrán procesar tan vasta información. El espacio de la representación está cambiando y, con él, el mundo.

5.3. Fotografiar lo recóndito. La fotografía astronómica

La fotografía rompió con una tradición milenaria de la ciencia astronómica. La observación de los fenómenos estelares con ojos desnudos cubrió un vasto periodo que se remonta a la noche de los tiempos y, a efectos de la historia, a los primeros indicios que disponemos de textos sobre astronomía de las culturas mesopotámicas, mayas, aztecas, chinas o indias, y a los vestigios de los primeros observatorios. Desde estos siglos hasta la invención del telescopio en el Renacimiento, las anotaciones y los dibujos, a partir de la observación ocular, fueron las herramientas básicas para el estudio y la comprensión del funcionamiento de los cuerpos celestes. Los astrónomos actuales siguen acudiendo a esta información recopilada desde la antigüedad en busca de pistas que les ayuden en sus estudios comparativos o en el análisis de la evolución de los fenómenos estelares. Qué duda cabe que los sextantes y los astrolabios, así como otros instrumentos de observación y medida, también contribuyeron al avance de esta ciencia, pero sería el telescopio el que daría una nueva dimensión a la astronomía, al potenciar la capacidad de la observación humana. Los adelantos de la Óptica moderna, iniciada a partir del s. XVII, que se tradujeron en la fabricación de lentes y telescopios cada vez con mayor poder de resolución, luminosidad, nitidez y ausencia de aberraciones, han sido los principales causantes del desarrollo de la astronomía en estos últimos siglos.

En el s. XIX serán la espectroscopía y la fotografía las dos nuevas tecnologías que situarán a la astronomía en un nivel hasta entonces desconocido. Tanto el telescopio como el espectroscopio verían sus capacidades de observación y análisis enormemente potenciadas por la llegada de la fotografía. El tipo de observación posible gracias a estos dos instrumentos cambió de forma cualitativa y cuantitativa con la llegada de este nuevo medio de reproducción técnica. Lo mismo ocurrió con el microscopio. El logro de la fijación de lo observado en una superficie fotosensible de forma permanente abrió un mundo lleno de posibilidades a estos instrumentos de observación y a todas las ciencias dependientes de sus hallazgos.

La aplicación de la fotografía a la ciencia astronómica se dio prácticamente desde sus inicios. Ya el propio Daguerre intentó hacer las primeras tomas de la luna con su recién inventada técnica, pero sólo consiguió, tras largas exposiciones, unos daguerrotipos más bien difusos e irreconocibles. Las primeras fotografías como tal de nuestro satélite, como ya comentamos en el capítulo anterior, fueron realizadas en 1840, en Estados Unidos, por J. W. Draper (1811- 1882), con un telescopio reflector de cinco pulgadas de apertura.

Marzo 23, 1840. El Dr Draper anunció que había conseguido fotografiar la superficie de la Luna mediante el daguerrotipo.... El tiempo de exposición fue de 20 minutos, y el tamaño de la imagen de una pulgada de diametro aproximadamente.¹⁴²

Ni que decir tiene que el tamaño y la calidad de esta primera impresión fotográfica de la luna no fueron de gran ayuda para los astrónomos, pero sí que supuso el inicio de un camino

nuevo lleno de posibilidades para ambas disciplinas. Además de los inconvenientes propios que presentaba la fotografía de la época, como eran los de no poder conseguir mayores ampliaciones, o los de la escasa calidad y nitidez de las copias, ya en estas fechas tan tempranas, surgió un problema adicional y exclusivo de su aplicación a los estudios astronómicos, originado por el movimiento de los cuerpos celestes. La solución de este problema mediante dispositivos de relojería combinados con heliostatos supuso para la fotografía un avance en su camino a un mayor automatismo. Los tiempos tan prolongados de las exposiciones, necesarios para lograr una impresión suficiente de las estrellas más débiles, con los materiales escasamente sensibles de la época, y el movimiento continuo de los astros, fue un verdadero acicate para la modernización de la técnica fotográfica.

"No hay dificultad en conseguir fotografías de la Luna mediante el daguerrotipo siempre que lo permita su movimiento. Con la ayuda de una lente y de un heliostato, hice converger los rayos de la Luna en una placa, siendo el diámetro de la lente de tres pulgadas. En media hora se obtuvo una impresión muy marcada. Con las lentes colocadas de otra manera obtuve una impresión de cerca de una pulgada de diámetro de la imagen general de la Luna, en la que las posiciones de los puntos oscuros podían ser trazadas con nitidez".¹⁴³

Todos estos primeros ensayos realizados con el daguerrotipo sirvieron más para ir perfeccionando y poner a punto la técnica fotográfica que para llevar a cabo verdaderas tareas de observación astronómica; los resultados de la observación directa o mediante el telescopio no fueron superados por estos primeros pasos de la fotografía. Con estas mismas limitaciones, en 1845, Foucault y Fizeau obtuvieron en Francia los primeros daguerrotipos del sol¹⁴⁴. En esta ocasión, fueron necesarios tiempos de exposición de tan solo 1/60 segundos, con los que se pudieron obtener copias de un tamaño de casi 5 pulgadas, que incluían detalles de las manchas solares y del limbo solar.

Unos años más tarde, en la Feria Internacional de 1851, celebrada en Londres, se mostraron las primeras impresiones de la luna, ya con una calidad más que aceptable. W. C. Bond, de Boston, y Niépce de Saint Victor, de París, fueron sus principales artífices. A partir de este momento, la fotografía astronómica conquistó el interés de muchos científicos y empezó a utilizarse no sólo para la captación de nuestro satélite, sino también de otros cuerpos tan lejanos como la técnica del daguerrotipo permitía fotografiar lo que, traducido al lenguaje de los astrónomos, incluía hasta las estrellas de primera y segunda magnitud, tales como Vega y Castor.

La llegada de la técnica del colodión, en este mismo año de 1851, supuso un nuevo avance en el estudio de los cuerpos celestes. Aunque este procedimiento de copiado presentaba el inconveniente de que las placas debían ser manipuladas mientras se mantenían húmedas, lo que no permitía tiempos de exposición mayores de quince minutos, sí mejoró en cuanto a la sensibilidad de la emulsión y a la nitidez de las imágenes, debido a la

estructura fina del grano de las sales. Al año siguiente de la aparición de esta técnica, en Harvard, se consiguieron las primeras fotografías de las estrellas Mizar y Alcor, lo que supuso avanzar hasta la sexta magnitud. Por lo demás, el astrónomo Warren De La Rue mejoró considerablemente las impresiones de la luna mediante esta técnica.

"Hacia finales de 1852 conseguí con éxito hacer unas fotografías de la Luna en tiempos de dos a treinta segundos con una película al colodión, con la ayuda de un telescopio reflector, montado ecuatorialmente, y de 13 pulgadas de apertura y 10 pies de distancia focal, construida la parte óptica con mis propias manos en mi taller, por lo que creo que fui el primero en utilizar el recién inventado método del colodión en fotografía astronómica. Ningún dispositivo automático para el seguimiento del movimiento fue acoplado al telescopio, y los movimientos de ascensión y declinación de la luna fueron seguidos acoplado una ventana deslizable a la estructura del visor, en paralelo y en diagonal a la aparente trayectoria de la luna".¹⁴⁵

Años más tarde, en 1858, este mismo astrónomo hizo mediciones comparativas de la luminosidad de la Luna, Júpiter y Saturno. Probablemente el uso del colodión en la fotografía astronómica se llevó a cabo de forma simultánea en varios países; era, sin embargo, de esperar ese prurito exacerbado de los científicos por verse a sí mismos como los precursores de una técnica innovadora, sobre todo cuando existían unas condiciones de trabajo que les obligaban a emprender tareas verdaderamente épicas.



Fig. 66. Procedimiento del colodión húmedo, c. 1865.
Gaston Tissandier

Cualquier amante de la fotografía podría fácilmente imaginar lo que supuso para estos investigadores el seguir el rastro de la luna o de cualquier estrella de forma manual, ajustando una ranura a medida que el objeto se iba moviendo, con la angustia de tener una placa húmeda, con contados segundos disponibles para su impresión, en el interior de una cámara de madera, normalmente muy voluminosa (Fig. 66). Hasta 1857 no se comenzaron a aplicar los dispositivos de relojería que permitieron a las cámaras el acompañamiento del movimiento de los astros, lo que se tradujo en poco tiempo en nuevas fotografías llenas de detalle y mayor nitidez.

También en estos años se llevaron a cabo las primeras tomas con telescopios refractores, diseñados en primer lugar por Lewis Rutherford en Nueva York (Fig. 67). Este nuevo tipo de telescopio permitía fotografiar en una determinada longitud de onda, lo que evitaba las aberraciones cromáticas de las lentes. Curiosamente, también por estas fechas, la



Fig. 67. La Luna. 1865. Lewis Rutherford. Tomada con un telescopio de 11 1/4 pulgadas de apertura, construido por el propio autor.

astronomía iba a rescatar para sus fines el medio de visionado de fotografías que proporcionaba el estereoscopio, muy popular en la época. Su aplicación fue un intento desesperado de los astrónomos por hacer visibles aquellas estrellas muy lejanas y que aparecían en las placas muy difuminadas y sin definición. El procedimiento consistía en tomar una primera fotografía del cuerpo que se quería observar, y luego otra pasados unos segundos, una vez que se había producido un pequeño desplazamiento. La visión conjunta de ambas con un estereoscopio, al estilo de cómo se solían ver las fotografías de monumentos y paisajes, proporcionaba la tercera dimensión, hecho que favorecía la visibilidad de detalles en el objeto. La fotografía estereoscópica sigue utilizándose hoy día en el ámbito de la astronomía¹⁴⁶ con estos mismos propósitos, y en su día tuvo un gran desarrollo en otras aplicaciones, tales como la fotografía aérea de reconocimiento, la fotogrametría, la

microfotografía, o la fototopología. La estereoscopia, como apuntamos en capítulos anteriores, es una técnica de visionado que fue tremendamente popular durante gran parte del s. XIX y que, a diferencia de la fotografía convencional, reproduce un espacio diferente, caracterizado por la sensación de tridimensionalidad y por la ausencia de un punto de vista fijo; este efecto, que tiene su antecedente más directo en la imagen que proporciona la cámara lúcida y su continuación en la holografía y en la imagen virtual contemporánea, supone un modo de representación muy peculiar, que nos hace pensar en los componentes sociales que todo invento conlleva. Las primeras estereografías ya se hicieron con daguerrotipos y con copias a la albúmina, pero fue con el colodión cuando se convirtió en todo un fenómeno de masas, al dar lugar a la producción de medallones, tarjetas postales y tarjetas de visita por este medio.

Los principios de la estereoscopia fueron desarrollados por Charles Wheatstone, uno de los creadores del telégrafo eléctrico, aunque sus orígenes se remontan a la Antigüedad, con Euclides, Galeno, y posteriormente con Porta. Este científico inglés hizo las primeras demostraciones utilizando espejos, pero pronto vio que la utilización de dos fotografías le permitía un estudio más pormenorizado y exacto del fenómeno. El efecto de tridimensionalidad se conseguía haciendo dos tomas consecutivas del mismo escenario u objeto, separadas entre sí varios centímetros, y siendo luego observadas a un mismo tiempo con la ayuda de un estereoscopio. Otra forma de conseguir este efecto, vigente hoy día en muchos laboratorios científicos, fue presentada por D'Almeida en 1858, al producir las dos copias en colores complementarios (por ejemplo rojo y verde), y luego siendo observadas éstas con gafas de oculares de colores intercambiados (esto es, verde y rojo). El futuro decidirá si la sociedad venidera se decantará o no por este modo de representación que rompe con una tradición milenaria de la que la fotografía es parte.

Pero, volviendo a la astronomía, es a partir de 1860 cuando esta ciencia comienza de veras a adoptar la técnica fotográfica a gran escala, especialmente en los más renombrados observatorios de Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Alemania; fuera de este contexto o en el seno de las expediciones el proceso de adquisición de la nueva tecnología se haría de forma lenta y con bastantes dificultades, sobre todo en aquellos países con un menor grado de desarrollo tecnológico. Para hacernos una idea concreta de lo dilatado en el tiempo que resultó este proceso de acomodación a la nueva tecnología, debemos tener en cuenta de que en aquellas fechas tan avanzadas del siglo, muchas de las expediciones destinadas a la observación de eclipses disponían de medios e instrumentación científicos no muy distintos de los que se pusieron en práctica durante el Renacimiento. Por ejemplo, en 1860, James M. Wilson, astrónomo inglés, quien viajó a Pancorbo, en la provincia de Burgos, para observar el eclipse de sol de ese mismo año, aún no dispuso de ningún tipo de instrumental fotográfico para la ocasión, recayendo el peso de la investigación en la observación directa o a través del telescopio, en un fotómetro rudimentario de la época y en un cuaderno de notas.

"Observé el eclipse total de julio de 1860 en compañía de mis colegas el Prof. Chevalier y el Sr. B. E. Hammond, en el pueblo de Pancorbo en España. Estábamos en la cima de una montaña de una considerable altura, alrededor de 5.000 pies por encima del nivel del mar y, por consiguiente, con unas condiciones atmosféricas muy particulares. Observé especialmente cuatro cosas:

(1) Venus, que estaba entonces cerquísima del Sol, siendo el grosor de la creciente de 1 o 2 segundos, y por consiguiente situado muy favorablemente para observar si disponía de atmósfera.

(2) El tamaño de la corona y su forma. De ésto, estoy seguro que era muy irregular; casi de forma permanente, si no del todo, durante los tres minutos de plenitud; ...

Tenía delante de mí el dibujo que hice durante la plenitud del eclipse.

(3) La cantidad de luz emitida por la corona. Esta fue estimada con un fotómetro, consistente en un trozo de cristal oscuro con una ranura movable. ...

Tuve, y tengo, muy pocas dudas de que la corona está en la atmósfera solar, y no en la terrestre".¹⁴⁷

Las funciones que cubriría más tarde la fotografía eran asumidas, lógicamente, por el dibujo a mano, como se desprende de las anteriores líneas; y los fotómetros al uso nos ofrecen un cuadro muy ilustrativo de las dificultades con las que se enfrentaban estas expediciones, pues consistían generalmente -el tipo Bunsen era el de uso más generalizado- en una lámina blanca opaca con un orificio traslúcido, bañado en grasa o aceite, que dependiendo de la cantidad de luz y de la distancia a la que era situado, tomaba un color más o menos oscuro. Si se iluminaba al mismo tiempo por el lado contrario, poco a poco, el orificio desaparecía, lo que proporcionaba una referencia arbitraria para las mediciones.



Fig. 68. Expedición a España, c. 1860. Fotografía de George Downes. Expedición para el estudio del eclipse solar de ese año. En el telescopio Warren De la Rue.

observaciones efectuadas en años pasados y recogidas en textos, apuntes o dibujos, mantuvieron un gran valor de cara al análisis de la evolución de los fenómenos y para poder realizar estudios comparativos.

Sin embargo, la presencia de la fotografía en este tipo de observaciones pronto comenzó a hacerse notar, como lo demuestra la expedición a España de Warren de la Rue para la observación de este mismo eclipse (Fig. 68). Hacia finales de la década de los sesenta es cuando se comienza a cuestionar el método de observación clásico, basado en las meras descripciones y apuntes de los científicos, y cuando se empieza a imponer la fotografía como una herramienta de mayor objetividad y fiabilidad para el estudio astronómico. No obstante, las

"Tras unas observaciones hechas por el Presidente sobre las ventajas de aplicar la fotografía a los tránsitos que se avecinaban, en la reunión se leyó un informe del Sr. Alexander Herschel acerca de los meteoros de noviembre.. El Sr. Herschel demostró que hay pruebas de una triplicidad en la corriente meteórica, desde que en 1868 tres distintas máximas fueron observadas en Inglaterra, América y China. En 1867 y 1866 también, tres máximas fueron observadas, pero sin estar separadas por un intervalo tan grande. El Sr. Proctor leyó entonces un informe sobre la aplicación de la fotografía al tránsito de 1874. El informe estuvo ilustrado por un mapa que mostraba el paso de la Tierra a través de la sombra cónica de Venus, así como el lugar que deberían ocupar las estaciones, en cualquier momento, de tal forma que los desplazamientos relativos de Venus cayeran dentro de la línea radial del disco solar. Seleccionando de esta forma las estaciones (o los momentos) señaló que la cuestión se reduciría a un simple problema de paralaje, evitando los errores que se producen por el mal emplazamiento... con lo que la fotografía cumpliría con el trabajo de determinar la distancia del Sol lo mejor posible. En réplica a los comentarios del Dr Proctor sobre la importancia de los próximos tránsitos, el Sr. Stone señaló la estrecha correspondencia con los resultados que él dedujo de las observaciones de 1769".¹⁴⁸

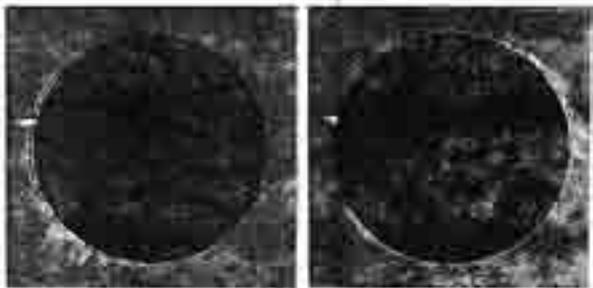


Fig. 69. Facsimil de fotografías del Gran Cuerno, tomadas durante el eclipse de 1868. Warren De la Rue.

Las cualidades de la fotografía comenzaron a imponerse poco a poco, siendo un motivo de celebración para los astrónomos de aquellos años el poder observar con detenimiento y documentar en detalle fenómenos solares efímeros, como El Gran Cuerno, en el eclipse total del 17 y 18 de Agosto de 1868, observado en India (Fig. 69 y 70). Se hicieron fotografías con la ayuda de un telescopio como el que aparece en la figura (Fig. 71) y se hicieron análisis de su corona con ayuda de un espectroscopio. La combinación de espectroscopio, telescopio



Fig. 70. En espera del eclipse de 1868. India.

y fotografía abrían un campo de exploración hasta entonces desconocido, aportando datos sobre el color, la temperatura, el tamaño, la composición, la distancia, etc., de los objetos estelares. La belleza de las imágenes dejaba en ocasiones encandilado a más de un científico.

"Una línea en el rojo era de tal belleza que tuve que hacer un verdadero esfuerzo para poner mi atención en otra cosa".¹⁴⁹



Fig. 71. Telescopio ecuatorial (Silver glass) 1868.

Dado que las técnicas de fotoimpresión de la época no estaban aún listas para su aplicación en las revistas científicas, los amantes de la astronomía se tuvieron que contentar con las reproducciones, en forma de dibujos o de grabados, que se realizaban a partir de las fotografías originales. (ver Fig. 69 y 72)

Los medios fotográficos comenzaron a convertirse en un signo de distinción entre las diversas expediciones destinadas a la observación de eclipses. De hecho, no todos los equipos de científicos pudieron llevar consigo instrumental de este tipo, por lo que se vieron obligados a seguir basando sus estudios en los métodos de observación clásicos. Así se desprendía de las instrucciones impartidas por Londres a las expediciones destinadas a España, Argelia e Italia para la observación del eclipse del 22 de diciembre de 1870, en las que se recomendaba el uso del polariscopio y del espectroscopio,



Fig. 72. Júpiter. 1869. Grabado basado en fotografía. Norman Lockyer.

así como tomar notas y hacer dibujos. En cambio, la expedición norteamericana no escatimó medios a la hora de fotografiar este mismo fenómeno, por lo que serían sus fotografías las que se publicaron en su día en las revistas científicas de la época, incluidas las europeas. Lo anterior puso de manifiesto el fuerte empuje que empezaba a transmitir este país a la ciencia internacional del momento. El protagonismo hasta entonces ejercido por Alemania, Francia e Inglaterra en todas las áreas científicas, comenzó a ser compartido con esta ex colonia inglesa que, ya por entonces, empezó a gozar de una buena salud económica y de una sociedad joven, alimentada por las continuas olas de emigrantes provenientes de todo el mundo.

El recelo -y probablemente el complejo de superioridad- de la vieja Europa no se hizo esperar, saltando las críticas contra las fotografías realizadas por esta nueva potencia en su expedición al sur de España. Se cuestionaba si las imágenes hechas desde el Observatorio de San Fernando, en Cádiz, reproducían bien la corona solar e, incluso, se ponía en duda si las bellas fotografías conseguidas habían captado un fenómeno real, o si se trataba, más bien, de un efecto producido por las capas de la atmósfera, acentuado por la humedad típica de las marismas gaditanas.

"En conclusión, hay que recordar al lector que lo que se discute no es una pregunta de astronomía -¿Está rodeado el Sol por un medio que, al estar iluminado por sus rayos, se hace visible al ojo de un observador terrestre cuando las circunstancias son favorables?- sino, suponiendo que fuera éste el caso, ¿Es esta luminosidad que aparece en las fotografías una representación de dicho medio o no?"

Quien esto escribe no duda de la existencia de dicho medio alrededor del cuerpo de nuestro gran astro (aunque, si lo aceptamos, ¿no habría alguna pista visible de ello por encima del horizonte oeste, inmediatamente después de la puesta de sol en un clima seco?), pero duda, que la mancha de luz que aparece en las fotografías del último eclipse solar sea algo más que un fenómeno de meteorología terrestre".¹⁵⁰

Pero no todo iban a ser alabanzas del nuevo medio. Las expediciones científicas de finales de siglo comenzaron a notar también un aspecto negativo producido por la fotografía: su efecto desmotivador en el gusto por las descripciones y el cultivo de las dotes literarias de los científicos. Es cierto que el mundo de la imagen crea analfabetos de las letras todos los días. Las observaciones con el telescopio de aquellos años siempre iban acompañadas de unas bellas descripciones de los fenómenos que recuerdan hoy a los libros de viajes y aventuras de Conrad o Stevenson. La permanencia de la imagen técnica suprimió, lamentablemente, muchas y muy buenas palabras.

"El Sr. Carrington había dirigido su telescopio al Sol y estaba inmerso en la observación de sus manchas cuando, de repente, dos

cuerpos luminosos inmensos aparecieron en su superficie. Se movieron juntos a través de un espacio de cerca de cinco mil millas, primero aumentando su brillantez, luego desvaneciéndose. Al cabo de cinco minutos habían desaparecido...".¹⁵¹

Hacia 1870, los trabajos de observación de eclipses llevados a cabo por las expediciones científicas habían fijado un procedimiento que se haría común a todas ellas. Junto a la pieza fundamental de observación, que era el telescopio, se solían llevar tres instrumentos adicionales, considerados básicos, no sólo para la observación de eclipses, sino también de auroras boreales o de lluvias de meteoritos: el espectroscopio, el polariscopio, -que sirve para determinar la posición de una fuente de luz- y la cámara fotográfica, sin olvidar, desde luego, que se seguía dando una gran importancia a la observación directa de los fenómenos y a su descripción detallada por escrito. Por tanto, la fotografía aplicada a la observación de cuerpos celestes era considerada en estas fechas imprescindible, lo que obligó a la formación de equipos técnicos exclusivamente para las tomas fotográficas. Para hacernos una idea concreta de estas operaciones baste recordar un informe del año 1871, elaborado por el astrónomo A. Brothers para la Universidad de Siracusa, de Estados Unidos, en el que se enumeran los elementos imprescindibles de que debería disponer un observatorio de campaña destinado a la India. Así, se recomiendan unos tipos específicos de lentes, de gran distancia focal, para que la imagen sea lo más grande posible; que la cámara esté montada en una estructura acoplada al movimiento de un reloj para el acompañamiento del sol, que el cuarto oscuro esté situado junto al observatorio y protegido del polvo, así como la presencia de un asistente para contar en voz alta los segundos de exposición de las placas.

"Llegados a este punto serán suficientes dos operadores, uno, encargado de la colocación de los instrumentos, deberá tener algunos conocimientos de astronomía a fin de poder ajustar el montaje ecuatorial, y otro para el trabajo estrictamente fotográfico. Se precisará también, desde luego, ayuda adicional para levantar el observatorio y el cuarto oscuro. En el momento del eclipse harán falta otros dos asistentes, uno para contar los segundos en un reloj o un cronómetro, y otro para ir pasando las placas al que maneja la cámara".¹⁵²

Al mismo tiempo la fotografía había ido extendiendo su campo de acción dentro de los estudios espectroscópicos de los cuerpos celestes, coincidiendo esta fructífera combinación de tecnologías con la incorporación de la placa en seco de gelatina al bromuro de plata, que situaría a la fotografía en el nivel de calidad que se ha mantenido hasta nuestros días. Con este procedimiento se pudieron observar estrellas hasta entonces ocultas a simple vista, como las que conforman la nebulosa de Orión, y se comenzaron a configurar mapas estelares de ambos hemisferios con mayor precisión y detalle. Si con el daguerrotipo se podían captar estrellas de magnitud dos, y con el colodión se llegaba a la sexta magnitud, con la nueva placa en seco se pudo fotografiar hasta la décima magnitud con exposiciones

de 20 segundos, y llegar incluso a la magnitud 16 con tiempos de exposición de 1 hora 20 minutos. En 1887 se celebró en París un congreso internacional, a iniciativa de David Gill y de los hermanos Henry, afamados ópticos de esa ciudad, en el que se decidió elaborar un mapa fotográfico de todo el cielo, una *Carte du Ciel* que llegara hasta la 14ª magnitud. El trabajo debería ser llevado a cabo por dieciocho observatorios de todo el mundo, incluido el

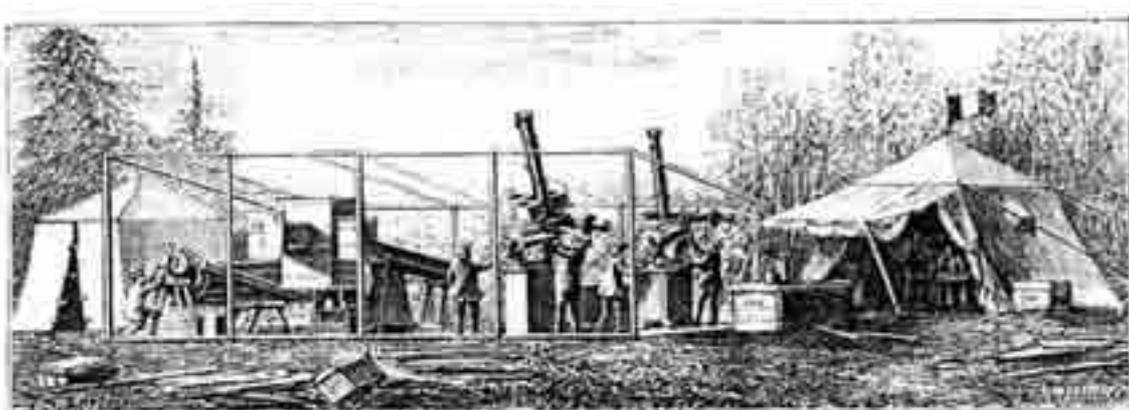


Fig. 73. Expedición francesa para la observación del eclipse de 1883. M. Janssen.

de San Fernando, en Cádiz. Se definieron las tareas y se construyeron telescopios idénticos -por Gauthier, en Francia-, con el fin de garantizar que las observaciones y las fotografías guardaran las debidas similitudes. Se pretendió cubrir el cielo austral y boreal con 22.000 placas, que contendrían un total de 50 millones de estrellas. Desafortunadamente, con el paso de los años, el incumplimiento de obligaciones por parte de algunos observatorios dejó incompleto este proyecto. Otros empeños menos ambiciosos llegaron, en cambio, a mejor puerto, como el Catálogo de Henry Draper, realizado en Harvard, en el que se incluía, junto a sus posiciones y magnitudes, el tipo espectral de las estrellas.

Con el tiempo, la fotografía se convirtió en una herramienta imprescindible para todo astrónomo. A partir de 1880 rara era la expedición que no incluía entre sus equipos una

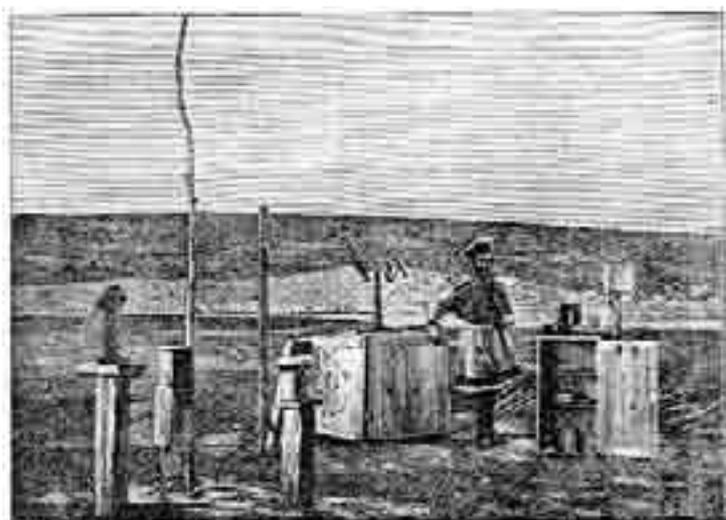


Fig. 74. Expedición para la observación de la Aurora Boreal., en Kautokeino, Noruega. 1883.

cámara fotográfica para la observación de todo tipo de fenómeno, ya fueran las auroras boreales, las líneas espectrales de estrellas y planetas, las grandes nebulosas como la de Orión, los eclipses, los cometas y meteoritos, las superficies del sol y la luna o las nuevas estrellas de la galaxia de Andrómeda (Fig. 73 y 74). Y para ello, la técnica de fotografiar tuvo que ponerse a la altura de las exigencias de los astrónomos, hasta tal punto que



Fig. 75. Telescopio astrográfico. Paraláctico. 1886. Observatorio de París. P y P Henry.



Fig. 76. La Luna. Brothers Henry. Marzo de 1890.

la fotografía experimentó un desarrollo enorme gracias a los requisitos impuestos por esta ciencia. Los fenómenos estelares impulsaron nuevas técnicas fotográficas que debían aplicarse a los nuevos telescopios. Así surgió el telescopio astrográfico (Fig. 75), que incorporaba un telescopio paralelo, dedicado exclusivamente a la impresión fotográfica (Fig. 76), y que se acoplaba a los dos tipos de telescopios existentes: el de refracción por una parte - más apropiado para el análisis espectral y para la medida de las posiciones y las distancias de las estrellas y planetas- y el de reflexión, en el que la imagen se forma en un espejo con forma parabólica, y que permite captar cuerpos de luz más débil, siendo por esta causa el de uso más generalizado entonces. La astronomía potenció, asimismo, el uso de otros instrumentos como complemento a la observación fotográfica: desde espectroscopios (Fig. 77), micrómetros, densitómetros y microscopios para estudiar en detalle las propias fotografías y para determinar de este modo



Fig. 77. Espectrosocpio estelar acoplado a un telescopio reflector. 1895.

distancias, intensidades o tamaños de estrellas, hasta lentes y espejos de gran distancia focal para la observación del sol, o montajes ecuatoriales que son los que permiten seguir los cuerpos celestes en consonancia con el movimiento de la tierra, haciendo posible fotografiarlos con exposiciones prolongadas, etc., elementos y técnicas que han hecho de esta rama de la fotografía tal vez la más especializada y exacta de todas. Hasta el punto de que la mayoría de las lentes construidas para la fotografía convencional, incluida la misma fotogrametría, difícilmente cumplirían con las exigencias de esta otra especialidad, obligada a retratar puntos ínfimos de luz como son las estrellas, situados a distancias enormes, y con la interposición de las diversas capas atmosféricas. Lo mismo ocurre con el tipo de emulsiones requeridas por los astrónomos; de acuerdo con el tipo de trabajo que se trate se precisan unas más acordes a determinadas longitudes de onda, u otras en las que el efecto de reciprocidad propio de los materiales fotosensibles sea el mínimo posible dada las exposiciones tan prolongadas, etc. Todo lo anterior ha conseguido, por tanto, que cualquier astrónomo sea, habitualmente, un muy buen conocedor de la técnica fotográfica. No debemos olvidar que fueron astrónomos como Julius Scheiner, P. J. C. Janssen y Karl Schwarzschild los que desarrollaron con creces la sensitometría; el primero, construyendo sensitómetros de rueda escalada; el segundo, cuestionando la clásica ley de $E = i \times t$ (exposición igual a intensidad por tiempo), y el tercero, formulando la Ley de Reciprocidad de los materiales fotográficos¹⁵³.

5.4. El fantasma del éter

La fotografía astronómica obviamente se vio enriquecida de forma notable cuando pudo vencer la resistencia natural que le presentaba la atmósfera terrestre y las demás capas del espacio interestelar. Con el tiempo se llevaron a cabo proezas mediante globos lanzados al espacio, con los que se lograron fotografiar incluso los trazados de los rayos cósmicos; posteriormente vinieron los cohetes, los satélites artificiales y, por último, las naves espaciales, pero es materia ésta que entra en un periodo de tiempo que escapa al presente estudio. Lo que sí es importante rescatar para este capítulo, por su relación directa con el tema de la fotografía y el conocimiento, es la aplicación e incidencia que la fotografía astronómica tuvo en la física teórica. Para ello, es preciso mirar hacia atrás y volver a aquellos años en los que la fotografía comenzaba a dar sus primeros pasos, años en los que Agustín Fresnel enunciaba su teoría ondulatoria de la luz. Ya vimos como este científico de corta pero intensa y fructífera vida, dio una explicación bastante completa de los fenómenos de la luz, sobre todo de su movimiento rectilíneo y de otros, escasamente explicados hasta entonces, tales como la interferencia y la difracción. Su Óptica ondulatoria quedó bien sustentada en un formalismo matemático desarrollado en detalle. El único cabo suelto que dejó en su teoría vino dado por verse obligado a formular, en consonancia con la teoría de Huygens, la existencia de una sustancia, que llamaría *éter luminoso*, para explicar el fenómeno de la propagación de la luz en el vacío y en la materia. Si las ondas de luz se propagaban como las del sonido o las que vemos en el agua, era necesario un elemento por el que éstas se desarrollaran. Con esta presunción se zanjó, por el momento, el problema.

Por otro lado, al tiempo que Fresnel llevaba a cabo sus experimentaciones, los estudios de la electricidad seguían también su curso, y otro científico de gran prestigio, Michael Faraday (1791-1867), se dedicaba a estudiar los fenómenos magnéticos, concretamente los de atracción y repulsión de cuerpos y partículas, lo que le llevó a enunciar su teoría de las *líneas de fuerza* (Fig. 78). Los cuerpos magnetizados parecían sufrir efectos a distancias de fuerzas invisibles, lo que exigía también la formulación de la existencia de una sustancia que estuviera presente en ese *campo magnético*, para dar explicación a estos fenómenos producidos a distancia.

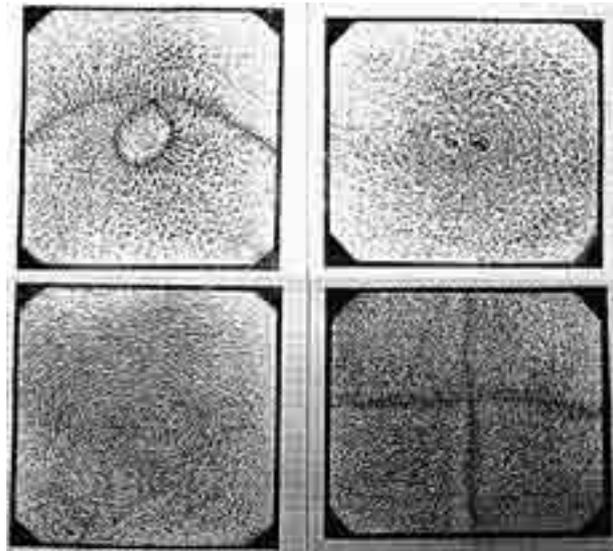


Fig. 78 Líneas de fuerza magnética. Estudios sobre las teorías de Faraday de S. P. Thompson. 1878.

Así apareció el *éter electromagnético*. La física clásica comenzaba a tambalearse puesto que el espacio vacío formulado por Newton, en el que se desenvuelven todos los cuerpos de la naturaleza, empezaba a llenarse de sustancias un tanto sospechosas, pero imprescindibles para dar explicación a los nuevos fenómenos.

La síntesis de todas estas interpretaciones la llevó a cabo James Clerk Maxwell (1831-1879), entre 1860 y 1875, con su brillante *Teoría del Electromagnetismo*, sustentada sólidamente con las ecuaciones que llevan su propio nombre. Para sorpresa de todos, comprobó que el campo electromagnético se propaga en forma de ondas, y que éstas, en el vacío, circulan a una velocidad de 300.000 Km/s, lo que coincidía con la de la luz. De esta forma, Electromagnetismo y Óptica quedaban fusionadas en un mismo cuerpo experimental y teórico; y a un mismo tiempo los dos éteres hipotéticos quedaban también unidos para siempre. La Teoría del Electromagnetismo quedó experimentalmente comprobada con los trabajos de Heinrich Hertz (1857- 1894) sobre la propagación de las ondas sonoras, que abrió todo el campo de las telecomunicaciones a distancia sin necesidad de cable.

El éter, por consiguiente, debería ocupar todo el espacio entre los cuerpos, incluido el espacio que existe entre los planetas; sólo así se podría explicar la propagación de la luz, por ejemplo, proveniente del sol o de las estrellas. Pero hacia finales del siglo empezaron a surgir una serie de descubrimientos provenientes del trabajo experimental de algunos científicos que empezaron a poner en duda la singularidad de este éter. Por ejemplo, los intentos de medir la velocidad absoluta de la tierra fracasaron, dado que era imposible medirla con respecto a ese hipotético éter estático. Entre 1881 y 1887, el físico norteamericano Albert Michelson, con la colaboración de E. W. Morley, emprendió una serie de trabajos destinados a determinar la velocidad de la luz y los fenómenos de interferencia mediante un dispositivo a base de espejos ingeniado por él mismo, al que denominó *interferómetro* (Fig. 79). Lo colocó sobre una plataforma de piedra que flotaba a



Fig. 79. Interferómetro de Michelson. 1907. Adam Hilger Ltd.

su vez en mercurio, para evitar cualquier acción o movimiento proveniente del terreno. Con los espejos, Michelson dividió en dos un rayo de luz mediante un espejo semi transparente: una mitad del rayo fue enviada siguiendo la supuesta dirección del éter en la atmósfera, y luego enviada hacia atrás, al punto de partida, mediante el reflejo en otro de los espejos; la otra mitad del rayo la envió en sentido perpendicular al supuesto éter y vuelta de nuevo mediante otro de los espejos. De esta manera podría determinar con gran

precisión qué rayo de luz volvía antes. Se trataba de un nuevo truco interpuesto a la naturaleza. Sorprendentemente, los dos rayos volvían al mismo tiempo. Probó el dispositivo en todas las posiciones posibles, siempre con idéntico resultado, lo que demostraba en cierta manera que el movimiento orbital de la tierra no afectaba a los fenómenos de interferencia que se observaron en su laboratorio. O lo que era lo mismo, el movimiento de la tierra no incidía en la velocidad de la luz. La única explicación que podía darse a esta constatación fue señalada por el físico Fitzgerald, quien supuso que todo cuerpo en movimiento en el éter experimentaba una contracción longitudinal que compensaba los efectos del movimiento.

El éter, por consiguiente, se convertía en una especie de apriorismo que suscitaba bastantes sospechas entre los científicos. La experiencia de Michelson quedó suspendida como espada de Damocles sobre el templo de la ciencia, a la espera de una explicación más plausible. Mientras tanto, en el contexto de los análisis espectroscópicos, se constató otro fenómeno que acrecentaría esta incertidumbre, y que hemos citado en el capítulo anterior. En 1896, Pieter Zeeman descubrió un fenómeno que llevaría en un futuro su nombre, consistente en que un rayo de luz sometido a la acción de un campo magnético sufría una desviación, o una alteración de sus franjas espectrales. Esta alteración afectaba a las líneas denominadas D, propias del sodio, normalmente finas y anaranjadas y que por influencia del campo magnético se ensanchaban de forma proporcional¹⁵⁴, o incluso llegaban a dividirse en varias, como muestra la figura (ver Figura 65). Esto comprometía de nuevo la teoría ondulatoria de la luz, ya que permitía suponer que la propia luz estaba compuesta de corpúsculos electrizados que cambiaban de comportamiento bajo el efecto del magnetismo¹⁵⁵.

Las repercusiones que tuvieron estos fenómenos en la física de finales de siglo fueron decisivas para hacer comprender a la mayoría de los científicos que el modelo clásico inaugurado por Galileo y Newton no satisfacía plenamente los resultados de estas observaciones. Al efecto Zeeman y a las experiencias de Michelson se unían otros descubrimientos, como el del efecto fotoeléctrico, constatado por el propio Hertz, consistente en el desprendimiento de electrones en los metales sometidos a radiación, el ya comentado de Doppler- Fizeau, o la recién enunciada teoría cuántica de Planck, que

precisaban urgentemente de una integración en una nueva visión del mundo físico. Esta fue la tarea de Albert Einstein con su *Teoría de la Relatividad*, enunciada en forma parcial en 1905 y completada con su *Teoría General* en 1916.

Es en este punto de la historia cuando debemos volver a la fotografía astronómica. El proceso dialéctico que normalmente se establece entre el procedimiento inductivo y el deductivo, entre la teoría y la práctica, o entre las ideas y la experiencia, se manifestó de forma transparente en estos años a través de las grandes aportaciones hechas por los científicos, que dieron lugar a su vez a una de las épocas más esplendorosas de la historia de la ciencia. La observación de los nuevos fenómenos, la mayoría de ellos amparados por la evidencia de lo fotográfico, había obligado a una reformulación de la física clásica para tratar de integrar estas nuevas realidades. El espacio y el tiempo sufrían una modificación necesaria para asumir nuevas constantes como la velocidad de la luz, nuevos puntos de vista condicionados por las posiciones del observador en los experimentos, nuevas conductas de los cuerpos físicos especialmente en la escala atómica, etc. Como antes ocurrió con la teoría cuántica, el trabajo de Einstein, si no pasó desapercibido a los científicos de la época, sí tardó en ser asumido plenamente. Sin embargo, en 1919, se iba a producir un fenómeno astronómico que cambiaría drásticamente esta percepción que la ciencia oficial tenía de las nuevas formulaciones de Plank y Einstein: un eclipse. Si el efecto Zeeman provocaba la desviación de un rayo de luz por la acción de un campo magnético, según la teoría de Einstein, el mismo efecto se debía producir en la luz de una estrella que nos llega a la tierra por el efecto del campo magnético del sol. El eclipse que se produciría el 29 de mayo de 1919 sería la prueba más sólida que se podría presentar para la aceptación o refutación de la nueva concepción del universo.

La velocidad de la luz es tan grande que sólo hay un cuerpo en el sistema solar capaz de producir una desviación apreciable de su trayectoria: el Sol. Si fuéramos capaces de detectar una estrella cercana al borde del Sol, un rayo de luz procedente de la estrella se desviaría por su propio peso, y la estrella se vería ligeramente desplazada de su posición original. En los eclipses totales las estrellas han sido normalmente fotografiadas en su proximidad al Sol con lo que, con las debidas precauciones, se podría observar este efecto. Tenemos una magnífica oportunidad el año que viene cuando se produzca el eclipse total en medio de un cielo repleto de brillantes estrellas. Esta va a ser nuestra mejor oportunidad en mucho tiempo, por lo que sería de esperar que se puedan enviar expediciones a la línea de plenitud para medir la luz de acuerdo con este método.¹⁵⁶

Tras la primera conflagración mundial, que puso en peligro todos los proyectos científicos internacionales e impidió la puesta a punto de la coordinación de varias estaciones a lo largo del ecuador para las observaciones de este eclipse, se pudieron mandar felizmente dos expediciones para comprobar las tesis de Einstein¹⁵⁷ : una a la estación de

Sobral en Ceara, Brasil, y otra a Isla Príncipe, en la costa oeste africana. Había tres posibilidades en cuanto a la posible desviación del rayo procedente de la estrella: que se diera la mitad de ésta, una completa, lo que apoyaría la tesis relativista, o que no hubiera ninguna. Los astrónomos ingleses se dedicarían exclusivamente a tomar fotografías de las estrellas próximas al sol en el momento del eclipse, para compararlas posteriormente con otras tomadas durante la noche de esa misma porción de cielo. La expedición salió del puerto de Liverpool a mediados de marzo e hizo escala en Lisboa, antes de llegar a destino con el tiempo suficiente de cuatro semanas para los preparativos. A los cinco días de transcurrido el eclipse, se recibió un telegrama del Prof. Eddington en el que decía: "*A pesar de las nubes, existen esperanzas*"¹⁵⁸, así que la noticia no se difundió en los medios especializados hasta noviembre de ese mismo año.

"La expedición a Isla Príncipe ha sido poco afortunada debido al tiempo, pero algunas placas muestran cinco estrellas. Como no se pudieron tomar placas de control para confirmar los datos, se fotografió otro campo cerca de Arturo, y se compararon éstas y las del eclipse con otras placas del mismo campo tomadas en Oxford utilizando la misma óptica.

*Se puede apreciar como en líneas generales estos resultados, junto con aquellos conseguidos en Sobral con el telescopio de 4 pulgadas, confirman de manera muy aproximada las predicciones del valor de $1^{\circ} 75''$ establecido por Einstein. En la reunión se decidió de forma generalizada que este acuerdo, conjuntamente con la explicación del perihelio de Mercurio, confirmaba suficientemente esta teoría como algo real y objetivo".*¹⁵⁹

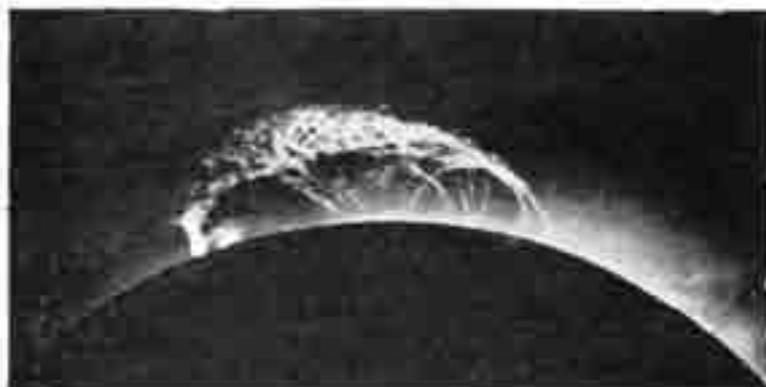


Fig. 80. Protuberancia solar. Fotografía de E. T. Cottingham y A. S. Eddington. Eclipse solar. Isla Príncipe. 29/5/19. La llama subió a 180.000 Km de altura.

Las fotografías del eclipse de Isla Príncipe (Fig. 80) catapultaron la Teoría de la Relatividad hacia las estrellas de la ciencia. Se confirmaba de forma rotunda, gracias a la fotografía astronómica, el esquema del nuevo mundo físico propuesto por Einstein. Desde entonces, aunque aparentemente vivimos en el mundo estable y seguro enunciado por la

física clásica, sabemos que los restos del antropocentrismo que quedaban aún indemnes tras las arremetidas de la astronomía moderna y del evolucionismo, se han disuelto en un espacio de cuatro dimensiones donde no existe un punto de referencia fijo. Con las fotografías de

aquel día nublado en la costa oeste africana, la luz y su estudio se convertían en la quintaesencia del estudio del mundo físico; la luz lo era todo, y el solo hecho de explicar una pequeña parcela de su conducta ponía el mundo patas arriba. A partir de la difusión de la noticia de Isla Príncipe, la Teoría de la Relatividad fue el centro de atención de los científicos y de la misma sociedad. Pero en realidad, ¿qué demostró aquella fotografía? Que los rayos de luz procedentes de las estrellas se desvían al pasar junto al sol, por la fuerza de atracción que el astro ejerce sobre ellos. El armazón de esa estructura compuesta de sombras y luces que fueron esas fotografías hechas en mayo de 1919, fue la constatación de un nuevo paradigma físico para los humanos. La imagen de la ciencia, en este caso representada por unas simples fotografías, presentaba nuevamente dos caras, una perfecta, en la que todo cuadra y nos acerca a la naturaleza; otra de magia, porque vuelve a situarnos en lo inescrutable y en el misterio.

"La fotografía astronómica representa a la perfección la simbiosis que forman el macrocosmos y el microcosmos; los astrónomos apuntando sus telescopios hacia las estrellas terminaron en los átomos; porque el universo de las galaxias infinito está formado por ese otro universo que lo forman estas unidades de la materia.

El sistema de las estrellas está flotando en un océano; no meramente un océano de espacio, ni un océano de éter, sino un océano material, que contiene aproximadamente un átomo por centímetro cúbico. Es un océano plácido, sin gran movimiento relativo. Probablemente existen corrientes en él; pero son de poca importancia y no llegan a las grandes velocidades que de ordinario poseen las estrellas".¹⁶⁰

Y si la fotografía fue decisiva en el estudio de los cuerpos celestes, no lo iba a ser menos en el estudio de lo invisible, de aquello que por su tamaño diminuto no podemos apreciar, como es el caso de los elementos que conviven en los átomos. Los caminos abiertos por la espectroscopía no iban a ser las únicas conquistas abiertas en este terreno por la técnica fotográfica.

Capítulo 6. La fotografía de lo diminuto

6.1. Introducción

Si, en principio, la fotografía astronómica no presenta límites, porque su materia de estudio es inmensa y porque la tecnología le ha acompañado siempre, bien acercándole los objetos de estudio, bien transportándola allí donde fuera preciso, en globos, satélites o naves y sondas hasta lejanos planetas, tal como ocurre en nuestros días, la fotomicroscopía, en cambio, ha tenido que ir venciendo continuas barreras, que la han situado en más de una ocasión en los límites del poder de observación de que disponemos, que es tanto como decir en los límites del conocimiento humano.

"El pensamiento científico no se diferencia del pensamiento cotidiano cualitativamente, sino por el grado de refinamiento y exhaustividad, de forma parecida a como las prestaciones del microscopio se diferencian de las del ojo desnudo".¹⁶¹

La ciencia necesita de los ojos, necesita ver para explicar, para entender, al igual que necesita de la imaginación para construir ideas a partir de lo que ha observado. De aquí que a la ciencia le guste apostar, ya sea con teorías, presunciones o hipótesis, que se sitúan más allá de lo sensorial y de lo tangible. En definitiva, adelantarse de alguna manera a los hechos. Y al hablar de los ojos, se habla de cualquier otro sentido. La confirmación de las teorías se produce por cualquiera de ellos. Pero son los ojos los que en la mayoría de las ocasiones se encargan de refutar o premiar la imaginación de los científicos. Las matemáticas, entendidas como un refinamiento del lenguaje humano común, suelen ser la herramienta más útil para imaginar en ciencia. Los científicos apuestan fuerte cuando sus teorías están sustentadas en formulismos matemáticos.

El proceso de observación de lo invisible ha tenido dos caminos básicos: uno, a través de los procedimientos ópticos, con el uso de los cristales, las lentes, los espejos, los prismas, y por los instrumentos que se derivan de ellos; y el otro, por la luz. Los primeros, desde las lentes de aumento o lupas a los grandes telescopios reflectores, han estado encargados fundamentalmente de agrandar los cuerpos para hacerlos visibles; en cambio la luz, para conseguir hacer visible lo diminuto ha tenido que acudir a todas sus posibles fuentes y formas, desde utilizar la simple luz del sol, hasta acudir al bombardeo de electrones, o a todo tipo de radiaciones (rayos X, radiactividad, radio, etc.). Las lentes se han ido depurando y perfeccionando a medida que los materiales que conforman el vidrio han sido mejor seleccionados y combinados, y conforme las matemáticas han ido determinando leyes más precisas para su construcción. Y por otro lado, la luz se ha ido descomponiendo y analizando hasta sus más últimas partículas y formas, para que los científicos supieran cómo iluminar los objetos y sus más ínfimos detalles, a fin de hacerlos visibles. Digamos que para ver un cuerpo muy pequeño, se necesita también de una luz muy pequeña, lo que quiere decir de longitud de onda muy corta. El camino hacia lo ínfimo y oculto puede ser interminable, al menos eso es lo que pensarían los que entienden que la ciencia se origina en los sentidos;

porque, por el contrario, hay quienes opinan que existen unos límites a la observación humana, que interponen barreras infranqueables al conocimiento científico, y creen que para eso están las matemáticas o el mundo de las ideas, para cuando los sentidos nos engañan o no nos permiten llegar hasta donde quisiéramos.

Las observaciones realizadas gracias a los refinados instrumentos de medición exigen ineludiblemente el abandono de ciertas nociones intuitivas profundamente enraizadas y su sustitución por nuevas y más abstractas estructuras conceptuales para las cuales todavía están por encontrar y desarrollar las correspondientes visualizaciones; dichas observaciones muestran a la investigación teórica el camino que lleva de lo ingenuamente real a lo metafísicamente real.¹⁶²

La fotografía ha sido una de las tecnologías que más han ayudado a las tesis de empiristas, positivistas y materialistas, porque emplaza la observación y la permanencia de la imagen de los objetos en un primer puesto. Las fases hipotéticas de la investigación, que parten de una especulación pura, no precisan en un principio de la observación directa de los fenómenos para construir sus leyes, se refugian mayormente en la lógica formal y en las matemáticas para estructurar concepciones teóricas que dan cabida a determinados fenómenos de la naturaleza. En cambio, la ciencia empírica parte de los hechos para ir formando paulatinamente un rompecabezas que no es otro que una imagen física que termina relacionando también matemáticamente los fenómenos observados. Cuando existe la imposibilidad de observación -o, en nuestro caso, de fotografiar los hechos-, predomina el modelo de ciencia que tiende al análisis; en cambio, cuando se parte de lo observado, de las mediciones, o de las imágenes reales, resultantes en muchos casos de la fotografía, es el modelo sintético o la construcción inductiva lo que prevalece. En los últimos tiempos nos hemos acostumbrado a convivir con ambas fórmulas, a la vez que con un escepticismo general que nos hace desconfiar de las tesis globales e infalibles; algo parecido a lo que ha ocurrido en el terreno de las ideologías. No es casualidad que la concepción cósmica por la que nos regimos en la actualidad se denomine relatividad, o que hayamos aceptado a convivir con una ciencia regida en gran parte por el indeterminismo.

"Las teorías físicas son de diversas clases. La mayor parte son constructivas. O sea intentan construir a partir de una base formal una imagen de sucesos más complejos. Así la teoría cinética de los gases intenta reducir los fenómenos mecánicos, térmicos y de difusión a los movimientos de las moléculas. Vale decir, construir una teoría a partir de la hipótesis del movimiento molecular. Cuando se dice que un conjunto de sucesos de la naturaleza ha sido finalmente comprendido, se quiere decir que se ha encontrado una teoría constructiva que abarca esos sucesos.

Esa es una importante clase de teorías. Luego existe un segundo grupo, que llamaré teorías de principios. Estas no utilizan métodos sintéticos, sino analíticos. O sea que no se parte de una hipótesis y de elementos constructivos sino de los resultados de la experiencia. Es un método empírico. De sus principios se deducen criterios formulables matemáticamente, y ellos servirán para satisfacer sucesos individuales, por ejemplo, las imágenes teóricas. Es así como la termodinámica intenta determinar relaciones que satisfarán los hechos individuales, a partir de un dato de la experiencia: es imposible una movilidad perpetua.

Las teorías constructivas tienen las ventajas de su claridad, integridad y capacidad de adaptación. Las de principios, las de integridad lógica y seguridad de fundamento.

La teoría de la relatividad es una teoría de principios. Para entender su naturaleza deben comprenderse en primer lugar los principios sobre los que se basa".¹⁶³

Los instrumentos ópticos, incluida la cámara fotográfica, son fruto de convenciones, son también relativos, porque pertenecen a una forma de mirar de la humanidad en un tiempo determinado y porque terminan presentando limitaciones propias al fenómeno de la observación. Esta aparente deficiencia es la que marca la frontera entre una escuela y otra dentro de la ciencia y de la filosofía, entre aquellos que ante la incertidumbre y la imposibilidad de ir más allá con los hechos se refugian en concepciones metafísicas y aquellos otros que prefieren pensar que esa limitación es temporal y que será vencida con el trabajo y la paciencia consustancial a la ciencia. En ambas concepciones subyace una verdad común, la de que la fuente de lo desconocido es inagotable. Unos miran en su interior, otros hacia fuera. Podría tratarse, al fin y al cabo, de dos formas distintas de metafísica, cuyos extremos se sitúan en la superstición en el caso de una y en el dogmatismo en la otra. En el camino de desciframiento de lo invisible, los científicos han ingeniado multitud de dispositivos o trampas a la naturaleza que la obliguen a desvelar sus secretos. A medida que las barreras han ido cayendo, otras nuevas se han ido levantando; las lupas no fueron suficientes, por lo que se construyeron los microscopios; pero con el tiempo, el poder de resolución de éstos llegó a un punto muerto, con lo que se tuvieron que idear nuevas fuentes de luz para iluminar los cuerpos, y así sucesivamente hasta llegar al análisis de las partículas más diminutas que componen la materia y al intento desesperado por observar su comportamiento. Las placas fotográficas, las cámaras de niebla, los contadores de partículas no bastaron; se llegó a un camino sin salida que suscitaba obstáculos epistemológicos infranqueables.

"En la experimentación práctica esta exigencia queda ampliamente satisfecha con la especificación de las condiciones experimentales mediante el uso de cuerpos masivos tales como

diafragmas y placas fotográficas, cuya manipulación se explica en términos de física clásica. Precisamente esta circunstancia excluye cualquier explicación por separado de la interacción existente entre el instrumento de medida y los objetos atómicos sometidos a investigación.

Esta situación restringe especialmente el poder ilimitado de combinar la coordinación espacio- tiempo con las leyes de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía, en que se basa la descripción causal visualizable de la física clásica. De esta forma, un montaje experimental que trate de localizar una partícula atómica, cuya posición en cierto instante inicial se conoce, implica una transferencia, incontrolable en principio, de cantidad de movimiento y de energía con las escalas fijas y los relojes necesarios para definir el sistema de referencia. Recíprocamente, el uso de cualquier montaje adecuado para estudiar los balances de energía y de cantidad de movimiento –cuestión decisiva para explicar las propiedades esenciales de los sistemas atómicos- implica una renuncia a la coordinación detallada en espacio –tiempo de sus partículas constituyentes".¹⁶⁴

Pero hasta llegar a esa situación de incertidumbre, la ciencia ensayó múltiples dispositivos a fin de ahondar en lo diminuto; y en cada uno de ellos estuvo presente la fotografía. En la actualidad, a pesar del indeterminismo que nos envuelve, la ciencia sigue avanzando apoyada en el método dialéctico que combina lo experimental con lo especulativo, y que contrapone la imagen real y física de las cosas que nos brindan los instrumentos y nuestros ojos, con la imagen física intelectual que ordena y nos señala nuevos caminos posibles.

"Los datos de nuestros sentidos no pueden servir para la construcción de la ciencia sino después que nosotros los hemos convenientemente interpretado, y en esta interpretación intervienen forzosamente ciertas concepciones de nuestro espíritu, es decir, ideas teóricas. Y esto demuestra que no se puede separar la una de la otra de una manera absolutamente neta, la experiencia y la teoría, y considerar que el hecho experimental es un dato independiente de toda interpretación. La relación entre la experiencia y la teoría es más sutil y más compleja; las comprobaciones experimentales no adquieren su valor científico sino después de un trabajo de nuestro espíritu que, por rápido y espontáneo que sea, imprime siempre al hecho bruto la marca de nuestras tendencias y nuestras concepciones".¹⁶⁵

La frontera entre el mundo de la materia y del espíritu sigue abierta. Tras siglos de

civilización, los pensadores y científicos continúan debatiéndose entre el mundo de las ideas y el de los hechos; la eterna lucha contra la ignorancia es la que les lleva bien a creer que somos parte de una idea absoluta que rige lo natural, incluida la especie humana y su intelecto, y que se trata tan sólo de desvelar esa estructura común por medio de los lenguajes precisos, como las matemáticas; o bien a pensar que el absoluto es una meta inalcanzable, pero obligada, que hay que conquistar a través de la experiencia diaria, siendo conscientes de que la realidad del mundo físico es independiente de nuestra mente y de que nuestro conocimiento está sujeto al momento histórico en que vivimos.

6.2. La Fotomicrografía

Tal vez lo más indicado, antes de comenzar, sea dilucidar brevemente los nombres de aquellas tecnologías que participan del estudio de lo diminuto, a fin de despejar algunas confusiones que normalmente aparecen en este contexto. Sobre todo en lo que se refiere a



Fig. 82. Paloma con mensaje en la cola, durante el estado de sitio de París 1870-1

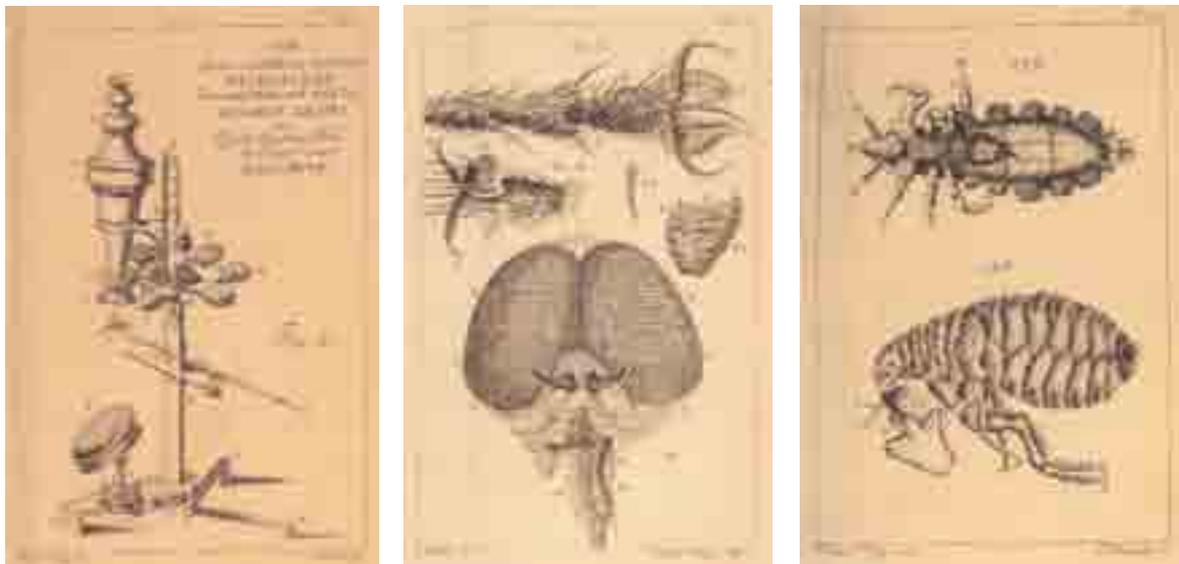


Fig. 83. Ampliaciones de envíos microscópicos hechos con palomas mensajeras durante la Comuna de París.

qué entendemos por *fotomicrografía*, *microfotografía* y *macrofotografía*. En esta investigación adopto el término de *fotomicrografía*, en consonancia con la utilización que hace de él el mundo anglosajón, para designar la práctica fotográfica que se dedica al estudio de lo diminuto a través de la utilización del microscopio; y no de acuerdo a la preferencia de otros países, especialmente de la Europa continental, de denominarla *microfotografía*. Por ésta última se entenderá la práctica de la fotografía en un formato miniatura, desde aquella muy en boga en el s. XIX para ser llevada en medallones o pequeños cofres, a la que se utilizó en labores de espionaje, mediante negativos diminutos que podían ser enviados en cápsulas atadas a las patas de palomas mensajeras, y que eran posteriormente proyectados en

pantallas para su análisis. (Figuras 82 y 83). Por último, la *macrofotografía*, será considerada como un primer estado de la fotomicrografía, por tratarse de la práctica fotográfica destinada a hacer visible lo diminuto, pero en este caso, exclusivamente con los medios fotográficos convencionales, y no con la ayuda del microscopio.

La representación iconográfica de lo diminuto tiene su origen, al igual que en la mayoría de las disciplinas científicas, en el dibujo. Sin embargo, si bien la representación científica en general pudo hacerse normalmente a partir de la observación directa de los objetos y fenómenos, en el caso de lo muy pequeño se tuvo que esperar a disponer de la ayuda de los instrumentos ópticos de aumento. Es por lo que las primeras láminas que muestran los detalles de pequeños organismos o compuestos inorgánicos no aparecieron hasta la llegada de las lentes de aumento y sobre todo del microscopio. A partir del siglo XVII comienzan a aparecer los primeros dibujos y grabados en detalle de plantas, flores, semillas, microorganismos tales como bacterias, o provenientes del mundo celular tanto animal como vegetal, siguiendo la tradición de las ilustraciones científicas iniciadas en el Renacimiento. Es hacia finales del siglo siguiente, el siglo de la Ilustración, cuando este tipo de obra adquiere una gran relevancia por la divulgación de las primeras enciclopedias, por el interés general que la sociedad muestra por lo científico, especialmente por las ilustraciones procedentes de las expediciones a lugares remotos, y por el protagonismo que comienzan a adquirir determinados artistas especializados en este tipo de trabajos. Es el caso de George Adams, quien ataviado con todo tipo de artilugios ópticos pudo ilustrar magistralmente en su *Micrographia Illustrata* de 1747¹⁶⁶, el objeto de estudio de patólogos, histólogos, citólogos o bacteriólogos (Fig. 84, 85 y 86). Ya vimos cómo, a partir del s. XIX, la



Figs. 84- 87. Láminas pertenecientes a la *Micrographia Illustrata*, de George Adams. 1747.

combinación de la cámara lúcida con el microscopio iba a convertirse en una de las fórmulas preferidas por los artistas especializados en estas materias. El *Diccionario Micrográfico* elaborado por Tiffen Wells se convirtió en una obra de gran prestigio entre los científicos de la época, habiendo quienes preferían este tipo de ilustraciones a las primeras fotomicrografías.

La presencia de determinadas ventajas de estas técnicas pictóricas sobre la misma fotografía han hecho que esta representación del universo microscópico mediante el dibujo y el grabado continúe hasta nuestros días. Allí donde priman las necesidades de claridad ilustrativa y didáctica, y donde se puede prescindir del valor documental y de validación consustancial de la fotografía, este tipo de obra cumple con creces sus propósitos. Los artistas pueden corregir los problemas de foco u otras aberraciones derivadas de las lentes, o descartar elementos gráficos superfluos que estorben a una percepción clara y aislada de los objetos que interesan; o en el tema de los colores, si partimos de la base de que el subjetivismo cromático se encuentra tanto en una técnica como en otra, pueden conseguir una paleta de tonos de alto valor estético que redunde en una mejor apreciación de ese mundo microscópico. No obstante, a medida que la fotografía se imponía como medio de retratar lo diminuto, la opinión que prevalecía era la contraria, pues los científicos veían en el dibujo un medio que favorecía normalmente la subjetividad y la idealización de los objetos retratados.

"Como estas imágenes se obtienen directamente de objetos microscópicos por medios fotográficos, y son impresas del negativo por medios mecánicos, tienen la gran ventaja de ser copias fieles de las imágenes formadas por las lentes, no reproduciéndose nada que no esté realmente en el instrumento, por lo que se evita el carácter diagramático y la coloración subjetiva que con tanta frecuencia encontramos en los dibujos hechos a partir de la cámara lúcida. De hecho, las ilustraciones utilizadas en las salas de conferencias y que se encuentran en los libros están tan idealizadas que raramente consiguen una impresión exacta del espécimen tal como es".¹⁶⁷



Fig. 87. Disposición de objetos. 1842- 3. Hippolyte Bayard.

La aplicación de la fotografía al mundo de las realidades diminutas se produjo prácticamente desde sus inicios. Las intenciones de dirigir las cámaras a este tipo de objetos se podían ya entrever en aquellas primeras obras de Daguerre, Talbot y Bayard, en las que se retrataban especímenes botánicos de todo tipo o fragmentos de objetos, ya fueran fósiles, arqueológicos o de lencería (Fig. 87 y 88). Estas primeras fotografías coloreadas son ilustrativas de hasta qué punto el interés por una representación puramente científica de la realidad puede terminar en obras con resultados estéticos deslumbrantes. El arte en general, y más en particular el perteneciente a las vanguardias de principios del s. XX, acudiría asiduamente a las obras científicas, tanto mecánicas como de representación, cuando no por motivos de inspiración, de pura apropiación. El culmen de esta

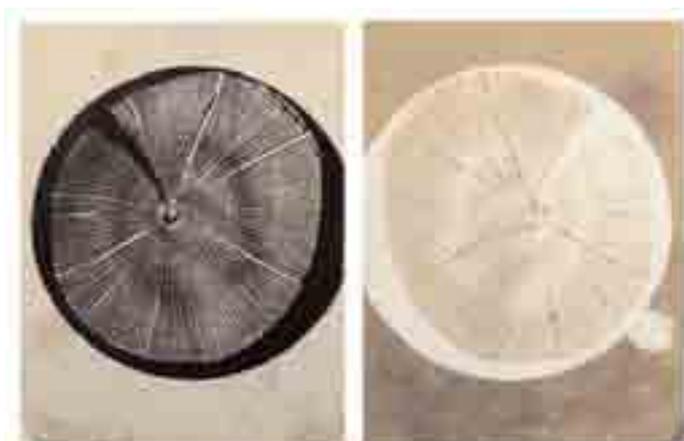


Fig. 88. Fotomicrografía solar de un corte transversal de un tallo. 1839. Fox Talbot.

tendencia sería la reivindicación por el arte no sólo de los objetos científicos, sino de aquellos producidos por la industria y la tecnología, sin descartar los considerados más prosaicos, desde un simple urinario a la misma chatarra.

Las primeras noticias existentes sobre la aplicación del microscopio a la fotografía, aún en fase experimental, datan de 1835, cuando el propio Talbot, con la

ayuda de un microscopio solar, se dice que consiguió reproducir momentáneamente las alas de un insecto. También el reverendo J. B. Reade parece ser que logró fijar un insecto en un trozo de cuero bañado con nitrato de plata en 1837. A partir de 1839, los ensayos se suceden en diferentes países, bien haciéndose uso del talbotipo, como fue el caso del mismo Reade, de quien se dice que consiguió retratar una mosca, con un tiempo de exposición de cinco minutos, bien mediante el daguerrotipo, como en aquellas primeras impresiones de huesos y dientes efectuadas por Alfred Donné. Así, hasta llegar al uso del colodión húmedo, que es el que dio lugar en 1852 a excelentes trabajos de fotomicrografía como los de John Benjamin Dancer, quien logró fotografiar una mosca con la ayuda de un microscopio y luz de gas, y los más teóricos como el de J. Delves, y más en particular su obra titulada "*On the application of Photography to the Representation of Microscopic Objects*"¹⁶⁸, lo que deja entrever el gran interés que había suscitado por entonces esta aplicación de la fotografía entre los científicos. También la técnica mixta de la albúmina con el colodión en seco proporcionó excelentes copias de grano muy fino que posteriormente eran analizadas minuciosamente con la ayuda de lentes microscópicas del estilo de Standhope¹⁶⁹. Al igual que ocurrió con la fotografía astronómica, sería la llegada de la placa de gelatina en seco al bromuro de plata lo que facilitaría el inicio de la etapa verdaderamente científica de la fotomicrografía.

Sin embargo, hay que tener presente que la fotografía también avanzó en el estudio de lo diminuto por sí sola, desarrollando técnicas propias que darían lugar a lo que conocemos en la actualidad por macrofotografía. El uso de lentes de distancias focales cortas, combinado con dispositivos de extensión como son los fuelles, permitieron fotografías de gran detalle y óptima resolución. Si en el caso de la astronomía hablábamos de magnitudes como medidas arbitrarias de la lejanía de las estrellas, en microscopía se habla de diámetros de aumento; así, la macrofotografía desarrollada hasta la segunda década del siglo pasado, conseguía hasta nueve unidades de aumento. Las limitaciones de la macrofotografía vinieron dadas principalmente por las características de las propias lentes y por los grados de apertura del diafragma. En objetos diminutos de gran relieve, o con distintos planos, la reducción del diafragma no aseguraba una profundidad de foco acorde a los intereses

científicos. También era obligado buscar una línea de compromiso entre los problemas de difracción que podían ocasionar las aperturas muy reducidas y los límites de la resolución de las imágenes, debido a las características particulares de las emulsiones y de las propias lentes, que se veían favorecidos por aperturas mayores. La resolución de las imágenes -la capacidad de reproducción de detalles que tienen los instrumentos ópticos incluidas las cámaras fotográficas- queda mejorada por un mayor contraste de las imágenes. Los objetivos microscópicos suelen sacrificar la profundidad de foco en favor de una mayor resolución.

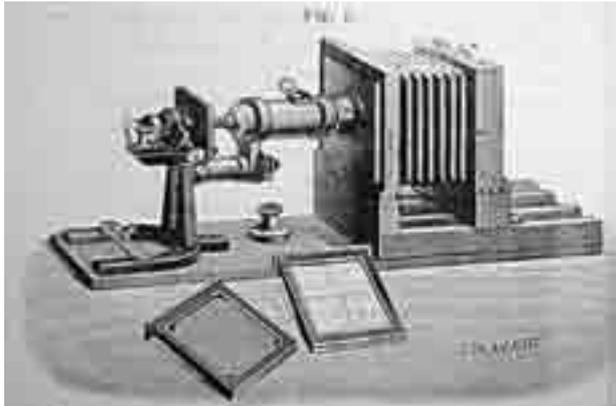


Fig. 89. Microscopio aplicado a la cámara oscura. M. Dimange. 1886.

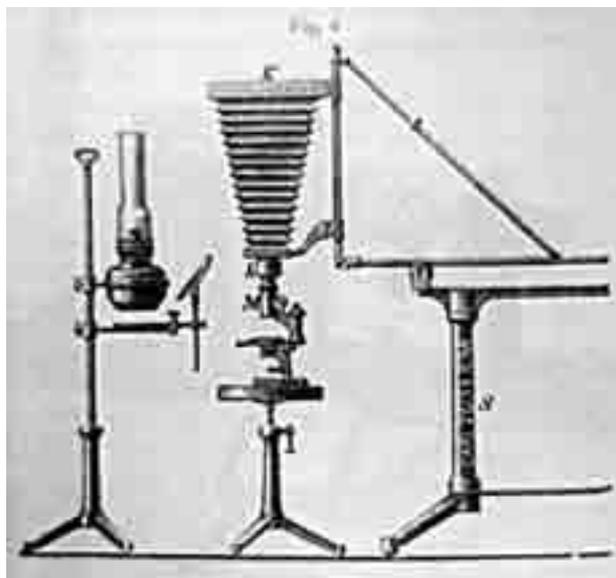


Fig. 90. Dispositivo de iluminación para fotomicrografía. R. Koehler. 1892

Pronto se comprendió que las limitaciones de la observación del mundo microscópico no sólo venían dadas por las características de los aparatos y de las emulsiones, sino también por las de la luz. De hecho, la instrumentación experimental para el estudio de lo diminuto iba a quedar definida de una vez por todas, coincidiendo con la llegada de las placas de bromuro de plata, por tres equipos básicos: la cámara fotográfica, el microscopio y los equipos de iluminación (Fig. 89 y 90). Estas tres unidades conformarían lo que se denomina banco óptico de fotomicrografía. A partir del establecimiento de este montaje experimental básico, la fotomicrografía iría avanzando en consonancia con el perfeccionamiento de cada uno de estos tres elementos; así, con el tiempo las cámaras incorporaron visores y pantallas de enfoque, así como respaldos y portaplacas que permitían un trabajo más cómodo y seguro, evitando movimientos bruscos o pérdidas continuas de foco, y favoreciendo las labores tan meticulosas y exigentes que precisan este tipo de trabajos (Fig. 91). Además, el conjunto

de la instrumentación podía colocarse de forma horizontal o vertical, dependiendo del objeto de estudio. Por otro lado, las técnicas de iluminación recorrieron toda la gama posible, de acuerdo a los avances del momento, desde la luz natural, hasta las nuevas lámparas incandescentes, de filamento, de arco eléctrico (Fig. 92), de vapor de mercurio, pasando por las de gas, las de queroseno, acetileno, oxígeno-hidrógeno, etc., lo que

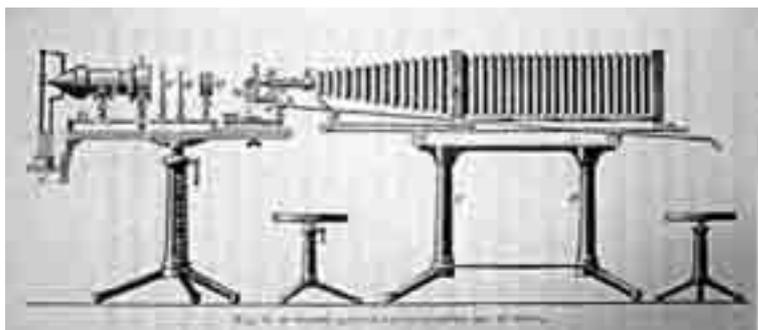


Fig. 91. Dispositivo para fotomicrografía. Carl Zeiss. 1892.

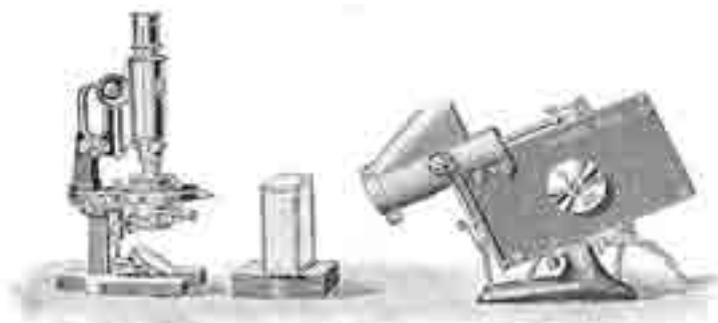


Fig. 92. Ultramicroscopio cardioide con lámpara de arco, regulable a mano. h. 1920. Carl Zeiss.

permitió, a medida que se refinaban los procedimientos, conseguir luces de determinadas longitudes de onda y adecuadas a las materias específicas de estudio. En cuanto a los microscopios, también fueron perfeccionándose, con la incorporación de lentes acromáticas, primero y apocromáticas, después, lo que permitió un mayor control de la calidad de la luz, mayores aumentos y una mejor resolución. Aparte, también fueron decisivos en estas técnicas la preparación de los especímenes mediante la aplicación de fondos oscuros, uso de tintes de

contraste, preparados químicos para su conservación, dispositivos para su sujeción, etc.

Las aplicaciones de la fotomicrografía fueron muy diversas, desde las ya referidas en histología, bacteriología y en el estudio de las estructuras de las plantas, de los fósiles, de los tejidos animales, etc., (Fig. 93, 94 y 95) hasta los primeros ensayos en el mundo de la industria, con la determinación de los compuestos de los cristales o de las aleaciones de metales, lo que condujo al estudio de la cohesión molecular de los materiales, y a la creación de la Micrometalografía (Fig. 96). La importancia de esta técnica, consistente en el análisis microscópico de materiales sometidos a continuas pruebas de calentamiento y enfriamiento y en los que se determinaba su grado de ductibilidad, se hizo patente, sobre todo, en la fabricación de nuevas máquinas o de estructuras metálicas destinadas a las obras de ingeniería o arquitectónicas. Este mismo tipo de análisis de las aleaciones de metales abriría



Fig. 93. Piojo fotomicroografiado con microscopio solar. Auguste Bertsch 1853.



Fig. 94. Glóbulos fermentados de levadura de cerveza. 400x. (Izq.) L. Foucault y A. Donné. 1845. (Dcha.) J. Bernard y L. Foucault. 1844.



Fig. 95. Corte microscópico del cerebro de la larva de una mosca. (400 aumentos). A. Quinsac. 1886.

nuevas puertas también a la investigación arqueológica; desde entonces podían ser determinados no sólo los componentes presentes en cualquier objeto metálico procedente de cualquier época, sino también el procedimiento mecánico o térmico con el que había sido construido. También las ciencias biológicas se beneficiarían de esta tecnología; estudios como los de Stéphane Leduc sobre los mecanismos de la vida pusieron

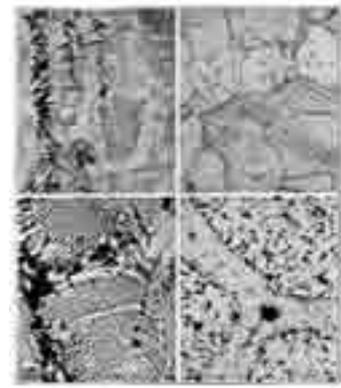


Fig. 96. Distintos metales y aleaciones vistos al microscopio. Monipenny. J. H. h. 1920.

de manifiesto las semejanzas que había entre las imágenes que se formaban en torno al funcionamiento de las células y aquellas otras provenientes del electromagnetismo.

"«En torno a estos polos de difusión, los fenómenos dinámicos y cinéticos son iguales a los que se producen en el éter alrededor de los polos eléctricos o magnéticos; los controlan las mismas leyes mecánicas, y una molécula se desplaza en el líquido exactamente igual que un ion en un campo eléctrico». Las fotografías facilitadas por el Prof. Leduc, muestran que, por ejemplo, una gota de agua teñida, se difunde en una solución salina a lo largo de líneas que se corresponden exactamente con la descarga desde un punto eléctrico o con las líneas de fuerza desde el polo de un magneto. «Es la representación gráfica de un centro de fuerza, tal como fue demostrado por Faraday»".¹⁷⁰

Mediante este mismo procedimiento fotomicrográfico se pudieron estudiar los procesos de síntesis celular, la carioquinesis o división celular, la multiplicación de células, la nutrición y el desarrollo.

A principios de siglo, los perfeccionamientos de estas técnicas no tardaron en aparecer; y si mucho se había conseguido a través de la denominada visión microscópica, pronto se comenzó a hablar de la visión ultra microscópica. Las lentes seguían su camino de perfeccionamiento, pero de forma pausada, por lo que no se podía esperar de ellas nuevas conquistas; lo mismo ocurría con las emulsiones, en las que, si bien se habían conseguido fabricar con granos más pequeños y sensibles, el progreso se había ralentizado y no se atisbaban grandes avances por esta vía. La resolución de las imágenes que ofrecía el microscopio estaba en función de la apertura de los objetivos, y también en este sentido las puertas parecían cerradas. Las máximas aperturas que se habían conseguido por aquellos años eran del orden de 1,40, lo que significaba que líneas por encima de 120.000 por pulgada estaban más allá del límite de resolución. Tan sólo los objetos aislados, o las áreas

iluminadas y separadas por una línea negra podrían superar estos límites. Por ello se comprendió que el único frente que podría presentar más posibilidades de visión de lo microscópico vendría dado por la luz.

Hasta entonces, la técnica de iluminación más utilizada se basaba en la proyección de la luz en diferentes ángulos con respecto al eje de la lente - normalmente en 45°, o en dirigir una luz puntual hacia el objeto de estudio con la ayuda de un condensador. El siguiente paso sería conseguir la emisión de un rayo muy fino por medio de un orificio, siguiendo el esquema de construcción de los espectroscopios; de esta forma se podría controlar la intensidad y la amplitud del rayo regulando la apertura de dicha ranura y poder así iluminar exclusivamente el objeto de estudio, evitando que los cuerpos de su entorno pudieran interferir en la imagen formada. Además, con estas nuevas técnicas de iluminación se podrían observar los objetos sin necesidad de ser teñidos, lo que iba a permitir, a su vez, que pudieran ser estudiados en su estado natural.

"Toda la cuestión gira realmente en torno a la necesidad de tener, en primer lugar, una fuente de luz suficientemente potente, que permita que la incidencia de ésta sólo afecte a las partículas iluminadas en el campo de visión. En muchos de las instalaciones de iluminación microscópica descritas no se han combinado estas dos condiciones; sólo recientemente se ha comprendido que no se pueden obtener los resultados buscados sin la una y sin la otra".¹⁷¹

La resolución de las imágenes se convertía entonces en el nudo gordiano que había que deshacer, puesto que el aumento del tamaño de los objetos no servía de mucho a los científicos, si no iba acompañado de una mejor resolución o delineación de su estructura microscópica, pudiendo incluso inducirles a errores de interpretación. Y si la mejora de la resolución sólo podía conseguirse aumentando la apertura de los objetivos, controlando la longitud de onda de la luz incidente en el objeto, la alternativa más plausible, una vez puesta en práctica la medida del estrechamiento del foco de luz, era, lógicamente, moviéndose fuera de las lindes del espectro visible. Si la misma luz azul o violeta suponía ya de por sí un avance en este sentido, ¿por qué no probar con la franja situada más allá de esos colores, es decir, la ultravioleta, a pesar de que en principio era una radiación invisible?. Una vez sorteado este obstáculo, con el uso de nuevos materiales en la construcción de las lentes, tales como el cuarzo y la fluorita, se abrieron infinitud de nuevas posibilidades de estudio en todos los campos de la ciencia. En los estudios biológicos, fue determinante el uso de la luz ultravioleta, ya que permitía observar la estructura oculta hasta entonces de muchos organismos, células y tejidos, con la ventaja de no tener que utilizar técnicas de tinte,



Fig. 97. Aparato fotomicrográfico para luz ultravioleta. Carl Zeiss. h. 1920.

fijación, secado o almidonado, que interferían decisivamente en el comportamiento de lo observado. (Fig. 97).

*"Los organismos o tejidos son simplemente montados en un líquido adecuado, tal como agua, una solución salina común, una solución de Ringer, etc., que son transparentes a la luz ultravioleta, con lo que la fotografía se puede hacer de forma inmediata. El resultado es una imagen que, si bien muestra más o menos lo que las preparaciones entintadas, es una representación del objeto en su estado natural, y con una resolución mayor que la que se obtiene en el microscopio por cualquier otro método".*¹⁷²

La fuente de luz era producida mediante una descarga de alta tensión al aire libre, entre dos electrodos metálicos, normalmente de cadmio o magnesio, lo que presentaba el inconveniente de que las líneas espectrales producidas no eran a veces todo lo brillantes y definidas que cabía desear. La imagen del destello provocado por una bobina de inducción se proyectaba a través de un prisma de cuarzo y era dirigida mediante un condensador a través del iris del diafragma hacia el objeto; con la ayuda de un visor, una pantalla fluorescente y una lupa de aumento, se podía enfocar el objeto. Una vez en foco se retiraban estos dispositivos de observación, y se instalaba en su lugar la cámara fotográfica. La diferencia entre las placas expuestas con la ayuda de la iluminación más convencional y común por entonces -consistente en la colocación de un fondo oscuro tras el objeto y la proyección difusa u oblicua de luz sobre el objeto- y las realizadas con este procedimiento fueron más que evidentes.

El camino de investigación abierto por esta técnica de iluminación mediante descargas eléctricas sobre los materiales de estudio, ya fueran células, átomos o metales, no presentaba límites. Mediante la fotomicroscopía, a modo de ejemplo, en 1924 se verificaron los resultados de la primera transmutación atómica del mercurio en oro, experimento realizado en Japón por los científicos Sugiura, Asada y Machida, logro que venía a confirmar la teoría sobre la composición del átomo establecida por Rutherford unos años antes. El bombardeo de los átomos de mercurio con un potente dispositivo de descarga eléctrica (Fig. 98), de forma continuada durante horas, logró el sueño de los alquimistas. Y la fotografía microscópica estaba allí para certificarlo.



Fig. 98. Aparato para descarga eléctrica destinado a conseguir la transmutación de mercurio en oro.. Sugiura, Asada y Machida. 1924.

"La ilustración adjunta (Fig. 99) muestra un punto de cristal de rubí fotografiado con luz directa y aumentado 150 veces. La parte central oscura contiene partículas de oro distribuidas como muestra



Fig. 99. Cristal de rubí fotografiado con luz directa, y aumentado 150 veces.. Sugiura, Asada y Machida. 1924.

la figura, y ha sido tomada con luz reflejada y aumentada 2.500 veces. Esta representa sólo una pequeña parte cercana al borde del punto central. El anillo blanco es verde azulado, y el otro, ligeramente sombreado, es rosáceo; estos colores son característicos de los coloides de oro".¹⁷³

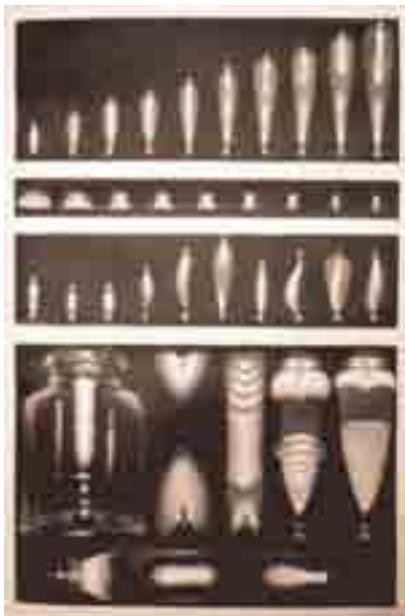
La fotomicrografía es una técnica de máxima actualidad en la ciencia y en la industria de nuestros días, siendo aplicada prácticamente en todas las ramas científicas y tecnológicas en las que es imprescindible el análisis de lo diminuto. Lógicamente, a partir de la pasada década ha sufrido una transformación, hoy día ya generalizada, ocasionada por el paso de la fotografía convencional

de película a la de los chips CCD. Los límites que presenta esta tecnología fotográfica de lo minúsculo siguen estando presentes en la nueva fotografía electrónica con los conocidos problemas de la resolución y el aumento de las imágenes, la reproducción del color, las distorsiones provenientes de la iluminación y de la óptica, etc.,. En realidad, si de lo que se trata en última instancia, es de observar un punto diminuto de materia, las limitaciones de la microscopía óptica no vienen determinadas por la construcción de los aparatos o de sus lentes, sino por la propia luz, ya que la longitud de onda de ésta debe ser siempre menor que el tamaño del objeto que queremos observar. Sin embargo, el viaje de la ciencia hacia la observación y el estudio de lo minúsculo e invisible no se detuvo en el logro conseguido por la utilización de la radiación ultravioleta; si el camino estaba abierto hacia esa franja del espectro, ¿por qué no avanzar en esa dirección para mejorar nuestra visión de lo existente?. Es lo que ocurrió, de nuevo de forma fortuita, a finales del s. XIX, cuando fue descubierta la que sería denominada la *Nueva Fotografía*.

6.3. La Nueva Fotografía: los rayos X

El dominio de las fuerzas de la electricidad estaba permitiendo a los científicos el conocimiento no sólo de los fenómenos intrínsecos a esta forma de energía sino de toda una serie de hechos relacionados con la estructura íntima de la luz y de la materia. La energía mecánica se transformaba en energía eléctrica mediante las dinamos, los magnetos y los alternadores. Y en el camino contrario, de lo eléctrico a lo mecánico, nos encontrábamos con los motores eléctricos. Cuando se hacía pasar la electricidad por el interior de un tubo de cristal donde residía un gas o donde se había efectuado el vacío, los científicos podían estudiar toda una serie de fenómenos extraordinarios en su interior. Así, mientras que los gases no son conductores eléctricos en condiciones de presión atmosférica, a medida que ésta disminuye sí empiezan a serlo. De esta forma, controlando el grado de vacío en el interior de los tubos -o lo que es lo mismo, su presión- y el material con el que estaban compuestos los electrodos, se pudieron constatar una serie de fenómenos que cambiarían el

curso de la historia científica, desde el descubrimiento de los electrones, a los rayos catódicos, o los rayos Röntgen, por no hablar del desarrollo de las válvulas termoiónicas, muy próximas a estas experiencias, origen de toda la tecnología de la electrónica y de las telecomunicaciones por radio.



Figs. 100. Descargas eléctricas producidas en tubos de vacío. Fenómenos de estratificación. De la Rue y Müller. 1879.

verde que permanece en las paredes del tubo, incluso una vez apagada la corriente, etc., fenómenos que fueron tomando con el tiempo los nombres de luz positiva, rayos canal, fluorescencia, fosforescencia y rayos catódicos (Fig. 100 y 101). Mediante el control de la acción de estos últimos se pudieron calentar todo tipo de objetos, incluso llevarlos a la incandescencia, y hasta se consiguieron fundir metales resistentes. Y el estudio del comportamiento de los rayos catódicos, de su composición, de su fuerza, de la manera en que se reflejan en las superficies pulimentadas, de las reacciones químicas que producen, de cómo son desviados por las fuerzas magnéticas, de su capacidad de impresionar placas fotográficas etc., contribuyó enormemente al estudio de la luz y al hallazgo del electrón.

Fue a partir del estudio de estos rayos que un buen día de noviembre de 1895, un entusiasta investigador, llamado Wilhelm Conrad Röntgen (1845- 1923) (Fig. 102), constató un hecho sorprendente: al colocar una pantalla de cartón delante de uno de estos tubos de vacío que emanaba en ese instante la característica luz verde de los rayos catódicos, un

Cuando se producen descargas controladas en el interior de tubos de vacío, el gas que hay en su interior se ioniza, o lo que es lo mismo, se vuelve conductor. Los iones positivos del gas se dirigen al electrodo negativo y viceversa, produciéndose una corriente entre los dos electrodos, que da lugar a una chispa que puede ser observada en el interior del tubo. Cuando la corriente se acentúa pasamos a constatar un arco eléctrico. Y si seguimos este proceso de aumento de las descargas mediante bobinas de inducción, transformadores o máquinas de influencia, controlando la presión de los gases en el interior de los tubos, comienzan a aparecer efectos luminosos cada vez más interesantes y vistosos. Luminiscencias violetas que se van transformando en tonos rojizos, zonas oscuras, conocidas como el espacio oscuro de Faraday, intercaladas con aureolas azuladas, hasta llegar a un resplandor



Fig. 101. Fenómenos eléctricos en tubos de Crookes. De la Rue y Müller. 1880.



Fig. 102. Grabado de Wilhelm Röntgen. E-N Santini, 1896.

resplandor enigmático surgió de la pantalla. El investigador, atraído por las investigaciones que se llevaban a cabo en aquella época con este tipo de radiaciones, había construido en su casa un montaje muy peculiar. En una habitación instaló una bobina de inducción que sería la fuente de la descarga eléctrica; desde allí, hacía pasar los cables eléctricos hasta otra habitación que mantenía a oscuras con cortinas negras, y en la que se encontraba la ampolla de cristal. Lo más llamativo de la habitación, sin embargo, era un gran cajón oscuro, revestido de zinc, en cuyo interior podían sentarse al menos dos personas, que quedaban encerrados herméticamente.

"El profesor explicó el secreto de la caja de zinc diciendo que la había construido para tener una cámara oscura portátil. Al comienzo de sus investigaciones utilizaba toda la habitación, según indican las pesadas cortinas negras que impiden el paso de la luz. Sobre un lado de la caja de zinc, y directamente frente al tubo, se encontraba un disco de aluminio forjado de un milímetro de espesor y dieciocho pulgadas de diámetro, que estaba soldado al zinc. Para experimentar con los rayos, el profesor sólo tenía que conectar la corriente y, después de haberse metido en el cajón, cerrando la puerta, estudiar en la oscuridad completa la luz o los efectos de la luz".¹⁷⁴

En el interior de esa extraña caja, que recordaba una cámara oscura o un laboratorio fotográfico, Röntgen observó con sus propios ojos cómo un cartón que tenía en su mano, bañado en platinocianuro de bario, se iluminaba por sí solo sin necesidad de que le diera la luz. Algún rayo misterioso e invisible había surgido del tubo de vacío, y cruzando a través del papel negro en el que estaba envuelto, iluminaba por sorpresa la lámina. El efecto no

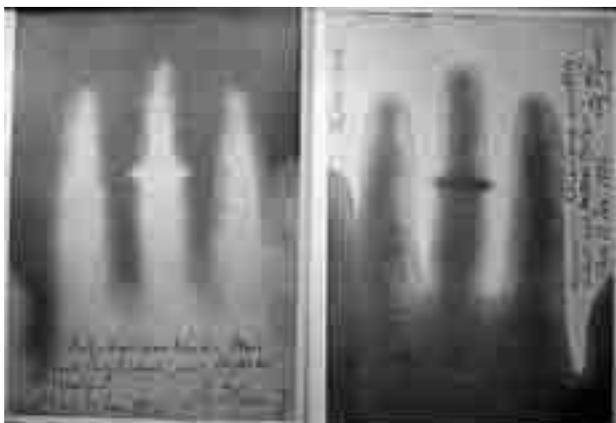


Fig. 103. Positivo y negativo de Rayos X. E-N Santini, 1896.

terminaba ahí, pues comprobó cómo se iluminaban también las paredes de la propia caja de zinc y cualquier otro objeto que colocara delante, ya fuera una placa de metal o un libro grueso. Lo más curioso de todo fue que los objetos quedaban iluminados por esa extraña luminiscencia, independientemente de dónde estuvieran colocados, u ocultos, porque los rayos no se dejaban ver, tan sólo sus efectos. Todo parecía indicar que los rayos catódicos, al chocar contra las paredes del interior de la ampolla,

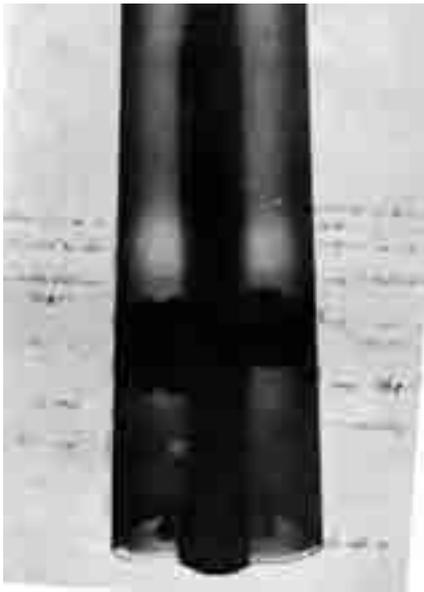


Fig. 104. Una de las primeras radiografías hechas por Röntgen. Cañón de escopeta. h. 1896.

además de desprender su fosforescencia verde característica, e irradiar calor, también desprendían un nuevo tipo de radiación. La mejor manera de comprobarlo, pensó Röntgen, sería recoger su efecto en placas fotográficas. Y ahí se produjo el milagro, porque un mundo nuevo, hasta entonces invisible, se hizo realidad; por primera vez se podía ver a través de los objetos, y en el interior de ellos, incluido el cuerpo humano. La realidad invisible quedaba atrapada (Fig. 103 y 104).

"El profesor se fue hacia una estantería emplazada cerca de la ventana donde estaba colocada una hilera de placas de vidrio preparadas, envueltas en papel negro. Colocó un tubo de Crookes bajo la mesa a fin de que estuviera a una distancia de sólo unas pulgadas bajo el costado de la mesa. Puso su mano extendida sobre la mesa y una placa sobre la mano".¹⁷⁵

Y de allí surgió una de las primeras radiografías de la historia, que en aquel entonces recibieron el nombre de *Nueva Fotografía* (Fig. 105). Este encuentro fortuito con este nuevo fenómeno de la naturaleza surgió del sentido experimental y de la curiosidad de este científico, quien se pasaba el día exponiendo todo tipo de materiales a aquella extraña radiación, encerrado en aquella caja, guiado por ese espíritu artesanal y pragmático que define al científico intuitivo. Al mes siguiente, el 28 de diciembre, la noticia se hizo oficial en la Sociedad Físico-Médica de Wurzburg, y desde allí saltó a las principales revistas científicas del mundo.



Fig. 105. Anuncio de los rayos X. 1896. Nature, 21 de mayo de 1896.

"El Prof. W. C. Röntgen, profesor de física de la Universidad de Wurzburg, ha informado de que ha descubierto que una serie de sustancias opacas a los rayos de luz visible son transparentes a ciertas ondas capaces de afectar a una placa fotográfica. Se afirma que ha sido capaz de utilizar su descubrimiento para fotografiar metales encerrados en cajas de madera o en cubiertas de lana, y que ha podido fotografiar con éxito huesos de personas vivas; la explicación es que, mientras que la madera y la carne permiten ser

atravesados por los rayos actínicos recientemente descubiertos, los huesos son opacos a dichos rayos. Por lo que conocemos a través de sus informes, el Prof. Röntgen utiliza como fuente de luz un tubo de vacío del tipo Crookes, excitado eléctricamente. Si se sitúa éste en un lado de una caja que contenga un cuerpo metálico, o si se introduce una mano en ella, y se coloca una placa fotográfica en el otro lado, se obtiene una imagen del metal o de los huesos de la mano, según sea el caso. La comunidad científica espera con interés la publicación de los detalles del trabajo del Prof. Röntgen".¹⁷⁶

Pocas noticias científicas han tenido el impacto que provocó el descubrimiento de los rayos X, no sólo en el seno de la comunidad científica sino en el conjunto de la sociedad. *La Nueva Fotografía* dejó atónito al público con la rápida proliferación de impresiones que mostraban mundos hasta entonces invisibles, como los huesos humanos, objetos encerrados en cofres, el interior de moluscos, proyectiles alojados en el interior de algún cuerpo, esqueletos de ranas, etc. (Figs. 106 y 107); hasta el emperador Guillermo II llamó al insigne científico para que le hiciera una demostración en privado de la nueva hazaña. El tímido

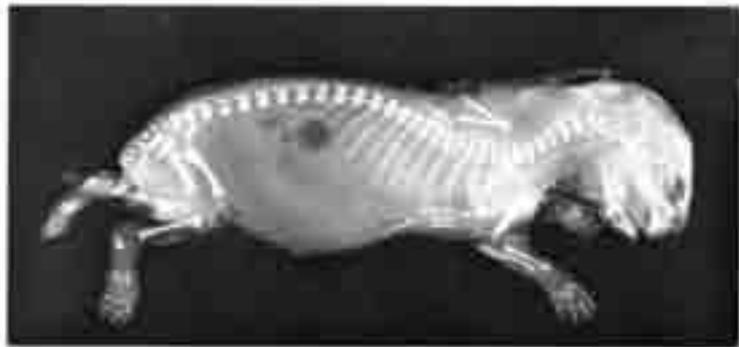


Fig. 106. Conejo recién nacido.. Josef Maria Eder y Eduard Valenta. h. 1896.

investigador se vio tan abrumado por el revuelo que ocasionó su hallazgo que incluso rechazó el título de *von* y el Mérito de la Corona de Baviera, lo que dejó traslucir una vez más su personalidad sencilla y su reticencia a convertirse en un personaje público, acordes con su estilo de trabajo concentrado y su vehemente creencia en el método experimental de la ciencia. Röntgen nunca quiso aventurarse a sacar conclusiones más allá de lo que le revelaban sus observaciones, permaneciendo el resto de sus días investigando con discreción y alejado de la fama que le procuró su invento.

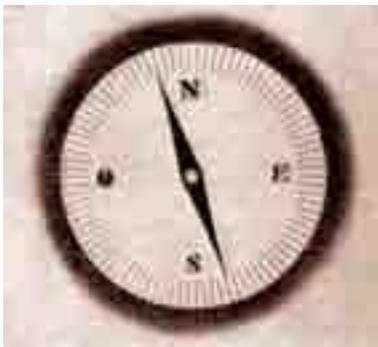


Fig. 107. Cuadrante de una brújula fotografiada a través de la caja que la contiene. (Radiografía enviada por Röntgen a Henri Poincaré). h. 1895.

"No soy profeta y no me gustan las profecías. Continúo mis investigaciones y cuando obtenga resultados, los publicaré".¹⁷⁷

En menos de un mes, científicos de todo el mundo se volcaron en obtener fotografías con los enigmáticos rayos y a estudiar su comportamiento. A un mismo tiempo, Röntgen, con cincuenta años de edad, decidió retirarse de la vida pública ante la avalancha de críticas malsanas y de

todo tipo de habladurías sobre la originalidad y autoría de su invento. Que un descubrimiento tan importante y sonado se adjudicara a una sola persona fue algo difícilmente tolerado o asimilado por una sociedad ávida de protagonismos e inmersa en la lucha por la adquisición de patentes. El hecho de que él mismo bautizara la nueva radiación con la letra X, dada su naturaleza enigmática y *por motivos de brevedad*¹⁷⁸, y no con su propio nombre, como era costumbre entre los científicos de la época, fue una prueba más de la integridad y modestia de este hombre. Los efectos, constatados por Hertz, de la acción que ejercían los rayos catódicos sobre placas de metal -que dieron lugar a la formulación del famoso *efecto fotoeléctrico*- o las impresiones fotográficas conseguidas con anterioridad por Lenard a partir de estas mismas radiaciones, supusieron en un principio motivos de disputas en torno a la originalidad de estos rayos, discusión que quedó saldada al poco tiempo al constatar la naturaleza singular de este nuevo tipo de radiación.

Fue el propio Röntgen el primero en emprender el análisis de los nuevos rayos, comparándolos en muchas ocasiones con los catódicos. Interpuso barreras para comprobar su fuerza de penetración, estudió la reacción de los ojos ante su emisión, y también si eran susceptibles de refracción, polarización o reflexión, o si se podían concentrar con la acción de las lentes, e intuyó su importancia cuando quiso estudiar su efecto en las estructuras geométricas de las moléculas de algunos cristales (Fig. 108 y 109). Y, por supuesto, estudió su acción en las placas fotográficas, que fue lo que ocasionó su mayor impacto social.

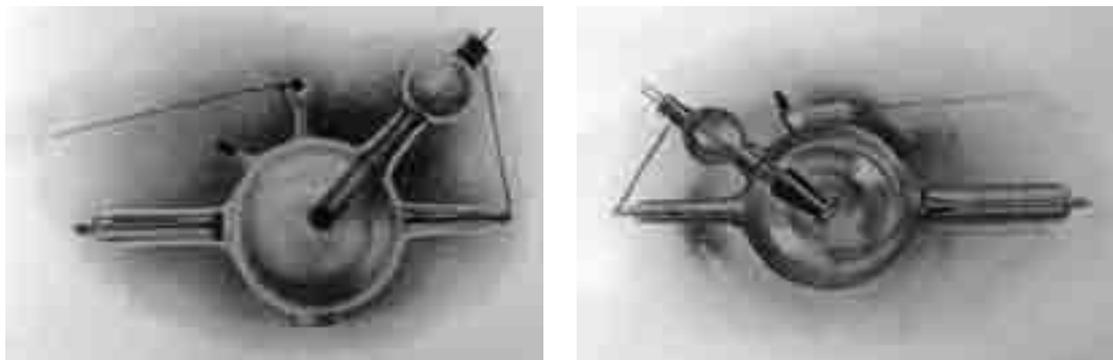


Fig. 108 y 109. Tubos de vacío para rayos X. Erich Marx. 1913.

"He observado y fotografiado muchas de esas imágenes sombreadas. También tengo el contorno de parte de una puerta pintada con pintura de plomo; la imagen se produjo colocando el tubo de descarga de un lado de la puerta y la placa fotográfica del otro. Tengo asimismo una sombra de los huesos de la mano, de un alambre enrollado en una bobina, de un juego de pesas en una caja, una aguja y una carta de brújula completamente encerradas en una caja metálica, de una pieza de metal donde los rayos X muestran su falta de homogeneidad y otros detalles".¹⁷⁹

La nueva radiación constatada por la fotografía pronto iba a revolucionar todos los campos de la ciencia, tanto teórica como aplicada; ni que decir tiene que desde un primer momento todos intuyeron el valor tan determinante que iba a desempeñar en su aplicación en la medicina y, también, en el estudio de la luz y de la estructura atómica de la materia. Al año siguiente de su descubrimiento, ya había científicos, como C.T.R. Wilson, a quien dedicaremos un próximo capítulo, que estudiaban su acción desintegradora de las moléculas, lo que iba a posibilitar el estudio de sus estructuras, y a un mismo tiempo, iniciar con estas pesquisas las investigaciones que terminarían en la construcción de las cámaras de expansión, donde la fotografía desempeñaría un papel decisivo.

Fue tanto el entusiasmo con el que la comunidad científica emprendió el estudio de los rayos X, que muchos se olvidaron de tomar las debidas precauciones ante su fuerza descomunal, que solía pasar desapercibida. Los testimonios de algunos que nunca llegaron a pensar que estos rayos pudieran ir más allá de imprimir placas fotográficas, o de ser un mero divertimento, recuerdan las palabras del doctor Jekyll y de todos aquellos que depositaron una fe ciega en los progresos provenientes de la ciencia.

"Mientras tanto, no obstante, la piel de los dedos se ha tornado muy seca y dura, amarilla como el pergamino, y bastante insensible al tacto, por lo que no me sorprendí cuando pasados un día o dos empezaron a pelarse..."

"Perdí la piel de mi mano derecha por tercera vez, y parece ser que con toda probabilidad no será la última. Algunos médicos han visto mis manos, prestando mucho interés a su estado, pero ninguno me ha ofrecido un remedio".¹⁸⁰

Los avances en la tecnología de rayos X y los frutos obtenidos a partir de su aplicación no se hicieron esperar. En el terreno de la física experimental pronto se confirmó que cada elemento disponía de una radiación Röntgen característica, lo que posibilitaba la identificación de los elementos químicos a partir de la espectrografía de estos rayos; de esta forma se pudieron detectar nuevos elementos de la Tabla Periódica, aún desconocidos hasta entonces. Así también, el estudio de los fenómenos de emisión, dispersión o absorción que produce esta radiación posibilitaron el conocimiento de la estructura electrónica del átomo y de la propia naturaleza de los rayos. Niels Bohr, en 1913, anunció que sería factible conocer la carga del núcleo atómico de los elementos a partir de las diferentes longitudes de onda de los rayos X emitidos. Sería H. G. J Moseley quien hiciera medidas exhaustivas de numerosos elementos situados en la mitad de la Tabla, calculando con precisión sus cargas y sus masas. Esta sería la confirmación del modelo atómico de Bohr que imaginaba tantos electrones en órbita alrededor del núcleo como valor tenía su carga.

En el campo de la ciencia aplicada es de sobra conocida su utilización en radioterapia y su empleo en el diagnóstico médico, bien sea por medio de la radioscopia, que permite ver en vivo las diferentes partes internas del cuerpo, o de la radiografía, que todos conocemos.

En este contexto también se ha hecho uso de la radiografía estereoscópica para lograr una visión tridimensional de los objetos, y en contadas ocasiones se experimentó también con el cinematógrafo de rayos X, o radiocinematografía, aunque en ambos casos su utilización no tuvo la trascendencia esperada. En el terreno industrial es también conocida su aplicación en el análisis de los materiales, para la detección de irregularidades, fisuras, soldaduras imperfectas, etc., técnica que tanta ayuda ha prestado a todas las ramas de la ingeniería y de la arquitectura. Por lo demás, la fotografía de la realidad invisible por medio de los rayos X ha encontrado aplicaciones de lo más variopintas, desde la comprobación de la autenticidad de los diamantes, joyas y obras maestras, hasta el estudio del interior de los sarcófagos para constatar la existencia o no de tesoros o momias.

6.4. La difracción de los rayos X

Mención aparte debe hacerse de una de las técnicas fotográficas que, a partir de los rayos X, tendría una trascendencia enorme en la ciencia de todo el s. XX, la fotografía del efecto de difracción que esta radiación ofrece, ya sea en las moléculas de los cristales o en las

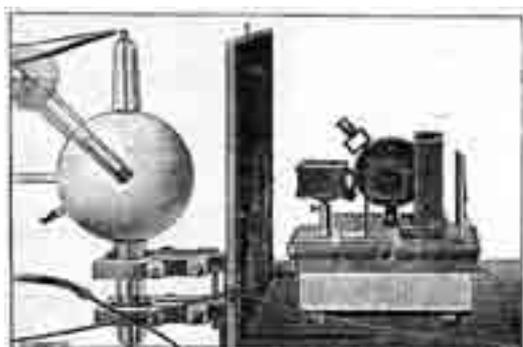


Fig. 110. Montaje de Friedrich y Laue para fotografiar el paso de rayos X a través de los cristales. 1913.

pertenecientes a las células de los seres vivos. En 1912, Max von Laue ideó un montaje experimental que le permitió constatar, por medio de la fotografía, el fenómeno de la difracción de los rayos X cuando éstos eran proyectados sobre moléculas de cristales. Este descubrimiento dio un nuevo impulso a las tesis del comportamiento ondulatorio de la luz, al confirmarse que en la propagación de estos rayos se producía un efecto de interferencia. El montaje consistió en la creación de una finísima radiación Röntgen a partir de un tubo de vacío (Fig. 110), haciéndola pasar por un pequeño

orificio en una placa de plomo. Mediante el control de esta ranura se dirigía la radiación de forma directa contra una pequeña pieza de cristal de zinc-blenda, de un centímetro cuadrado y de 0,5 mm de espesor y, una vez que el rayo traspasaba dicho cristal, acababa siendo recibido en una placa fotográfica.

La fotografía, una vez revelada, mostró una mancha central oscura y difuminada, y una serie de puntos negros repartidos de forma geométrica (Fig. 111). Se tomaron otras fotografías a distintas distancias, y de toda esa información, se dedujo que la posición de los puntos negros no obedecía a una distribución arbitraria sino que respondía a una estructura bien definida, presente en el interior de lo más ínfimo del cristal bombardeado. No había duda, pues, de que el carácter de los rayos desviados por el cristal era el de

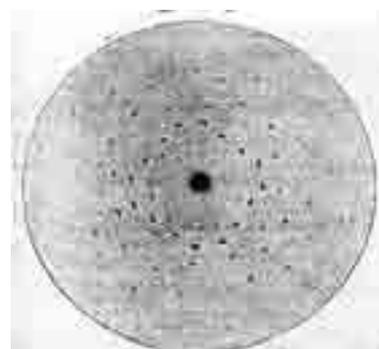


Fig. 111. Efecto fotográfico del paso de rayos X a través de la zinc blenda. M von Laue. 1912.

los propios rayos X emitidos, que habían sido cambiados de ruta por los planos situados en diferentes posiciones angulares en el interior del cristal, es decir, por los planos que configuraban la estructura atómica del cristal¹⁸¹. El análisis pormenorizado de los puntos negros que aparecían en las fotografías se asemejó al trabajo detectivesco que a partir de ir uniendo detalles ínfimos y aparentemente anodinos, descubre la razón de ser de un misterio.

*"En otras palabras, lo que revelan las fotografías no es la disposición estereográfica de los átomos elementales, sino el entramado de base al que se llega tomando los átomos de un mismo elemento químico situados de forma similar (o idéntica) a lo largo de toda la estructura".*¹⁸²

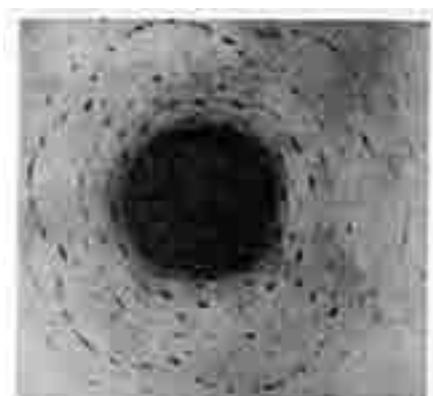


Fig. 112. Difracción de los rayos X por un cristal de berilo. W. H y W. L. Bragg. h. 1920.

La aparente naturaleza ondulatoria de esta radiación quedó mejor explicada posteriormente por W. L. Bragg, quien especificó que la longitud de onda de los rayos X era tan pequeña que en realidad les hacía comportarse como partículas, ya que la amplitud de las ondas era en realidad menor que el tamaño del átomo en el que se producía la reflexión. La disposición regular de las moléculas de los cristales actúa como una rejilla de difracción ante estos rayos (Fig. 112). Consecuentemente, a partir de este descubrimiento, no se hizo esperar un trabajo de catalogación exhaustiva de las sustancias a partir de su estructura cristalográfica, puesto que era fácil determinar la composición química de las sustancias a partir de los elementos geométricos presentes y observados en ella.

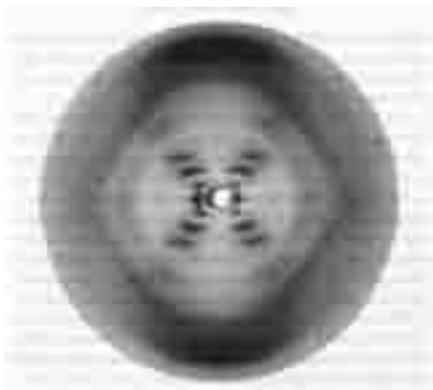


Fig. 113. Fotografía de difracción de rayos X de la estructura B del ADN. Fotografía 51 de acuerdo con la denominación de su autora: Rosalind Franklin. 1953.

*"El sistema de clasificación adoptado en este catálogo está basado en los valores de cinco ángulos fundamentales que, en general, caracterizan a los cristales de cualquier sustancia dada".*¹⁸³

El aparato ideado por Laue estaba encerrado en una caja para evitar la acción de la luz exterior; los puntos oscuros en las placas, reflejo del entramado atómico del cristal, se conseguían con tiempos de exposición desde una a veinte horas, ya que las emulsiones fotográficas eran poco sensibles a la acción de los rayos X. Una vez más las técnicas de observación basadas en la fotografía

confirmaban intuiciones teóricas que se venían postulando desde hacía años; en realidad se trataba de la primera vez que la teoría atómica de Dalton, formulada a principios del s. XIX, se hacía visible¹⁸⁴. Algo parecido ocurrió en 1952, cuando las fotografías tomadas por Rosalind Franklin, mediante este mismo método de la difracción de los rayos X,

confirmaron la estructura molecular, en forma helicoidal, del ADN, hecho que abriría una nueva puerta de transcendencia infinita a la ciencia y a la sociedad que hoy nos envuelven (Fig. 113).

6.5. Los rayos positivos y el espectrógrafo de masas.

Con un dispositivo experimental muy parecido al ideado por Laue, J. J. Thomson (1856-1940), desarrolló estudios muy importantes sobre los rayos positivos, aquellos que se producen también en el interior de los tubos de vacío y que como su propio nombre indica están cargados de electricidad de ese signo. La peculiaridad de este experimento fue situar en el camino del rayo, antes de llegar a la placa fotográfica, dos placas conectadas a unas baterías para poder emitir un campo magnético; así la radiación producida por el tubo era primero reducida mediante un pequeño orificio y luego obligada a pasar entre estas chapas que eran las encargadas de controlar que las partículas emitidas fueran de igual masas e idénticas velocidades. Los trazos producidos en las fotografías en forma de conos, eran la prueba de la identidad de las partículas en el interior del tubo, porque dos partículas no seguirían el mismo trazado al menos que fueran distintas. Así, era relativamente fácil determinar qué composición tenía el gas encerrado en el tubo (Fig. 114).

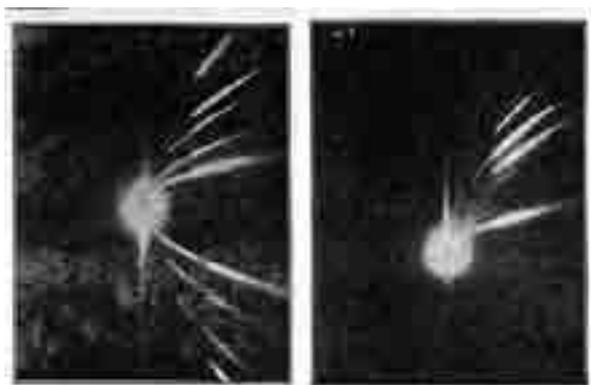


Fig. 114. Rayos positivos.. J. J Thomson. 1913.

Cuando estas partículas eléctricas en movimiento chocan contra una placa fotográfica dejan una impresión en la misma, con lo que se puede tener constancia de donde han chocado. Por tanto, cuando se coloca una placa en la trayectoria de un rayo de partículas a lo largo de estos conos, la sección de estos conos en las placas (parábolas) se graban en la fotografía, con lo que podemos identificar estos conos por medio de las curvas parabólicas impresionadas en las placas, y estas parábolas a su vez nos dirán qué gases hay en el tubo".¹⁸⁵

Con una simple fotografía, "a simple vista", se podían detectar los gases que emplazáramos en el interior del tubo de vacío. Además, a partir de los trazos, se podían estudiar los fenómenos de colisión entre partículas, y de éstas con los átomos, o determinar el descubrimiento de nuevas sustancias. Tanto estas impresiones como las procedentes de la radiografía, en realidad, son sombras de los cuerpos expuestos a la radiación, o a la luz. A finales del s. XIX volvíamos a encontrarnos con la sombra, madre del conocimiento, que comenzó sus andaduras en la noche de los tiempos. Si Thales de Mileto fue el primero en descifrar los primeros significados de esa sombra proyectada por los objetos, ahora su labor

continuaba con las investigaciones de aquellos científicos dedicados de pleno a la fotografía; porque, en realidad, se trataba de verdaderos sabios fotógrafos, no sólo por el tiempo invertido en la oscuridad de los laboratorios, sino también por ese prurito insaciable por captar en una placa los secretos de la naturaleza.

Ese fue también el caso de otro de los grandes descubrimientos realizados en la ciencia de principios de siglo: el espectrógrafo de masas. Fue construido en 1919 por un ayudante de J. J. Thomson, Francis Aston (1877- 1945), en el mismo laboratorio que con el tiempo acapararía fama mundial: el laboratorio Cavendish de Cambridge. El mérito de Aston consistió en un refinamiento del método fotográfico empleado por Thomson en el estudio de los rayos positivos, que le permitió determinar de forma muy precisa gran cantidad de isótopos, a la vez que inventar unos de los instrumentos de mayor trascendencia en la ciencia del futuro. Aston colocó una placa fotográfica al final de la trayectoria de los rayos, una vez que habían cruzado el tubo lleno con un determinado gas. Así registró una serie de marcas y puntos oscuros a lo largo de las fotografías que se correspondían con los diferentes pesos atómicos de los iones presentes en el gas. Esto fue una prueba fehaciente de algo que se intuía desde hacía tiempo, y que facilitaba la interpretación del peso atómico de los elementos como una media de los pesos de los átomos de un mismo elemento presente en la muestra. Las fotografías de Aston verificaron esta presunción, los diferentes puntos de sombra, unos más grandes que otros, emplazados en hileras sobre las placas fotográficas eran una prueba de que verdaderamente existían átomos de un mismo elemento con diferentes pesos atómicos pero de iguales cargas, llamados isótopos. A partir de entonces, los elementos y sus posiciones en la Tabla Periódica vendrían dados por su carga y no por su masa o peso atómico como venía ocurriendo hasta entonces. En un principio, los isótopos fueron detectados mayormente en las sustancias radiactivas, pero con el tiempo, y gracias a los nuevos espectrógrafos de masas, se fueron detectando en el resto de los elementos. Que duda cabe que este nuevo invento supuso un gran avance para la ciencia venidera, especialmente para determinar la estructura del átomo, sus partículas elementales y para hacer aflorar las energías secretas escondidas en su interior.

Al fin y al cabo, tanto la ciencia como el arte persiguen desvelar las estructuras secretas del mundo, pretendiendo hacer visible lo oculto; una con el afán de comprender sin tregua los secretos de la naturaleza, otra con el deseo de hacer sentir el tiempo que vivimos; qué duda cabe que tanto una forma como otra aportan su grano de arena en la construcción de la representación del mundo que se forja la humanidad en un determinado momento histórico; ahí descansa la belleza de las obras, tanto científicas como artísticas. La fotografía ha unificado en sí misma ambas visiones, siendo, a un mismo tiempo un instrumento científico y una herramienta al servicio del arte, y dejando además esa frontera un tanto difuminada, pues hay representaciones científicas que adquieren sin buscarlo un valor estético y existen fotografías cuyo arte se sustenta -sin sus autores saberlo- en los principios científicos ineludibles de este medio. Una y otra tendencia dependen de lo que la naturaleza se digna en desvelar, estando sus frutos sujetos a la búsqueda incansable y al azar. Otro importante científico, de los que pueden ser denominados *fotógrafo* con todas sus letras, fue Henri Becquerel, hijo del ya nombrado Edmund; también él, con la fortuna de su parte, hizo

un descubrimiento que cambiaría el curso no sólo de la ciencia, sino de la historia de la humanidad: la radiactividad. Y también la fotografía desempeñó un papel decisivo en el conocimiento de esta nueva fuente de energía.

6.6. La Radiactividad

Edmund Becquerel, el padre de Henri, ya vimos que fue un ferviente estudioso de la fotografía, siendo uno de los primeros investigadores que comenzó el estudio de las emulsiones fotográficas desde un punto de vista espectroscópico¹⁸⁶. Su empeño estuvo encaminado a dilucidar cómo los materiales fotosensibles, que se aplicarían luego a las placas o a los papeles, reaccionaban a los distintos tipos de luces. Edmund empezó en fechas tan tempranas como 1840 a estudiar la acción que los haces de distintos tonos o colores tenían en las emulsiones, llamando a unos *excitadores* (rayons excitateurs) y a otros *continuadores* (rayons continueurs)¹⁸⁷. Se establece de esta forma una distinción que será fundamental en el proceso fotográfico, consistente en la comprobación de que las emulsiones de la época presentaban una mayor sensibilidad a la luz del espectro más próxima al azul, y por consiguiente, menor a la franja emplazada en torno al rojo. Esta fue una de las razones por las que los estudios fotográficos de entonces solían emplazar clarabollas y ventanas de vidrios azules para potenciar la sensibilidad de las placas. Cada tipo de emulsión, por tanto, cubría una franja determinada del espectro; las primeras que se utilizaron lo hacían de una zona muy restringida, alrededor de los tonos más fríos; luego, las ortocromáticas se expandieron a lo largo de todo el espectro pero siendo insensibles al rojo y al naranja intenso; por último, las pancromáticas cubrían todo el espectro, incluso entrando un ápice en la zona no visible del ultravioleta. Para conseguir emulsiones capaces de registrar la mayor parte del espectro visible fueron determinantes las aportaciones de Hermann W. Vogel (1854- 1901). En 1873, este científico descubrió con la ayuda de un espectrógrafo lo que denominó “sensibilizadores ópticos”, hoy llamados sensibilizadores de color, que eran tintes que al añadirse a la amalgama de colodión seco o de gelatina al bromuro de plata hacían posible la captación de franjas del espectro hasta entonces vedadas a la técnica. Estos avances hicieron posible los primeros ensayos de fotografía en color en torno a la década de los setenta y condujeron a la fabricación de las emulsiones pancromáticas (1902). De hecho, esta posibilidad de reproducir gran parte del espectro con la ayuda de los tintes fue pronto utilizada para dar a conocer a la sociedad de entonces las pinturas depositadas en galerías y museos. En 1878, la afamada firma de reproducciones gráficas Gaston Braun vino al Museo del Prado a fotografiar con esta nueva técnica sus más afamadas obras¹⁸⁸.

Pero ¿qué ocurría más allá del espectro visible? Más allá del ultravioleta, las emulsiones fotográficas no suelen responder; para captar las radiaciones de más allá, la fotografía necesita, bien una óptica distinta, reducir la gelatina que aglutina las sales de plata, por ser éste el material que absorbe el ultravioleta, o tiempos de exposición muy prolongados, lo que presenta el inconveniente de que las imágenes conseguidas son muy imprecisas (Fig. 115). Los rayos X por su parte suelen utilizar películas de dos o más capas sensibles y están

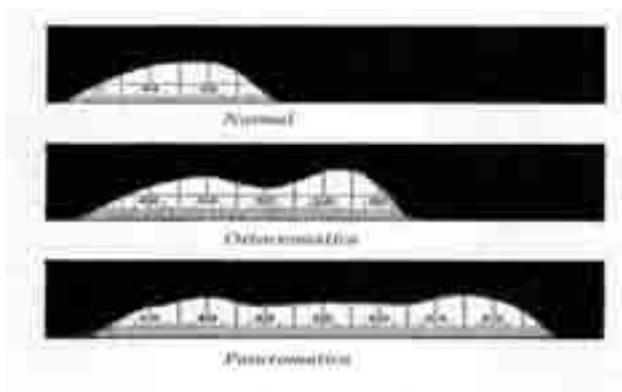


Fig. 115. Curvas de sensibilidad para placas. C. E. K. Mees. 1920.

especialmente fabricadas para esa franja del espectro. Entonces ¿qué habría más allá de las radiaciones Röntgen? ¿Existían otras luces o rayos pasada esta frontera, que la fotografía pudiera captar? Henri Becquerel, que heredó de su padre y de su abuelo la afición por la fotografía y por el estudio de las sustancias fosforescentes, encontró por casualidad la respuesta. Atento como estaba al nuevo descubrimiento hecho por Röntgen, pensó que las sales de uranio con las que trabajaba desde hacía años podrían tal vez producir un efecto parecido. Tras unas conversaciones muy inspiradoras con el sabio matemático Henri Poincaré¹⁸⁹, pensó que los efectos de fosforescencias producidos por los tubos que empleó Röntgen quizás pudieran ser producidos también por las sales de uranio, con lo que podría encontrar una nueva fuente de creación de rayos X. Con esta idea un tanto equivocada de las cosas, comenzó a exponer al sol láminas bañadas en sales de uranio, que luego envolvía en papel negro y colocaba en un cajón hermético junto a placas fotográficas, esperando que se produjera algún efecto. Efectivamente, un día comprobó cómo las formas de las láminas portadoras del uranio habían quedado impresas en las placas, hecho que comunicó a la Academia de las Ciencias un 24 de febrero de 1896.

"Con el sulfato doble de uranio y de potasio, del cual poseo cristales formando una lámina delgada y transparente, he podido hacer la siguiente experiencia:

Se vuelve una placa fotográfica Lumière al gelatino bromuro, en dos hojas de papel negro muy espesas, tal que la placa no se vea por una exposición al Sol durante un día.

Se coloca sobre la hoja del papel, exteriormente, una placa de la sustancia fosforescente y se expone todo al sol durante varias horas. Cuando se revela luego la placa fotográfica, se reconoce que la silueta de la sustancia fosforescente aparece en negro sobre el cliché. Si se interpone entre la sustancia fosforescente y el papel, una moneda o una pantalla metálica con un dibujo calado en ella, se ve la imagen de estos objetos aparecer sobre el cliché.

Se puede repetir las mismas experiencias, interponiendo entre la sustancia fosforescente y el papel una delgada lámina de vidrio, lo que excluye la posibilidad de una acción química debida a los vapores que podrían emanar de la sustancia calentada por los rayos solares.

Debe concluirse de estas experiencias, que la sustancia fosforescente en cuestión emite radiaciones que atraviesan el papel opaco a la luz y reducen las sales de plata."¹⁹¹

Sin embargo, el azar quiso nuevamente, tal como ocurrió en su día con Fox Talbot, que los hechos fueran explicados de forma correcta. Dispuesto a repetir su experiencia, bañó una vez más las láminas con el uranio y preparó las placas fotográficas; pero esta vez, el destino quiso que ese día no luciera el sol, por lo que cansado de esperar decidió guardarlo todo como había hecho siempre a la espera de una nueva jornada. Un domingo, 1 de marzo de 1896, amaneció con un sol radiante, por lo que Henri decidió exponer nuevamente las láminas de uranio; pero antes de hacerlo reflexionó, y decidió comprobar si las placas fotográficas estaban aún intactas, no fuera que estuvieran veladas ligeramente o tuvieran algún desperfecto; tomó algunas para comprobarlo y cual no fue su sorpresa cuando vio que ya estaban impresionadas con manchas negras.

"He aquí cómo fui llevado a hacer esta observación: entre las experiencias precedentes, algunas habían sido preparadas colocando los chasis en la oscuridad en el cajón de un mueble, dejando en su lugar las laminillas de sal de uranio. No apareciendo el Sol en los días siguientes, revelé las placas fotográficas en el 1º de marzo, esperando encontrar imágenes muy débiles. Las siluetas aparecieron, al contrario, con una gran intensidad. Pensé al instante que la acción había debido continuar en la oscuridad y dispuse la experiencia siguiente:

*En el fondo de una caja de cartón opaco, coloqué una placa fotográfica; luego, sobre la cara sensible, puse una laminilla de sal de uranio, laminilla convexa que sólo tocaba en algunos puntos al gelatino bromuro; después, al lado, dispuse sobre la misma placa otra laminilla de la misma sal, separada de la superficie del gelatino bromuro por una delgada lámina de vidrio. Habiendo sido realizada esta operación en la cámara oscura, la caja fue vuelta a cerrar y luego encerrada en otra caja de cartón y después en un cajón."*¹⁹²

Efectivamente, una vez más las fotografías, al ser reveladas, mostraron la forma de las láminas impresas como manchas negras, por lo que se podía deducir que las sales de uranio, aun sin haber sido expuestas al sol, emitían por sí mismas algún tipo de radiación parecida a aquella descubierta por Lenard en los rayos catódicos o a las del propio Röntgen. De esta forma imprevista se había descubierto la radiactividad, un nuevo fenómeno hasta entonces oculto por la naturaleza, que iba a suponer un vuelco total en la investigación científica y un cambio de sentido sin precedentes en la historia de la humanidad. En menos de cincuenta años, hechos originados por esta fuerza descomunal de la naturaleza iban a situar al mundo ante una disyuntiva, por primera vez el conocimiento científico conseguía enfrentarnos al dilema del control o la autodestrucción; en ese trance aún vivimos. Henri Becquerel debió intuir algo de lo que se avecinaba cuando experimentó en su propia piel los efectos radiactivos, sufriendo serias quemaduras por la manipulación continuada de las sales de uranio. No era de sorprender, ya que pasaba horas y horas, como hizo Röntgen, a oscuras en el laboratorio, combinando su interés científico con la práctica habitual y propia de los fotógrafos (Fig. 116).

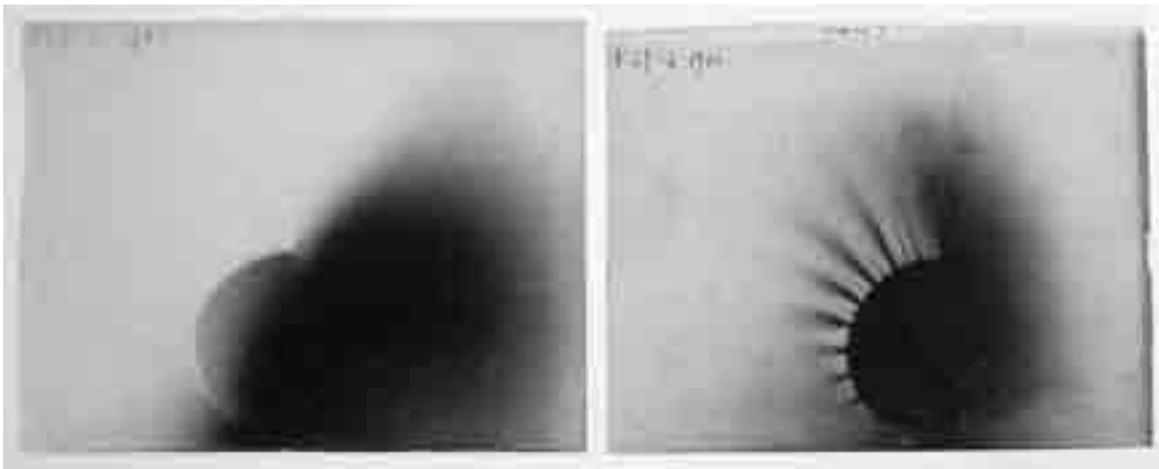


Fig. 116. Desviación de rayos secundarios producidos por la radiación beta. Copia en gelatina de plata. Henri Becquerel. 1901.

"Me propongo hoy resumir los resultados que pueden deducirse del examen de varios centenares de clichés fotográficos obtenidos durante tres años y que muestran cómo es complejo este fenómeno de radiación.

*Los diversos compuestos que el 3 de mayo de 1896 encerré en una doble caja de plomo y que desde entonces han sido mantenidos al abrigo de toda radiación conocida, continúan actualmente impresionando una placa fotográfica, más o menos con la misma intensidad que al principio; parece que hubiera una ligera disminución de intensidad durante los primeros meses, para luego mantenerse estacionaria. La dificultad de operar con placas fotográficas de igual sensibilidad y revelarlas en condiciones idénticas no permite precisar más."*¹⁹³

La voz de Jekyll volvía a resonar en estas palabras. Allí encerrado estudió la radiactividad como si fuera una nueva fuente de luz, sin reparar en su fuerza y su peligro. Estudió cómo se absorbía en los cuerpos con la ayuda de un electroscopio y de la propia fotografía; también como se reflejaba y refractaba. Ideó un portaplacas para manipular más cómodamente el montaje experimental que había ideado, una caja de plomo, para aislar la acción del uranio, un microscopio con un micrómetro para medir con precisión las diferencias de potencial, un galvanómetro para saber el consumo de electricidad, una pantalla fluorescente y los chasis con las placas. También estudió la acción electromagnética sobre la radiación y su polarización. En pocos meses no sería él el único; científicos de todo el mundo se lanzaron a experimentar con esta nueva luz. María Sklodowska, más conocida por Madame Curie, convenció a su marido para juntos dedicarse a este nuevo hallazgo de la ciencia. Idearon, en primer lugar, un contador de la intensidad de la radiación (Electroscopio¹⁹⁴) y comenzaron ininterrumpidamente a descubrir nuevas sustancias radiactivas, como el torio, el polonio, y el radio (1899), de mucha más intensidad que el uranio. La física y la química nucleares quedaban de esta manera estatuidas. El estudio de

las emanaciones del radio hizo comprender que la energía desprendida era causada por la desintegración de sus átomos, por lo que éstos debían estar formados por una estructura determinada. Por entonces, con la ayuda de los tubos de vacío, J. J Thomson ya había aislado el electrón (1903) y estudiado los rayos canal o rayos positivos; el átomo, por consiguiente, debía estar constituido por cargas positivas y electrones. Se daban los primeros pasos hacia la determinación de la constitución del átomo y sería el estudio continuado de este tipo de radiaciones la pieza clave para adentrarse en ese territorio. En 1898, Ernest Rutherford ya había distinguido dos tipos de radiación producida por la radiactividad, los rayos α -núcleos de helio, portadores de una carga positiva- y los β , constituidos por electrones en movimiento; más adelante, en 1900, Paul Villard descubrió también con la ayuda de la fotografía, un tercer tipo, los rayos γ , radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia, más penetrantes que los rayos X. El átomo ya no era, por tanto, la partícula más pequeña e indivisible; disponía de un núcleo formado por protones, y electrones bailando alrededor de éste. Pronto se llegaría a la conclusión de que cada uno de los elementos químicos que constituyen la Tabla Periódica de Elementos, está formado en realidad por átomos de hidrógeno, a través de combinaciones de protones y electrones, algo que evocaba las tesis de la unidad de la materia. A partir de estas fechas el descubrimiento de partículas subatómicas fue imparable, y la descripción del comportamiento de ese universo invisible iba a dar lugar a muchas hipótesis. Ya vimos como Thomson y Aston, con la ayuda de los espectrógrafos de masas, descubrieron que los elementos disponen de una carga determinada pero que pueden tener masas distintas: eran los isótopos. Einstein llegaría a concluir, a raíz de los estudios atómicos facilitados por la radiactividad, que la masa era una forma particular de la energía. Rutherford y Soddy, a partir de 1903, se dedicaron a bombardear núcleos atómicos con partículas α , comprobando cómo los elementos se convertían unos en otros. La transmutación de las sustancias, el sueño de los alquimistas, se había cumplido.

Hasta qué punto las distintas aproximaciones al estudio de la radiactividad, llevados a cabo por los Curie y por Rutherford, supusieron dos modelos distintos de hacer ciencia, que a su vez obligaron a cosechar frutos bien diferentes, es un tema digno de tener en cuenta para cualquier estudioso de la epistemología científica. Mientras que los Curie se dedicaron a poner en práctica mayormente las técnicas de aislamiento de elementos por procedimientos clásicos de la química y con la ayuda de electroscopios, Rutherford hizo un uso extensivo de los contadores de partículas y de la fotografía; lo que llevó, en el caso de los primeros, a la identificación de nuevos elementos radiactivos, y, en el segundo, a la detección de la transmutación de los elementos y a una nueva concepción de la estructura atómica. Si en los franceses primaron las mediciones del electroscopio, en el neozelandés primó la imagen técnica. La irrupción de un nuevo paradigma en ciencia, normalmente causado por la *percepción de una anomalía*¹⁹⁵, ¿pudo en este caso venir dado mayormente por los resultados de las fotografías?.

6.7. La cámara de niebla

El modelo de átomo, ideado por Rutherford en 1911, confirmaba unas ideas previas formuladas por Jean Perrin en 1901, que afirmaban que el átomo en sí responde al mismo esquema que un sistema planetario: un núcleo central y una serie de electrones a su alrededor. La materia no era, por tanto, algo compacto e infranqueable, de aquí que cuando se bombardean los átomos con rayos α , éstos puedan atravesarlos sin más, siempre que no colisionen con ninguna de sus partículas o con el mismo núcleo. Los nuevos generadores de energía, como los amplificadores y osciladores eléctricos, utilizados en la recién bautizada radiotelefonía fueron los que permitieron amplificar las corrientes diminutas hasta el grado deseado y permitir de esta manera investigaciones de este tipo. También fue decisiva la construcción de los contadores de partículas por el propio Rutherford y Geiger, que permitían contar el número total de partículas α proyectadas en un segundo por un gramo de radio. La detección de esas partículas se llevaba a cabo con estos contadores eléctricos, y su visualización se tenía que hacer bien mediante los destellos producidos en pantallas de sulfuro de zinc, lo que obligaba a estar muy atentos para llevar a cabo su recuento, bien con el uso de una nueva invención magistral que hizo hablar de nuevo a la naturaleza a través de placas fotográficas.

*La prueba más impresionante de la individualidad del electrón, de las partículas α y de los iones ha sido proporcionada por C. T. R. Wilson por medio de sus preciosas fotografías mostrando los trazos de las partículas α y β al pasar a través de los gases. Mediante una expansión repentina, cada ion de carga producido por la partícula voladora se hace visible al llegar a ser el centro de una gota de agua visible. En el caso de un electrón fugaz, el número de iones por centímetro de trazado es tan pequeño que puede ser directamente determinado. Estas fotografías reproducen de una forma viva y concreta los fenómenos que acompañan el paso a través de los gases de los distintos tipos de radiaciones ionizadas, y son, en cierto modo, la prueba irrefutable de las teorías que describen las propiedades de estos rayos."*¹⁹⁶

La cámara de niebla, fue ideada por Wilson en su juventud, durante uno de sus paseos por los paisajes neblinosos de su Escocia natal, al quedarse maravillado por los efectos luminosos que producía la niebla cuando era movida por las corrientes de aire (Fig. 117). La cámara de niebla (*cloud chamber*) supuso un gran impulso para los estudios atómicos y para la propia fotografía (Fig. 118 y 119). A los pocos meses de haber enunciado Rutherford su teoría sobre la constitución del átomo, las fotografías conseguidas por este



Fig. 117. Fotografías de montañas y nubes. C.T.R. Wilson. h. 1890.



Fig. 118. Cámara de niebla de C. T. R. Wilson. (Original). Construida en 1911 en el Cavendish Laboratory.



Fig. 119. Cámara de niebla comercial. 1913.

artefacto enseñaban cómo las partículas α se desviaban al chocar contra los núcleos. Se había vuelto a *engañar* a la naturaleza para que mostrara sin artificios sus secretos. Las teorías no iban a recibir una validación tan determinante como ésta, que mostraba el rastro de las partículas subatómicas como estelas de aviones en el cielo (Fig. 120). El truco empleado por Wilson para hacer visibles las partículas fue mediante un recipiente de cristal en el que se podía regular su presión interior mediante un émbolo (ver Figs. 118 y 119). Dentro del recipiente colocaba vapor de agua supersaturado y limpio de polvo, por lo que al reducir la presión, éste se enfriaba de inmediato, lo que producía a su vez un ambiente saturado de humedad; a partir de ahí, si esta acción se hacía coincidir con una descarga, cualquier partícula cargada eléctricamente, por mínima que fuera, creaba una condensación de vapor a su alrededor, lo que producía una estela formada por las diminutas gotas de agua condensadas, de la misma manera a lo que vemos en el cielo cuando pasa un avión. La fotografía de ese movimiento ultrarrápido se conseguía con la utilización de flashes de luz instantáneos, idea que le fue inspirada por la aparición en 1908 de *A Study of Splashes*, de A. M. Worthington, obra dedicada a la fotografía de alta velocidad (Fig. 121).



Fig. 120. Trazos de partículas alfa. C. T. R. Wilson. h. 1915

"La naturaleza de esa estela puede revelarnos muchas cosas sobre la partícula. Las leves partículas beta dejan un rastro tenue, ondulante, y se desvanecen al menor roce, incluso cuando pasan cerca de los electrones. En cambio, las partículas alfa, mucho más densas, dejan una estela recta y bien visible; si chocan contra un núcleo y rebotan, su trayectoria describe una clara curvatura. Cuando la partícula recoge dos electrones, se transforma en átomo neutro de helio, y su estela se desvanece. Aparte los caracteres y dimensiones de ese rastro, existen otros medios para identificar una partícula en la cámara de ionización. Su respuesta a la aplicación



Fig. 121. Instantes de una salpicadura. En "Un estudio de salpicaduras". M. A. Worthington. 1908.

de un campo magnético nos dice si lleva carga positiva o negativa, y la intensidad de la curvatura indica cuáles son su masa y su energía. A estas alturas, los físicos están ya tan familiarizados con las fotografías de estelas en toda su diversidad, que pueden interpretarlas como si leyeran letra impresa. El invento de la cámara de ionización permitió a Wilson compartir el premio Nobel de Física en 1927 (con Compton)".¹⁹⁷

La radiactividad había abierto el camino para el conocimiento de la estructura atómica. Con la observación de los disparos de partículas alfa contra los átomos, se podían estudiar las desviaciones de estas partículas, y determinar la magnitud y las fuerzas cercanas al núcleo, y hacernos una idea del tamaño del mismo. Los destellos que se formaban en los gases al ser disparadas estas partículas eran con paciencia contados, a veces con la ayuda de un microscopio que se emplazaba sobre las pantallas de sulfuro de cinc (centelleadores), y con visores de poco poder de aumento, u objetivos de gran apertura. También se hacía uso de campos magnéticos para controlar la intensidad de las emanaciones. Los destellos producidos y observados en la pantalla de cinc eran fruto de la desintegración de los átomos, que sucedía contadas veces; en realidad sólo dos partículas alfa de cada millón daban en el blanco de un núcleo atómico, pongamos por caso del aluminio, para poder así liberar un átomo de hidrógeno.

Todo el esfuerzo y la paciencia que requerían estos sistemas de contar partículas cuando eran lanzadas contra láminas delgadas de materia, se vieron facilitados por la llegada de este nuevo ingenio fotográfico.

Con la ayuda de todas estas técnicas se hizo posible la determinación de un modelo atómico que consistía, básicamente, en situar todas las cargas positivas en el núcleo, lo que era lo mismo que decir todos los protones, y que los electrones de carga negativa, conseguían el equilibrio girando a su alrededor. El núcleo, en realidad, era una porción ínfima del átomo, razón por la cual era tan improbable que fuera alcanzado por los bombardeos a que era sometido. Además, se entendió que su forma era tan compacta que difícilmente podía ser quebrado; cuando esto sucede hay protones que son descolocados de esos átomos y se produce la transmutación de un elemento en otro. A su vez, esta cantidad de materia destruida es infinitamente pequeña, pero pronto se vio que era el primer paso para la posible creación de vastas cantidades de energía.

"La cantidad de energía puede ser calculada y está prodigiosamente más allá de los sueños de la ciencia ficción. Si

pudiéramos transmutar el hidrógeno contenido en una pinta de agua, la energía liberada sería suficiente como para impulsar a toda máquina el Mauritania en su trayecto de ida y vuelta a través del Atlántico. Con esas enormes cantidades de energía a nuestra disposición no habría literalmente límites a los logros materiales de la raza humana".¹⁹⁸

En 1922, Aston escribía estas palabras defendiendo el derecho de los hombres a investigar y a prosperar en la historia, del mismo modo que lo hizo el hombre primitivo al descubrir el fuego. Unos años antes, hacia el final de la primera guerra mundial, Rutherford ya había conseguido lo que él llamó la "alquimia moderna", transformar átomos de hidrógeno en átomos de oxígeno, mediante la partición de los primeros. Las consecuencias de la utilización de la energía atómica con fines destructivos, en un futuro no muy lejano de esas fechas, no podían ser aún soñadas. Las investigaciones seguían su curso; y si el modelo de átomo de Rutherford se había aceptado mayoritariamente, había comportamientos, como el de la estabilidad, que difícilmente eran explicables mediante los postulados de la física clásica. En 1913, un discípulo aventajado de Rutherford, Niels Bohr, prestando atención a las leyes más bien simples que determinan los espectros ópticos de los elementos, intentó aplicar a este universo atómico la teoría cuántica que, por entonces, iba consiguiendo más y más adeptos; entre ellos, el mismo Einstein, que ya la había aplicado a su teoría de los fotones o cuantos de luz. Esta dificultad del modelo de Rutherford para explicar los datos espectrales, debido a su apego a los postulados de la mecánica y del electromagnetismo clásicos, llevó a Bohr a afirmar que los cambios energéticos de un átomo se llevaban a cabo mediante una transición completa de un estado a otro; si la teoría cuántica había roto con el esquema de la continuidad de la emisión y absorción de la energía, afirmando que estos fenómenos se producen en cantidades discretas -a saltos-, de la misma manera, los cambios energéticos de un átomo se harían pasando de un estado estacionario a otro, sin paradas intermedias. Esta idea, aparentemente tan simple, supuso la creación de un formalismo matemático complejo que dio lugar a lo que conocemos por Mecánica Cuántica y, a su vez, supondría el inicio de una revolución epistemológica en el seno de la física y de la filosofía del s. XX

Este híbrido teórico cumplía la hazaña de aunar, en una misma concepción, la visión del universo atómico como un sistema planetario al estilo de la Mecánica de Newton y la nueva visión de la discontinuidad cuántica. En muchas ocasiones, los modelos teóricos iban adelantarse, en espera de su confirmación posterior por los montajes experimentales y por la observación de los fenómenos, en un proceso que define el quehacer científico. La observación de los rayos cósmicos mediante globos lanzados al espacio y haciendo uso de un electroscopio y de la fotografía, llevarían con el tiempo a Paul Dirac (1928) a enunciar la existencia de antipartículas. Una teoría como ésta, en un principio formulada matemáticamente, y siguiendo la intuición de los científicos de que en la naturaleza debe haber siempre una simetría en los fenómenos, quedó confirmada posteriormente por los resultados y observaciones obtenidos mediante una cámara de niebla (Anderson 1932); una nueva estela similar a la del electrón dejaba constancia de esa antipartícula, bautizada desde entonces como positrón (Figura 122) ¹⁹⁹.



Fig. 122. Positrón (Electrón positivo). Carl. D. Anderson. 1932.

El descubrimiento de nuevas partículas y de nuevos fenómenos del mundo atómico iba a producirse a un ritmo exorbitante a partir de estas fechas, a la par que se desarrollaban nuevos instrumentos de medición y de observación. A la cámara de Wilson le sucedería la "cámara de difusión" de Langsford -que permitía la observación continuada de las partículas en movimiento-, y más adelante, ya en la década de los cincuenta, la "cámara de burbujas" de Glaser -inspirada en un vaso de cerveza-, que iba a retomar la visión estereoscópica, para permitir visualizar la posición de las partículas en el espacio; por último, y más recientemente, la "cámara de destellos" (Spark Chamber). También el microscopio

electrónico, que comenzaría a ser desarrollado a partir de 1932, cumpliría un papel determinante en la observación de lo ínfimo, así como el "microscopio de campo iónico", inventado en 1955, y que permitió un acercamiento a lo que podría ser la observación directa de los átomos. Los instrumentos de detección de partículas quedarían divididos en el futuro en electrónicos - como era el tipo de contador Geiger- y los visuales, que se correspondían con todas estas derivaciones



Fig. 123. Átomos de helio y electrones moviéndose rápidamente. Véase la marca de la huella digital. CTR. Wilson. h. 1928.

Fig. 124. Rayos alfa lanzados a través del aire. La desviación de la izquierda muestra el choque con un núcleo de átomo de hidrógeno. C. T. R. Wilson. h. 1928.



de la cámara de niebla. A las primeras partículas como el electrón y el protón se sumaron las del neutrón, el positrón, los muones, mesones, neutrinos, bosones etc.,. Para la producción controlada de todo este tipo de partículas, los nuevos aceleradores iban a desempeñar un papel decisivo.

El estudio de los trazos que dejaban las partículas en las cámaras se convirtió en toda una técnica refinada de desciframiento de signos consistentes en líneas continuas, quebradas, interrumpidas, que eran reflejo de las desviaciones, bifurcaciones, cambios inesperados, etc., bien de las partículas subatómicas, bien de las mismas radiaciones, o de los propios átomos (Fig. 123 y 124). La hazaña de P. M. S. Blackett, que realizó más de 20.000 fotografías con la cámara de niebla, para poder llegar a registrar tan sólo ocho colisiones de

partículas alfa con átomos de hidrógeno, lo que le hizo comprender por qué habían surgido unos trazos anómalos e inexplicables, y encontrar la estela perdida de la propia partícula alfa, le valió el Nobel de Física de 1948. Otro gran fotógrafo (Fig. 125).

Es importante señalar en este contexto que será a partir de la década de los 30 cuando la Física Nuclear experimente un gran avance debido a la entrada en escena de las emulsiones fotográficas capaces de registrar de forma directa las trayectorias de las partículas. El trabajo precursor de Marietta Blau, quien supo extraer importantes lecciones de su experiencia en la fotografía por rayos X, sirvió de base a las decisivas aportaciones de Cecil F. Powell, Pierre Demers y otros que desvelaron nuevas partículas al mundo con esta nueva técnica.



Fig. 125. Partículas alfa a través del aire. El trazo transversal es un protón arrojado de un núcleo de nitrógeno por una partícula alfa al chocar con él. Blackett y Lee. h. 1930.

6.8. Los rayos cósmicos

El análisis y observación de lo diminuto parecía no tener fin, porque un nuevo frente de investigación, que resultaría con el tiempo inagotable, se desvelaba más allá de las radiaciones gamma: los rayos cósmicos. En 1910, el suizo Gockel encontró estas nuevas radiaciones tras lanzar al espacio, a una altitud de 4.500 metros, globos en los que había emplazado un pequeño electroscopio. Hasta entonces se pensaba que no existían otras radiaciones más penetrantes que aquellas que se producían en la Tierra, provenientes de los elementos radiactivos. Las experiencias de este investigador demostraron, por el contrario, que sí existían otros tipos de partículas procedentes de algún lugar del espacio, con una capacidad de penetración mucho mayor que las conocidas hasta entonces. Terminada la I Guerra Mundial, los ensayos en este sentido se reanudaron, pero esta vez en San Antonio, Texas. Allí, en 1922, los científicos Bowen y Millikan lanzaron globos sonda a 15.500 metros de altitud con un instrumental más completo, que en esta ocasión consistía en electroscopios automáticos, barómetros, termómetros y un dispositivo fotográfico muy simple provisto de una ranura de 0,0025 cm. de ancho, que permitía recoger sobre una película diminuta las radiaciones de la luz solar que se producían en forma de fibras sombreadas (imágenes de difracción). Para hacernos una idea de la simpleza, pero a la vez de la precisión e ingeniosidad de esta instrumentación, baste decir que el conjunto de todos estos aparatos, incluido el dispositivo fotográfico, no llegaba a pesar más de 210 gramos (Fig. 126) Los globos permanecieron en el espacio durante más de tres horas y fueron recogidos a 160 kilómetros del lugar de lanzamiento.



Fig. 126. Instrumentación para la observación de rayos cósmicos. Peso total 210 gr. La película se encuentra en el dispositivo de la izquierda. 1922.

La siguiente pregunta que se planteó a estos investigadores, tras comprobarse fehacientemente la existencia de estas radiaciones cósmicas, fue determinar su fuerza de penetración. Teniendo en cuenta que las pruebas realizadas hasta la fecha con radiaciones conocidas del tipo radiactivo, habían demostrado que su poder de penetración en el agua llegaba hasta los dos metros, se decidió realizar experimentos en esta línea, de manera que Millikan, acompañado esta vez de otros investigadores, subió a finales de 1922 al lago Muir, en California, situado a 4.000 metros de altura; una vez allí, sumergieron el equipo de medición hasta 15 metros de profundidad en aquellas aguas heladas, provenientes del deshielo de las cumbres. Para sorpresa de todos, detectaron las radiaciones cósmicas en aquellas profundidades, lo que confirmaba la procedencia no terrestre de los rayos y un poder de penetración 18 veces mayor que el de las radiaciones gamma, que eran las más penetrantes hasta la fecha. Experiencias repetidas posteriormente en otros lagos situados a alturas similares, demostraron que las capas atmosféricas no incidían en la fuerza de penetración de estos rayos.

"Se deduce que en el universo existe mucha más energía en forma de rayos cósmicos que en forma de calor y luz. En base a las estimaciones astronómicas de la distribución de las nebulosas llegamos a la conclusión de que la energía radiante total en el universo que existe bajo la forma de rayos cósmicos es de 30 a 300 veces mayor que la que existe bajo todas las demás formas de energía radiante en conjunto".²⁰¹

El estudio de los rayos cósmicos abrió un nuevo campo de exploración en la ciencia. A partir de estas primeras experiencias comenzaron a realizarse diversos estudios por investigadores de muchos países, que pronto constataron la uniformidad de distribución de esta radiación en el conjunto de la bóveda celeste, así como la escasa incidencia de la acción del sol o de las capas atmosféricas sobre ella, lo que hizo pensar que no existía una variación apreciable de su efecto entre el día y la noche. Mediciones posteriores realizadas en Sudamérica (1928), fuera del campo de acción de la Vía Láctea, demostraron que las radiaciones debían proceder de algún punto fuera de nuestra galaxia, por lo que la suposición de que una fuente continua de radiaciones provenientes de un lugar remoto del universo y que caían sobre nuestras cabezas como una lluvia constante de partículas, se hacía cada vez más plausible. El análisis espectroscópico también se llevó a cabo en grandes profundidades y en altitudes superiores a los 10.000 metros, con la ayuda de aeroplanos, constatándose espectros en forma de bandas que ayudarían a determinar la naturaleza de estos rayos.

Todo este cúmulo de mediciones y de imágenes fotográficas obtenidas a partir del estudio de los rayos cósmicos iba a verse coronado por el descubrimiento de una nueva partícula subatómica, augurada su existencia unos años antes, que vendría a añadirse a las únicas hasta entonces conocidas, el electrón y el protón: el electrón positivo o positrón. Y sería, nuevamente, una fotografía, tomada en 1932, la confirmación de esta nueva hazaña de la ciencia (ver Fig. 122).

"Carl D. Anderson había tomado la fotografía y reveló la placa. De inmediato advirtió su importancia y en compañía de Seth Neddermeyer pasó la noche íntegra tratando en vano de encontrar un modo de encararla que dejase a salvo el antiguo punto de vista ¡Imposible lograrlo! La fotografía ponía de manifiesto en forma que no dejaba lugar a dudas el trazo de un electrón positivo libre que poseía exactamente las propiedades de un electrón negativo libre, a excepción del signo de la carga, y en nada las propiedades de un protón.²⁰²

Las fotografías que avalaron la presencia de rayos cósmicos (Fig. 127 y 128) y su acción sobre los núcleos de los átomos, formando un doble trazo (Fig. 129) que se correspondía con la existencia de un electrón negativo y otro positivo, fueron hechas por Millikan y Anderson con la ayuda de una cámara de niebla que construyeron ex-profeso, y con la ayuda de generadores de electricidad de altísima potencia. Un dato de sumo interés en este descubrimiento, que puso de manifiesto hasta qué punto las observaciones son las que marcan el curso y el progreso de la ciencia, fue el hecho de que estos investigadores pensaron en un primer momento que el doble trazo de las partículas se debía a la presencia de un electrón y de un protón, que era lo más lógico pensar ya que éstas eran las únicas partículas conocidas hasta entonces y formaban la estructura teórica de lo que se suponía que era el átomo; sin embargo, el análisis concienzudo y pormenorizado de estos dos investigadores durante meses puso de manifiesto que no se trataba de un protón sino de una nueva partícula positiva, dado que, por las dimensiones de su trazado no podía ser otra que un electrón, pero en este caso positivo.



Fig. 129. Fotografía de trazo de electrón (izq.) y de protón (dcha) procedentes de rayos cósmicos al golpear un núcleo de átomo. R. A. Millikan. 1931.

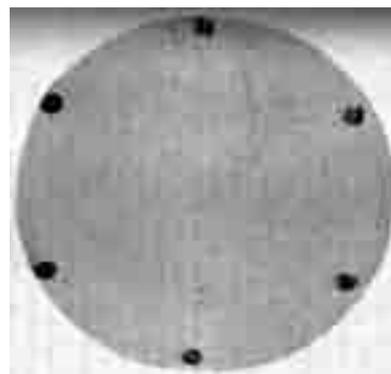


Fig. 127. Partículas beta lanzadas a través del aire. Electrón negativo o partícula beta liberada por un rayo cósmico. Norman Bridge Lab. de Pasadena. h. 1930.

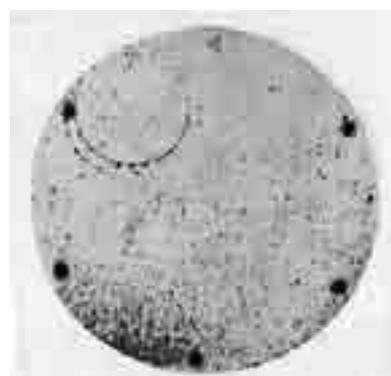


Fig. 128. Trazo de un electrón de rayos cósmicos, registrado con Cámara de Wilson vertical.. R. A. Millikan. 1929.

Ver para creer y ver para comprender a partir de unos cuadros abstractos que escondían secretos recónditos de la materia. La cadena de descubrimientos de nuevas partículas subatómicas a partir de aquella fecha sería imparable, actividad que llega hasta nuestros días y que no presenta señales de agotamiento.

Sin embargo, todos estos avances teóricos o de los mismos dispositivos experimentales se veían desbordados

por las nuevas realidades que ellos mismos iban descubriendo, en un proceso que parecía interminable. Ya vimos como el modelo teórico de Ernest Rutherford (1871- 1937) había sido perfeccionado por Niels Bohr (1885- 1962), mediante la asimilación de los principios de la teoría cuántica, para dar cabida a los fenómenos de la emisión de espectros y de la estabilidad del átomo hasta entonces inexplicados. A aquella visión un tanto simple del comportamiento atómico se añadieron nuevas precisiones, como la de Sommerfeld, quien vio el átomo no como un sistema planetario de órbitas circulares, sino elípticas, y aprovechó para añadir a este mismo modelo el cuerpo teórico elaborado por Einstein en su Teoría de la Relatividad. Pero las líneas espectrales que se iban detectando en los átomos presentaban una variedad tal que difícilmente quedaban explicadas por una única teoría. A un mismo tiempo, se presentó el problema de explicar las intensidades de las partículas, que hasta entonces se comprendían en función del tamaño de las líneas del espectro. El mismo Bohr tuvo que llegar a una solución de compromiso al afirmar que los principios de la Mecánica clásica seguían válidos si considerábamos que las discontinuidades cuánticas, comparadas con la energía total, eran tan pequeñas que podrían ser contempladas como algo continuo. Este *principio de correspondencia* entre una concepción y otra, fue la fórmula con la que Bohr pretendió salir airoso de este atolladero.

Sin embargo, la observación de sistemas atómicos más complicados forzaba a acomodar con nuevas añadiduras esta teoría básica de la mecánica cuántica. Una nueva solución, más integradora, surgió entonces de un par de científicos: un discípulo un tanto autodidacta de Poincaré y de Einstein, Louis de Broglie (1892- 1987), y un seguidor de Bohr, Erwin Schrödinger (1887- 1961). La gran proeza del primero fue llegar a una síntesis de los dos caminos que hasta entonces habían sido opuestos en torno a la interpretación de la luz: las concepciones ondulatorias y corpusculares. Por fin, se encontraba una ley general que se sustentaba en un dualismo de ondas y partículas; la luz y la materia eran a la vez partícula y onda; o sea, nos enfrentábamos a "ondas de materia". Esta idea simbiótica, una vez formulada matemáticamente por Schrödinger, iba a dar lugar a lo que se conoce por Mecánica ondulatoria.

A esta concepción dual de la luz y de la materia, se sumaban, a un mismo tiempo, nuevos desarrollos de las teorías de Bohr, a cargo de él mismo, de Dirac y de un joven científico, Werner Heisenberg (1901- 1976); con aportaciones de cada uno de ellos, se utilizó un formulismo matemático conocido como Teoría de Matrices, con el que lograban rematar de forma más coherente y práctica la originaria concepción de Bohr. Ambas mecánicas, la ondulatoria y la cuántica, llegaban a un mismo sitio pero por caminos diferentes, surgiendo de esa combinación una nueva Mecánica cuántica más perfecta. Este entramado teórico, muy formal y abstracto, iba a dar cabida y explicación a numerosos fenómenos medidos y observados que hasta entonces no habían podido ser integrados por ninguna de las teorías existentes.

Nuevamente la fotografía de lo invisible, o lo que es lo mismo la observación de los fenómenos diminutos, facilitada por este medio de una forma permanente, desempeñaría un papel determinante en todas estas discusiones. Por un lado, la doble naturaleza corpuscular

y ondulatoria, ya comprendida por Einstein en su estudio del efecto fotoeléctrico y ampliada por De Broglie a la materia, se confirmaba con la refracción de los electrones. O sea, una partícula que se comportaba como una onda, y ondas que se formaban de partículas. Óptica y Mecánica quedaban de esta forma unidas. El estudio de los límites de la observación que se llevó a cabo en su día con los microscopios ayudaría a comprender este fenómeno. Si en vez de luz, o sea fotones, se emitieran electrones para la observación de los cuerpos, que es lo que hacen los microscopios electrónicos, la observación de lo diminuto se agudizaría. El límite de los microscopios convencionales u ópticos se encuentra, como ya vimos, en el fenómeno de la difracción, que

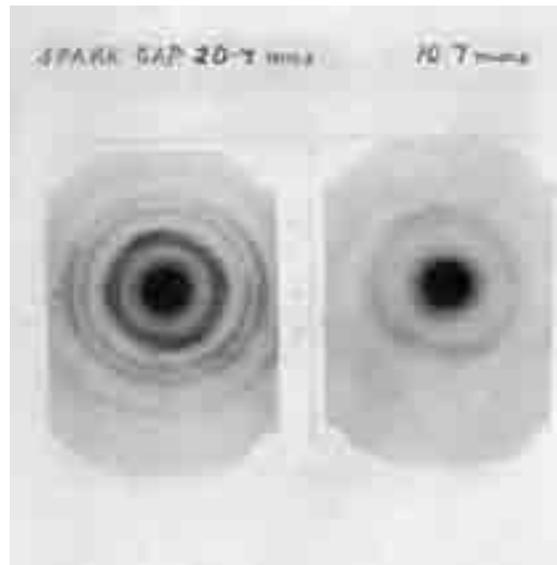


Fig. 130. Difracción del electrón. Germer y Davidson. 1927.

es el causante de que un punto observado se convierta en una mancha difuminada. El tamaño de la longitud de onda del rayo emisor condiciona el límite de tamaño de lo que queremos observar. La producción de longitudes de ondas tan pequeñas como los rayos X tiene el inconveniente de que no hay ópticas válidas para su observación; pero con los electrones no ocurre lo mismo. En 1927 se obtuvieron las primeras fotografías que mostraban la difracción del electrón de acuerdo con las tesis de la Mecánica Ondulatoria de de Broglie. (Fig. 130). Schrödinger dio forma matemática a estas ideas.

En este punto de la historia de la ciencia se abrió una bifurcación pues, frente a este método de hacer ciencia, en la línea de Max Planck (1858- 1947) o de Albert Einstein (1879- 1955), se alzó el grupo de teóricos en torno a la Escuela de Copenhague, quienes prefirieron aventurarse en el terreno de una física más teórica, y apostar por un desarrollo de lo científico fundamentado más en los modelos matemáticos. En concreto, opinaban que los conceptos de tiempo y espacio, velocidad y posición, precedentes de la Física clásica, no eran de fácil aplicación al universo atómico, puesto que eran magnitudes que en esta escala no se podían medir. Heisenberg intentó aglutinar todas estas ideas que pululaban en el ambiente científico de 1925 mediante una formulación abstracta que pudiera responder luego a los hechos. Mediante el modelo matemático de "matrices" dio cabida a las variables de intensidad y frecuencia de los átomos por un lado, a los estados estacionarios formulados por Bohr por otro, en cuyos saltos de unos a otros es donde se produciría la emisión de fotones, y la probabilidad de que se dieran estos saltos como causa directa de la intensidad de los fotones. El modelo tendía, por tanto, a una formulación de tipo probabilística, en el que las variables de posición y velocidad que todo sistema físico, en un sentido clásico, tiene, quedaban indeterminados. Como diría Dirac, "la mecánica cuántica es simple: no es más que la Mecánica clásica desarrollada sobre un álgebra no conmutativa" Las relaciones de incertidumbre ponían el dedo en la llaga de un nuevo límite interpuesto a la observación humana y, por consiguiente, a los límites del conocimiento. Las sombras de la caverna de

Platón asomaban nuevamente. La proyección de fotones sobre partículas diminutas a fin de poder ser observadas, o bien alteraba el valor de su velocidad o bien el de su posición. Una barrera infranqueable se anteponía a la ciencia. La lucha por la observación de lo diminuto y de lo hasta entonces invisible a los ojos humanos volvía a encontrar un fin de camino.

Capítulo 7. El estudio del movimiento

7.1. Introducción

Antes de proseguir en la profundización de este fin de camino al que llegó la ciencia en torno a 1927, que consistió básicamente en el cuestionamiento de la capacidad de observación y del conocer humanos, sería aconsejable detenernos por unos instantes en otras áreas del conocimiento científico que se vieron notablemente enriquecidas por la presencia de la fotografía. Una vez contemplados los grandes logros de la astronomía y de todas las ramas de la ciencia que precisan para su avance de la observación de los mundos diminutos, gracias al papel desempeñado por la fotografía, surgieron otras cualidades y formas de los fenómenos de la naturaleza en los que la fotografía tendría mucho que aportar. Por ejemplo, si su presencia había sido decisiva en el estudio de lo recóndito y de lo diminuto, no lo iba ser menos en el estudio del movimiento de los cuerpos. La imagen fijada de forma permanente por la fotografía daba cuenta de la posición de los objetos en un momento determinado, y el estudio comparativo y secuencial de dichas imágenes permitía una visión de conjunto y de su evolución. La fotografía se convertía, de esta manera, en una herramienta ideal para comprender el cambio que se da en la forma, posición, velocidad, color, etc., de los objetos entre un momento y otro, que es tanto como decir que la técnica fotográfica pasó a ser un instrumento óptimo para el estudio de los fenómenos físicos en el tiempo.

Hasta la llegada de la fotografía, la representación iconográfica del movimiento de los cuerpos era también coto cerrado de la pintura y del resto de las artes plásticas, en especial de la escultura; ya vimos los dibujos descriptivos de Leonardo sobre las figuras de hombres y animales en movimiento, que iniciaban una época de estudio científico a través del dibujo. Ese gusto artístico por la representación del movimiento se fundamentaba, obviamente, en la observación directa de los modelos o en el recuerdo y la imaginación de los artistas; de ahí que en la mayoría de las ocasiones, especialmente cuando se intentaba reproducir movimientos muy veloces, más allá de lo que podían captar los ojos, los errores cometidos por los dibujantes fueran muy comunes. Fuera del campo puramente plástico, también proliferó el gusto por las representaciones del movimiento en ámbitos cercanos al teatro, tales como el teatro de sombras y las animaciones que proporcionaba la linterna mágica, tan en boga en el s. XVII (Fig. 131), y también en los libros ilustrados de Naufemburg, hacia 1660, que creaban una ilusión dinámica mediante dibujos secuenciales, impresos en las esquinas de las páginas, que se hojearan rápidamente doblando ligeramente el libro y liberando las páginas con el dedo pulgar²⁰⁴.

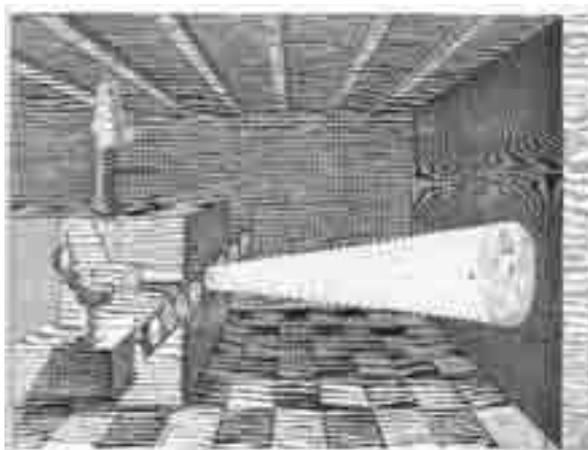


Fig. 131. Linterna mágica. Athanasius Kircher. *Ars Magna et Lucis Umbrae*. 1646.

La irrupción del pensamiento científico y su paulatina aceptación por parte de la sociedad hacia finales de este siglo animaría a los artistas y científicos a buscar nuevas formas de representación del movimiento más ajustadas a la realidad y a los postulados de la ciencia. El mismo Newton ya había demostrado la síntesis de los colores por medio de un disco de cartón giratorio que, al dar vueltas, fusionaba todos los tonos dibujados radialmente en un tono blanquecino. No tardarían en construirse discos parecidos, pero esta vez destinados a la representación del movimiento de los planetas. De hecho, las propias concepciones de la Mecánica de Newton y de Kepler no eran más que la representación de un sistema de fuerzas y movimientos que explicaban el funcionamiento de los cuerpos celestes. Estas mismas leyes se aplicarían sin demora a todo tipo de máquinas, desde a la construcción de relojes, hasta los nuevos artificios para la guerra; la balística, impulsada por la construcción de las primeras armas de fuego y de los primeros cañones se convirtió en una buena mesa de pruebas para el estudio del movimiento, como en el lanzamiento de proyectiles, en las fuerzas de rozamiento, la caída de los cuerpos, la inercia, la atracción gravitatoria, etc.,.

El Siglo de las Luces supuso una vuelta de tuerca más en este sentido. La dinamización propia de las nuevas ciudades y del nuevo estilo de vida de los ciudadanos, cada vez más viajeros e inquietos, se producía al compás de las nuevas máquinas de vapor y de la mecanización paulatina de la industria textil, de las minas y de los talleres. La espiral de movimiento frenético iniciada por la humanidad en estas fechas fue como una onda expansiva, que llega hasta nuestros días, sin que haya signos evidentes de que esta tendencia vaya a remitir. Las obras de artistas como Hogarth, Fragonard, Daumier o Goya ganaban en dinamismo, al retratar la sociedad cambiante y viva de la época. Las nuevas rutas abiertas hacia las colonias por los nuevos barcos, más rápidos y seguros, difundían por el mundo las nuevas ideas sobre el progreso. Porque también las ideas se habían impregnado de esa sensación generalizada de movimiento, una vitalidad que abanderaban las clases sociales emergentes y que en poco tiempo se traduciría en el máximo exponente del movimiento: la revolución.

A la par que se producían todas estas revoluciones en el mundo, intentando sepultar los privilegios impuestos por el Antiguo Régimen, la llegada de la electricidad supuso el detonante para que la humanidad entrara en una nueva dimensión y en un camino irreversible hacia formas de vida cada vez más rápidas y activas. La sociedad en su conjunto ansiaba el movimiento en sí, especialmente en las grandes ciudades. que acabarían llenas de vehículos y de telarañas de cables para las incipientes comunicaciones telefónicas. El mundo de la representación y del entretenimiento no iba a escapar a esta tendencia, que culminaría en el arte del movimiento por antonomasia, el cine. Sus precursores más inmediatos ya parecían demandarlo con ansias: el *taumatropio* de John Herschel (1826) (Fig. 132) -que

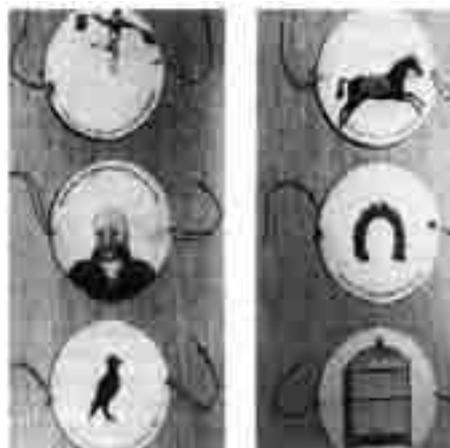
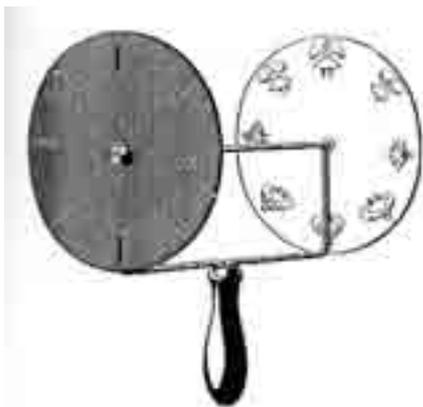


Fig. 132. Taumatropio. c. 1825.



Figs. 133 y 134. Fenaquistiscopios.

ya mencionamos en estas páginas-, el *fenaquistiscopio* de Joseph Plateau (1838) (Fig. 133 y 134) -un disco giratorio con pequeños orificios o muescas que conseguía el efecto estroboscópico al dejar entrever de forma intermitente los dibujos-, el *zootropo* de William G. Horner (1834) (Fig. 135) -un cilindro con ranuras a través de las que se lograba la ilusión de movimiento de los dibujos u objetos colocados en sus paredes interiores-, el *disco estroboscópico* de Franz von Uchatius (1853)²⁰⁵, el *praxinoscopio* de Émile Reynaud (1877) (Fig. 136) – una mezcla de zootropo y linterna mágica, pero con la inclusión de un juego de espejos-, los *panoramas*, aparecidos alrededor de 1823 y consistentes en unas largas cintas con viñetas que se iban pasando lentamente, y un largo etcétera, que quedaría completado con las aportaciones traídas por la misma fotografía, como sería el caso del *zoopraxiscopio* de E. Muybridge (1879) que incorporaba filas de pequeñas diapositivas colocadas en círculo en un disco giratorio y proyectadas al estilo de nuestros actuales proyectores, o el *electropraxiscopio* de O. Anschütz (1890), parecido al anterior pero sustituyendo la luz de la lámpara por el disparo intermitente de un tubo de vacío Geissler²⁰⁶.



Fig. 135. Zootropo. h. 1830.



Fig. 136. Teatro óptico de E. Reynaud, 1893. Juego de espejos y linternas para lograr la animación de las imágenes.

7.2. La cronofotografía

Dentro del mundo de la ciencia del siglo XIX, la presencia del movimiento en los fenómenos investigados era algo constante e inevitable; tanto el Electromagnetismo como la Teoría cinética de los gases, o la misma Termodinámica, ciencias genuinas de este siglo, se debían al movimiento, ya fuera el producido por los campos magnéticos, por las diferentes clases de electricidad, por las ondas, o por la agitación y concentración de las moléculas. El movimiento en sí se convirtió en una materia esencial de estudio. La fotografía, no fue entendida en un principio como una técnica muy adecuada para estos menesteres, probablemente por ser considerada como algo estático, que en realidad lo que hacía era detener y paralizar más que dinamizar los fenómenos; sin embargo, no fue necesario mucho tiempo para demostrarse lo infundado de este argumento. De hecho, cualquier fotografía, por muy estática que pareciera, estaba recogiendo un fragmento vivo y cierto de la realidad. Fox Talbot ya había obtenido fotografías movidas, en las que los objetos aparecían borrosos como prueba del movimiento, ya fuera de la cámara o de los modelos. Y los primeros paisajes urbanos de las grandes ciudades no podían dejar de reflejar los gestos fugaces y espontáneos de sus ciudadanos pululando por sus calles. El concepto de *fotografía instantánea* surgió tan pronto como las emulsiones se hicieron más rápidas, especialmente con la llegada de las placas de gelatina al bromuro de plata. Hay que tener en cuenta que cualquier fotografía de una escena callejera o un retrato mismo, que a nuestros ojos actuales parecerían con escaso dinamismo, era considerado como “*instantánea*” por los fotógrafos de la época.

Los primeros estudios que acercaron la fotografía al análisis de los fenómenos en movimiento vinieron dados por las investigaciones en el campo de la fisiología. Ya en 1863 un médico llamado Oliver. W. Holmes estudió con mimo una serie de fotografías de las calles de Nueva York y París, donde aparecían figuras humanas movidas, en situaciones sociales de lo más cotidianas, con el fin de diseñar prótesis ortopédicas para los numerosos lisiados que había causado la Guerra Civil de Estados Unidos²⁰⁷

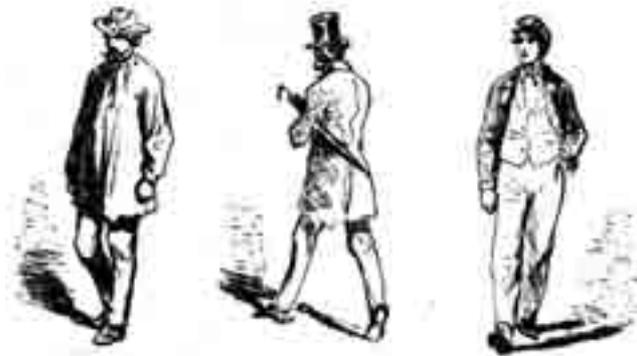


Fig. 137. Dibujos a partir de fotografías del movimiento de personas, destinados al estudio fisiológico y diseño de prótesis ortopédicas. Oliver Wendell Holmes. 1863. Atlantic Monthly Magazine. 1863.

(Fig. 137). Al mismo tiempo, al otro lado del Atlántico, un científico de sobra conocido por las historias de la fotografía, Etienne Jules Marey, también llevaba a cabo investigaciones en este sentido. Desde 1868, este autor, confeso partidario del positivismo, y que gustaba de autodefinirse como un "ingeniero de la vida", estuvo dedicado a la fisiología comparada y gráfica y al análisis del movimiento de los animales y de los humanos.

En uno de sus primeros trabajos, que recopiló posteriormente en el libro titulado "La máquina animal" (1874), empezó a interesarse por el estudio del galope del caballo, y a

intentar demostrar algo que se discutía con ardor en los círculos pictóricos y científicos de la época: si el caballo, cuando galopaba, permanecía en algún instante con sus cuatro patas sin contacto con el suelo. El montaje experimental que ideó para comprobarlo fue de lo más llamativo (Fig. 138); ató a cada pata del animal unos cables elásticos que terminaban en un aparato que, en manos del jinete, registraba cada contacto de las pezuñas con el suelo; de esta forma pudo representar luego gráficamente los distintos modos de caminar -paso, trote y galope- del caballo, y demostrar de paso que efectivamente, en el galope había un instante en el que el animal estaba suspendido en el aire. El credo positivista del autor se veía confirmado poéticamente por los datos experimentales que le habían proporcionado los sentidos:



Fig. 138. Instrumento para medir el movimiento de las patas de un caballo. E. J. Marey. 1874.

*"La sucesión de movimientos de las patas del caballo, al ser rítmica y producir un tono diferente en cada pezuña, forma una especie de música. Ahora bien, esta música es muy sencilla, porque se compone sólo de cuatro tonos. El siguiente montaje nos permitirá obtener la partitura de esta música, escrita por el propio caballo"*²⁰⁸.

Esa partitura equina para instrumento de percusión sirvió -y esto fue lo más curioso- para llevar al lienzo de los pintores una mejor representación pictórica del movimiento del caballo. Sin embargo, algunos artistas empezaban a inquietarse por el hecho de que la ciencia se dedicara a cuestionar los caballos de la historia del arte, su forma de caminar, sus posiciones y sus relinchos, desde aquellos tallados en los bajorrelieves de los templos asirios y egipcios o en la Columna de Trajano, hasta los pintados por los grandes maestros del Renacimiento. Las reticencias del mundo del arte respecto de la fotografía perdurarían durante décadas.

*La cámara no puede competir con la pintura mientras no pueda usarse en el cielo o en el infierno*²⁰⁹.

La representación gráfica de los movimientos, ya perteneciera al mundo animal o a las máquinas, estaba a la orden del día. Los aparatos para registrar o grabar sobre papel los fenómenos móviles se aplicaron a termómetros y barómetros o, directamente, a fenómenos naturales como la lluvia, las mareas, el viento, las descargas eléctricas o los truenos e, incluso a la fuerza ejercida por un caballo al tirar de un carruaje; de esta manera, el mismo

Marey pudo determinar qué clase de cinchas y tirantes producían en la bestia menor fatiga, lo que convertía este estudio en un claro precedente de la actual ergonomía. Este mismo esquema experimental lo aplicó más tarde el científico francés a todo tipo de vehículos rodados, desde los primeros automóviles hasta los trenes, lo que permitía posteriormente estudiar de forma pormenorizada el comportamiento del vehículo a lo largo de un trayecto determinado. Mediante un tipo de representación gráfica que denominó *odógrafo*, podía ver a simple vista el recorrido y los percances que habían sufrido los vehículos en recorridos de hasta 20 kilómetros; de la misma forma, ideó un instrumento parecido, el *esfigmógrafo*, esta vez para registrar en un papel el ritmo cardíaco. (Fig. 139)



Fig. 139. Registrador de la presión sanguínea. E. J. Marey. 1859.

No se sabe bien cómo Marey se decidió a hacer uso de la fotografía para sus estudios de fisiología, ni tampoco cómo no pudo haberse fijado antes en este instrumento, que por aquel entonces gozaba de una popularidad considerable. Al parecer, la pista le pudo venir por una doble vía; bien porque estuviera atento a las publicaciones científicas de la época -algo más que seguro- y que leyera alguna nota de prensa acerca de un investigador inglés, afincado en Estados Unidos, llamado Eadweard Muybridge, que había iniciado en 1872, con la técnica del colodión húmedo, estudios del movimiento de un caballo mediante el disparo continuado de cámaras fotográficas colocadas una detrás de otra (Fig. 140); bien porque fuera animado a hacerlo por su amigo el gran retratista - fotógrafo Nadar.

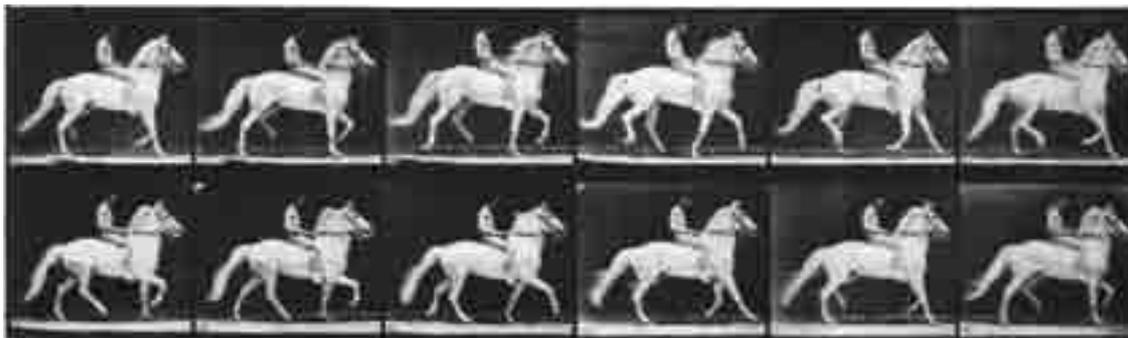


Fig. 140. Al paso. Ilustración 6 del álbum El movimiento de los animales. Eadweard Muybridge. h. 1872.

"Una impresionante y prometedora línea de investigación ha sido recientemente emprendida por el Sr. Muybridge, de San Francisco, a petición del Gobernador Stanford, a saber: la fotografía instantánea de los animales en movimiento. Algunas de

sus primeras fotografías del trote rápido del caballo presentaron aptitudes totalmente inesperadas, incluso absurdas. El método recientemente adoptado parece que obliga al caballo a trotar o galopar frente a doce cámaras puestas en serie, y que por medio de ir rompiendo unos hilos tensados y dispuestos a lo largo del camino, se libera una corriente eléctrica que es la que permite la exposición de las placas...

Estas demostraciones parece que no han sido muy apreciadas por los ciudadanos de San Francisco. La revista Scientific American, sin embargo, y posteriormente La Nature, han publicado algunos fragmentos sacados de las fotografías, despertando un interés general por estas investigaciones. Entre los especialmente interesados se encuentra el Prof. Marey, quien desea ponerse en contacto con el Sr. Muybridge, y solicitarle su ayuda para resolver ciertos problemas de fisiología de difícil solución por otros medios; por ejemplo, cuestiones relacionadas con el vuelo de los pájaros"²¹⁰.

Ni corto ni perezoso, Marey, tras una entrevista en París con Muybridge, en la que compartieron sus aficiones por lo que sería conocido como *cronofotografía*, se puso manos a la obra, y qué mejor instrumento para captar el vuelo de los pájaros que un fusil que disparara no proyectiles, sino instantáneas a la velocidad de 1/500 segundos, algo que ya había conseguido su colega americano (Fig. 141 y 142). De esta forma podría conseguir fotografías sucesivas del desarrollo del vuelo, y no tomas aisladas. Con el rifle fotográfico pudo disparar doce veces por segundo en exposiciones de 1/720 de segundo. El arma era toda una proeza de la mecánica, y un auténtico precedente del cinematógrafo. Al soltar el gatillo un mecanismo de relojería ponía en acción todo los engranajes del aparato con una gran precisión. Aunque la información proporcionada por estas fotografías no añadió gran cosa al conocimiento del mecanismo de vuelo de los pájaros, el mero intento valió la pena y animó a Marey a querer aplicarlo al vuelo de las aves en situaciones extremas, tales como durante las tormentas o contra la acción del viento, o al vuelo errático de los murciélagos.

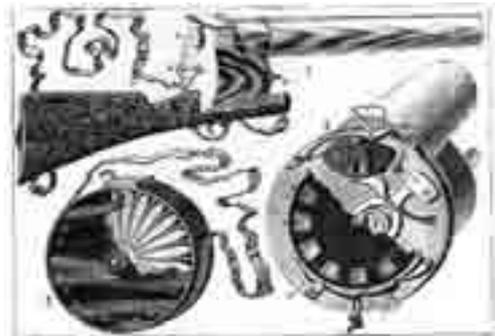


Fig. 141. Fusil fotográfico. (detalles). E. J. Marey. 1882.

Fig. 142. Fusil fotográfico. E. J. Marey. 1882.



La belleza procurada por las cronofotografías impactaron en los círculos de los artistas y también de los fotógrafos, incluido el propio Nadar, quien se sorprendió de la captación que estos científicos hacían de lo fugaz, de aquello que en realidad conocemos pero que no podemos ver; y siendo él un retratista veraz de los más grandes que ha dado la historia de la fotografía, se quejaba del alejamiento de la realidad que conseguían aquellas paralizaciones de la vida. Años más tarde, Walter Benjamin se referiría a esa captación del mundo visual latente e imperceptible a simple vista, que la fotografía pone de manifiesto, como el "inconsciente óptico".

"Persiguiendo la prueba de la prueba, fijándose sólo de lo automático y de la indudable sinceridad de la herramienta", escribe Nadar, este Marey ha desviado de forma singular la fotografía de su recto camino hacia el realismo, abusando de su funcionamiento más elemental. Para ver más allá, ha acorralado lo imprevisible, lo indiscernible, en imágenes plurales en que el objeto es a un tiempo él mismo y otro diferente, en que la forma se agota intentando encontrar una identidad huidiza y renovada. Lo instantáneo muy rápido produce todavía en el observador una impresión paradójica de algo ya sabido pero nunca visto. En su recientísimo libro "El Movimiento", el profesor opina lo siguiente: "¿No será que lo feo es sólo lo desconocido y que la verdad nos ofende la vista cuando la vemos por primera vez?".²¹¹



Fig. 143. Cigüeñas. Ottomar Anschütz. 1884

El intento de captación de los mecanismos del movimiento por medios fotográficos comenzó a ser una práctica muy extendida entre científicos de numerosos países, aplicándose a todo tipo de fenómenos; en Alemania, a partir de 1882, Ottomar Anschütz se dedicó a fotografiar desde el movimiento de tropas y de maquinaria militar tirada por caballos²¹² o el vuelo de las cigüeñas (Fig. 143), hasta el disparo de proyectiles con la ayuda

de su "electrotakiscopio"²¹³, o los primeros ensayos de vuelo sin motor, e incluso la marcha de masas y aglomeraciones de gente en las ciudades. El propio Marey mantuvo una actividad frenética, estudiando el movimiento ondulatorio de una barra cimbreante, las trayectorias seguidas por el lanzamiento de pelotas, completando su estudio sobre el vuelo de los pájaros con unas deslumbrantes fotografías (Fig. 144). Una de las innovaciones técnicas traídas por este investigador fue la fotografía de cuerpos en movimiento sobre un fondo negro, lo que le permitía recoger en una misma placa una secuencia completa y ahorrarse tener que utilizar un ingente número de cámaras y recomponer el movimiento con



Fig. 144. Estudio del movimiento de los pájaros. E. J. Marey. 1887.

numerosas tomas separadas, como era el caso de su colega Muybridge. Esta técnica, que presentaba el ligero inconveniente del cambio de perspectiva entre una toma y otra, redundó por lo demás en unas fotografías de extrema belleza y aportó a un mismo tiempo una nueva forma de captar lo extremadamente rápido; si, hasta entonces, la fugacidad de los cuerpos era atrapada principalmente por la velocidad de obturación de las máquinas fotográficas, ahora lo sería por medio de un disco giratorio que disponía de una serie de aperturas; los pájaros impresionados secuencialmente en una misma placa no respondían a disparos continuados del obturador, que en esta ocasión permanecía abierto durante toda la secuencia, sino al paso de cada una de las aperturas del disco. Este procedimiento -que recuerda los experimentos que años antes había realizado Fizeau²¹⁴ sobre la medición de la velocidad de la luz o al mismo *fenacitoscopio*- se vería completado en poco tiempo con una nueva técnica, definitiva para la captación del movimiento ultrarrápido, esta vez por medio de la propia luz. La utilización de disparos instantáneos de luz (*spark light*) pronto sustituiría al resto de las técnicas, dado que conseguían resultados mucho más notorios. Si la captación del movimiento ultrarrápido dependía de la disminución del tiempo de exposición del material fotosensible y ésta no podía conseguirse por medios mecánicos, era lógico pensar que la única vía posible fuera mediante la reducción del tiempo de iluminación.

Los numerosos experimentos en cronofotografía llevados a cabo a ambos lados del Atlántico estaban abriendo, sin ser muy conscientes de ello, las puertas a la invención del cinematógrafo. Ya en 1880, Muybridge, con la ayuda de un denominado *zoogiroscopio* -una variante del zootropo-, proyectó sus fotografías ecuestres en una pantalla de la Escuela de Bellas Artes de San Francisco²¹⁵. Y el mismo Marey, tomando como modelo sus fotografías de pájaros, mandó realizar en bronce varias esculturas que reproducían las distintas figuras y posiciones de las aves, para luego colocarlas con su orden secuencial en el interior del tambor de un zootropo; de esa forma, al hacerlo girar se reproducía el movimiento locomotor del vuelo (Fig. 145 y 146). Descontento, sin embargo, por haber captado sólo el movimiento de ascenso de los pájaros, y en las condiciones propias de un laboratorio, el ingenio de este hombre pronto le hizo fijarse, como posible solución a este problema, en la construcción de una torre que en aquellos momentos se erigía como nuevo símbolo parisino.

"Mis experimentos hasta el momento sólo han podido ser aplicados al vuelo de despegue. Para poder estudiar el vuelo completo se exigen unas condiciones difíciles de conseguir.

Agradezco la cortesía mostrada por el Sr. Eiffel, quien me ha ofrecido en la gigantesca torre que está levantando (en París) un puesto de observación, que es más de lo que se puede desear. Desde esa altura enorme, los pájaros fotografiados durante sus largos vuelos ofrecerán imágenes fotocronográficas mucho más instructivas que las que he podido obtener hasta el momento"²¹⁶.

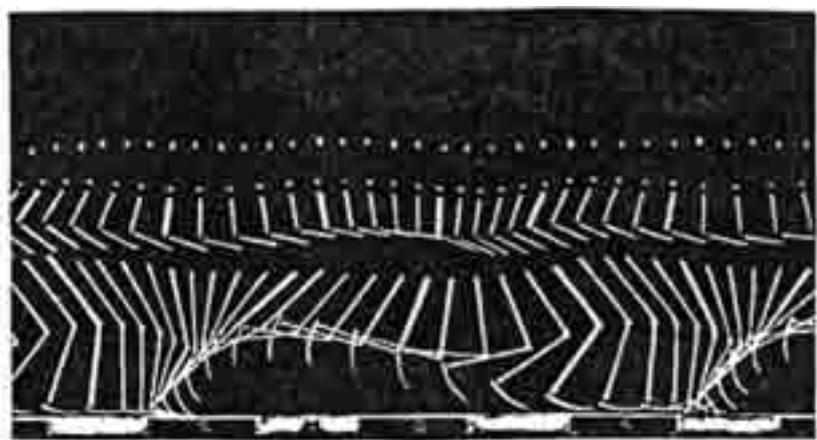


Fig. 145. Figuras moldeadas en bronce a partir de fotografías. E. J. Marey. 1887.



Fig. 146. Zootropo con figuras moldeadas de pájaros a partir de fotografías. 1887. E. J. Marey.

La simbiosis que este tipo de fotografía lograba entre arte y ciencia llamaría enormemente la atención de los artistas de la época, teniendo un peso decisivo en la creación de los nuevos movimientos de vanguardia en torno al cambio de siglo, como fue el caso del futurismo, el surrealismo y el dadaísmo, o de posturas más conceptuales y personales como las de Marcel Duchamp. A pesar de los méritos estéticos conseguidos por Marey con sus trabajos de laboratorio, sus esfuerzos quedaban encuadrados sin duda dentro del campo de la pura investigación; el lanzamiento de pelotas, o el estudio de la caída libre de los cuerpos a través de la fotografía estaban encaminados a desvelar las mismas leyes que siglos antes había enunciado el propio Galileo, pero esta vez con la comodidad de poder determinar la



Figs. 147 y 148. Estudio de cronofotografía. E. J. Marey. h. 1892.

velocidad, la aceleración o el espacio recorrido por los objetos a partir de las sombras indelebles de la fotografía. Con este objetivo, se le ocurrió también otra técnica de estudio del movimiento muy singular: sobre el mismo fondo negro que venía utilizando hasta entonces, emplazaba figuras humanas, también pintadas o vestidas de negro, pero con la salvedad de algunos trazos en blanco a lo largo del cuerpo y de las extremidades; de esta forma, quedaban impresas exclusivamente estas líneas blancas en una sucesión consecutiva a lo largo de la copia, lo que ofrecía al científico una visión esquemática y de conjunto del movimiento que se quería estudiar (Fig. 147 y 148).



Fig. 149. Cámara de película para estudios de cronofotografía. E. J. Marey. h. 1892.

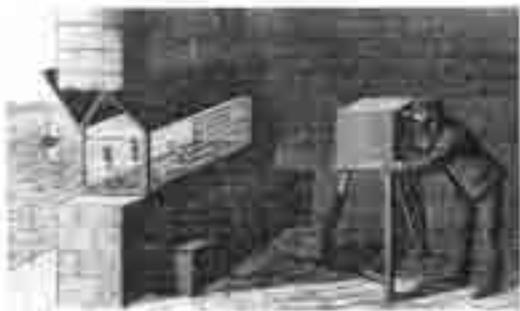


Fig. 150. Marey fotografía unos hipocampos. 1890.

Por aquellos años, alrededor de 1892, y coincidiendo con estas pruebas, se comenzó a utilizar rollos de películas en vez de placas, lo que hacía presentir la llegada inminente del cinematógrafo (Fig. 149). Asimismo, los estudios del mecanismo del movimiento, hasta entonces aplicados casi de forma exclusiva a animales de gran porte, empezaron a ser utilizados en la observación de otros cuerpos más pequeños, tales como medusas, escorpiones, arañas, langostas, etc., hasta llegar a organismos de tamaño microscópico. En este

contexto hay que destacar los singulares estudios hechos por el propio Marey del movimiento de natación de las anguilas y de los hipocampos (Fig. 150), de la vuelta de las estrellas de mar sobre sí mismas y los primeros intentos de estudiar el movimiento de los corpúsculos en la sangre o las fibras musculares (Fig. 151).



Fig. 151. Movimiento de la Vorticelae. E. J. Marey. h. 1892.

La tendencia, como no podía ser de otro modo, era dirigir estos estudios hacia los movimientos menos evidentes e infinitamente más veloces que los observados hasta entonces, y que los científicos empezaban por aquella época a encontrarse en numerosos



Fig. 152. Ensayos de fotografía de balas disparadas por un rifle con iluminación instantánea. C. V. Boys. 1893.

fenómenos físicos. El factor tiempo se convertía en una variable decisiva para el estudio del comportamiento de los cuerpos, más aún cuando se trataba de estudiarlo en fragmentos infinitesimales. Si hasta aquella época, con la ayuda del telescopio y del microscopio, la ciencia había sido capaz de estudiar lo lejano y lo diminuto, ahora se trataba de descomponer al máximo el movimiento de los fenómenos y ofrecer una imagen objetiva de sus conductas instantáneas, algo que no significaba otra cosa que acercarse al análisis del tiempo en unidades

pequeñísimas, ya fuera al observar la trayectoria de proyectiles disparados, la caída de gotas de agua o el flujo de las llamas del fuego (Fig. 152 y 153). Un nuevo campo de estudio se abría gracias a la fotografía; a partir de estas fechas se podría estudiar la periodicidad de los fenómenos, los cambios repentinos o el inicio del movimiento de los cuerpos y, lo que es más importante aún, no sólo limitado a los fenómenos percibidos por los ojos, sino que también se hacía extensible al resto de los sentidos. No era, por tanto, la luz lo único que podía ser estudiado de forma dinámica, sino que también podían serlo la sensación táctil, o el sonido, traducidos a un lenguaje visual. Así, los espejos giratorios podían traducir los impulsos provocados por las ondas sonoras en forma de marcas visuales, que eran recogidas en papel fotográfico; de esta manera se abría un horizonte inmenso para la representación gráfica y visual del sonido. Y lo mismo ocurría con cualquier otro tipo de vibración mecánica o eléctrica que estuviera presente en

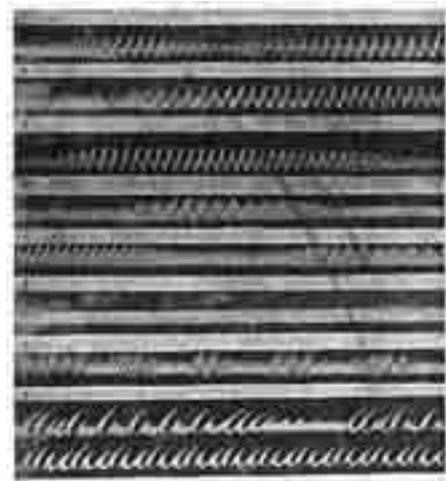


Fig. 153. Cronofotografía de llamas manométricas. Rudolph Merritt. 1897.

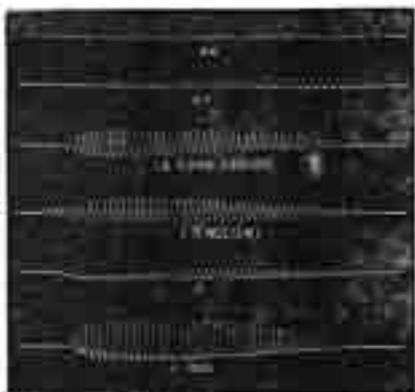


Fig. 154. Grabación de vibraciones articuladas, correspondientes a vocales, por medio de la fotografía. Vocales. E. W. Blake, 1878.

cualquier objeto, máquina u organismo. La combinación del uso de los espejos giratorios²¹⁷ y la producción de destellos instantáneos de luz eléctrica iba a permitir el estudio de múltiples fenómenos que, por su fugacidad, pasaban hasta entonces desapercibidos: desde el flujo de una llama manométrica para el análisis de las ondas de sonido, o el registro de la vibración de las cuerdas de un instrumento, hasta la pronunciación de las vocales por la voz humana (Fig. 154), o las tensiones y estados internos de circuitos y campos electromagnéticos o de máquinas de toda índole.

Los más llamativos por su vistosidad y belleza fueron, sin duda, los de la caída de una gota en un

líquido y los de disparos de proyectiles. Los primeros fueron ya realizados por el insigne físico John W. Rayleigh a partir de 1890, haciendo coincidir el destello luminoso procedente de una bobina de inducción con la caída de una gota de agua, en un tiempo menor a la cienmilésima parte de un segundo. En poco tiempo proliferaría este tipo de prácticas, con el



Fig. 155. Fotografías instantáneas de proyectiles. P. P. Quayle. 1925.

lanzamiento de gotas de todo tipo y objetos en líquidos, llegándose a conseguir velocidades de casi una tresmillonésima de segundo²¹⁸. Entre los segundos cabe destacar el trabajo de P. P. Quayle, llevado a cabo en 1925 (Fig. 155), con el que captó la imagen de una bala a once pulgadas del cañón del rifle que la había disparado, que en cierta manera era la culminación de una serie de investigaciones e ideas que tuvieron su comienzo en los ensayos del físico y filósofo de la ciencia Ernst Mach en Praga entre 1881 y 1887, y en los del sucesor de Marey: Lucien Bull quien consiguió efectuar destellos de luz a razón de 2.000 por segundo. Para conseguir semejante proeza, Quayle hizo coincidir de forma meticulosa el destello cortísimo de una lámpara con un momento exacto de la trayectoria del proyectil; hay que tener en cuenta que para la captación de un bolido de tales características tuvo que reducir la duración del destello luminoso a 0,0006 segundos, pues, por encima de esa fracción, la imagen resultante aparecería borrosa. De aquí la importancia de que los generadores eléctricos fueran del tipo acumulativo, para producir la descarga de golpe y en el momento exacto. En estos experimentos era la propia onda expansiva del proyectil la que, al salir de la boca del arma, activaba un interruptor que a su vez ponía en funcionamiento el circuito. Experimentos semejantes fueron llevados a cabo por C. V. Boys en 1915²¹⁹, obteniendo destellos cercanos a la diezmillonésima parte de un segundo. En este caso los destellos de luz eran activados por la propia bala al pasar e ir cortando una serie de hilos interpuestos en su camino.

No obstante, se produjeron otras aplicaciones de la fotografía al análisis del movimiento, no menos interesantes que las anteriores. En 1897, el profesor Rudolph Merritt²²⁰, con ayuda de una llama manométrica y un espejo giratorio, realizó estudios con los que consiguió visualizar el sonido. En este caso un hablante emitía sílabas delante de la llama mientras una cámara fotográfica con una sucesión de varios fotogramas colocados alrededor de un tambor cilíndrico recogía las variaciones que se producían en la llama. Así, se conseguían distintas figuras en forma de sierra pertenecientes al sonido de las sílabas. Las cuatro primeras de la figura adjunta (ver Fig. 153), por ejemplo, pertenecían a los sonidos

da, ah, pos y tan. Paradójicamente, y observado desde otro punto de vista, se trataba de una película de cine mudo en la que sólo se podía ver el sonido. De esta misma forma se obtuvieron figuras procedentes de voces de cantantes de opera y de instrumentos musicales. Otro experimento interesante, pero esta vez en el campo de la balística, fue el estudio por medio de la fotografía de lo que en esta ciencia se conoce como *error de partida* en los disparos. Esta desviación angular que se produce al dispararse un arma fue determinada por medios cronofotográficos, recogiendo en una misma placa las vibraciones del arma y las de un diapasón con un periodo conocido, lo que ayudaba a determinar la posición de la boca del arma en todo momento.

También los estudios experimentales del movimiento de los fluidos llevados a cabo por medio de la fotografía en el contexto de las investigaciones aeronáuticas fueron de gran utilidad en este sector²²¹. Se estudiaba el movimiento de los líquidos enfrentándose a obstáculos, su comportamiento a través de canales, la agitación, posición y velocidad de partículas depositadas en ellos, etc.,. Experiencias parecidas se llevaron a cabo con el movimiento del humo para el estudio de las corrientes de aire²²². También cabe destacar los estudios de las estructuras formadas por los chorros de agua y por las variaciones que presentan flujos por efectos del sonido, algo que comenzó a estudiarse en fechas tan lejanas como 1833 por medio del fenaquitiscopio, y que en esta ocasión se pudo hacer más cómodamente mediante la fotografía. Las ondas formadas en líquidos -como las que vemos en las superficies de los estanques cuyo estado de reposo ha sido alterado por el lanzamiento o inmersión de algún objeto- también fueron estudiadas con la ayuda de diapasones y de la técnica de iluminación por flashes de luz instantáneos. La amplitud y la frecuencia de sus ondas informaban sobre la tensión superficial del líquido, así como de los fenómenos de reflexión y de interferencias.

En todas las ramas de la física, y más en particular en aquellas en las que la electricidad

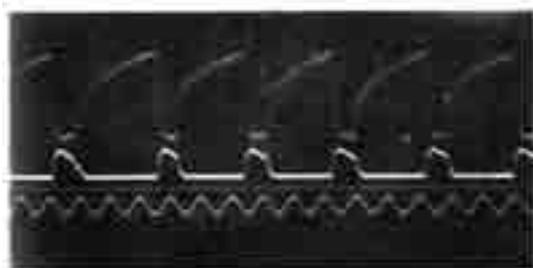


Fig. 156. Corrientes de circuito primarios y secundarios de una bobina de inducción de un motor de coche. h. 1920.

ocupa un papel importante, el registro de los movimientos oscilatorios de los cuerpos es de vital importancia. También aquí, la fotografía fue de gran ayuda para la obtención de informes gráficos que a simple vista mostraban el comportamiento de los cuerpos a lo largo del tiempo (Fig. 156). De igual forma que se puede obtener una representación visual de la vibración de un diapasón mediante la colocación, en el extremo de uno de sus brazos de un pequeño espejo, que será el encargado de reflejar un rayo de luz contra un rollo de

película fotográfica, también se puede registrar asimismo, por procedimientos similares, tal como lo hacen los actuales oscilógrafos electrónicos, las variaciones de las corrientes eléctricas presentes en dinamos, motores, bobinas de inducción, teléfonos, o aquellas otras vibraciones provenientes del interior de motores de combustión, las variaciones de presión en el interior de tuberías, etc. (Fig. 157 y 158)

Por último, una experiencia muy interesante en la que la fotografía vino a prestar un gran servicio fue el experimento sobre la rigidez de la tierra, realizado en la década de los veinte por Albert Michelson. Este autor, al que dedicamos unas páginas en anteriores capítulos por ser el creador del interferómetro, instrumento con el que confirmó lo desacertado que era seguir pensando en la existencia del éter como elemento interestelar que hacía posible la propagación de la luz- decidió idear un mecanismo parecido para comprobar hasta qué punto era rígido nuestro planeta. Haciendo

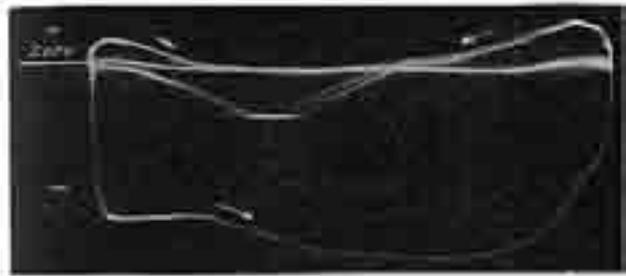


Fig. 157. Fotografía de la variación de la presión en un punto de un tubo por el que se ha hecho pasar, de forma intermitente, un flujo de aire. h. 1920.

uso de una cubeta plana en forma de U llena de agua, y colocándola bajo tierra para evitar las diferencias de temperatura, colocó en ella dos placas de cristal de manera que recogieran los cambios de nivel del agua de acuerdo al movimiento de atracción que la tierra sufre con respecto al sol y la luna. De esta forma, utilizando un carrete de película cinematográfica tomó fotografías durante todo un año para detectar si se producían bandas de interferencias. Al observar el cambio de la figura de la tierra a partir del desplazamiento de las bandas, dedujo que la tierra tenía una rigidez igual a la del acero²²³.

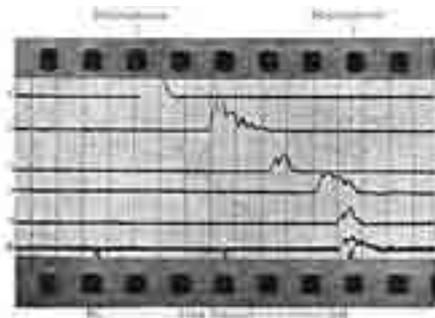


Fig. 158. Película cinematográfica relativa a los tiempos de recepción de un sonido procedente de seis micrófonos emplazados en seis estaciones de transmisión diferentes. Equipo utilizado en la primera guerra mundial. h. 1916.

Si bien en este caso la técnica cinematográfica no fue realmente utilizada, puesto que los fotogramas de la película fueron estudiados de forma individual y por separado, sin embargo, por aquel entonces, el cine ya había comenzado a prestar sus servicios a la investigación científica.

7.3. El cinematógrafo

En la ciencia, la diferencia entre la fotografía y el cine no es tan marcada como en el arte. La clara distinción que vemos en el lenguaje y las formas expresivas que nacen de la fotografía y del cine artísticos, no se produce en el ámbito de la ciencia, donde se asiste a una transición muy diluida entre uno y otro modo. En esta extensa zona fronteriza que existe entre la fotografía y el cinematógrafo aplicados a la investigación científica se encuentra la cronofotografía. Por ello, resulta muy arriesgado fijar una fecha o un invento concreto que establezca un punto de partida de la historia del cine; se trata de un proceso que se desarrolla lentamente: entre las proyecciones de Muybridge en San Francisco con la ayuda de un zoogiroscopio -ya comentadas en páginas anteriores-, las aves esculpidas vistas a través del

zootropo de Marey y la aparición del kinetoscopio de Edison²²⁴ y el cinematógrafo de los Lumière (1895), transcurren más de quince años. La primera vez que se impresiona una secuencia continua de fotogramas de un mismo fenómeno para ser luego proyectada consiguiendo la ilusión de movimiento, no corresponde a ninguna fecha puntual o a un acontecimiento determinado; ésta sería además, una perspectiva que no se corresponde con el planteamiento general del presente estudio, que prefiere mantener una visión de los hechos más evolutiva e histórica. Dentro del contexto de la ciencia, señalar un límite de demarcación preciso entre los usos del cine y la fotografía carecería aún más de sentido porque los fotogramas sucesivos de un evento se estudian unas veces en su conjunto, y otras como cuadros independientes, como fotografías sueltas; en muchas ocasiones, las cronofotografías parecerán cine, y en otras, el cine interesará por sus fotogramas aislados. En todo esto influye que la propia actividad científica gusta de medir y de observar con detenimiento, lo que supone paralizar el fenómeno, para analizarlo en un instante determinado. La visión de conjunto, dinámica y, digamos, irreversible que proporciona el cine es demasiado abrumadora y volátil para la mentalidad y el hacer, por poner un ejemplo, de un físico; por el contrario, hay que reconocer que éste no es ese el caso de aquellos científicos que provienen de las ciencias más ligadas a los comportamientos humanos: antropología, sociología, psicología, historia, o la misma biología, que están más acostumbrados a lidiar con fenómenos complejos, abiertos y llenos de incertidumbre. De aquí, que muchos científicos valoraran la llegada del cinematógrafo más por lo que suponía de innovación y destreza tecnológicas que por lo que reportaba al conocimiento científico. En verdad, los frutos conseguidos por la fotografía fija en el terreno de la ciencia han sido inconmensurablemente mayores y de mayor trascendencia que los facilitados por la fotografía en movimiento. El conocimiento suministrado por el cine a la ciencia, al menos hasta la segunda década del s. XX -límite cronológico de este estudio-, es muy limitado; lo que no quiere, sin embargo, substraer ningún valor al fenómeno. A esto contribuyó en gran medida el que la tecnología cinematográfica estuviera hasta aquellas fechas en una fase experimental y de acondicionamiento, pues hubo que construir nuevas cámaras y proyectores con mecanismos mucho más sofisticados que los de la fotografía. Los parpadeos continuos de luz, las rayas y desperfectos en las películas, el control del movimiento del paso de fotogramas, las vibraciones producidas por los mecanismos de arrastre (manivelas, resortes o primeros motores), eran elementos que había que poner a punto, por lo que, en esta fase, fueron muchos los científicos que prefirieron esperar hasta que la tecnología obtuviera mejores resultados.

De todas formas, la ciencia no quiso esperar mucho tiempo para intentar sacar frutos al nuevo invento. Con el antecedente del artilugio inventado por el astrónomo M. Janssen, denominado *revolver photographique*²²⁵, claro precursor de la cronofotografía, con el que este científico recogió secuencialmente los fenómenos del tránsito de Venus frente al sol en 1874²²⁶, y del disco solar y de la fotosfera²²⁷ en 1878, encontramos también en esta ciencia una de las primeras aplicaciones del cinematógrafo (Fig. 159). Ya en 1898 se decidió emplear en Francia esta nueva tecnología para la captación del eclipse de sol de ese mismo año. Y se aprovechó la ocasión para hacer tomas del amanecer y del atardecer, y de la bóveda celeste durante el transcurso de toda una noche, eso sí a baja velocidad, para poder

ser luego proyectada de forma acelerada y con duración de unos pocos minutos en la Sociedad Francesa de Astronomía²²⁸. A partir de estas experiencias se llevarían a cabo filmaciones de otros tipos de fenómenos celestes, como las auroras boreales, donde el cinematógrafo aportaba una excelente información sobre cada una de las fases que cubría este tipo de fenómeno. (Fig. 160)

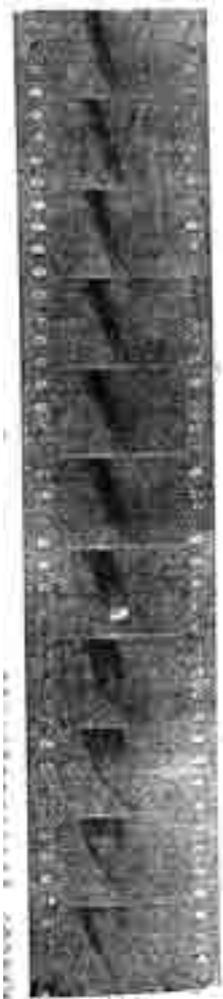


Fig. 160.
Fotografías sucesivas de una aurora boreal. Carl Störmer. 1910.

Esta doble posibilidad que brindaba el cine de jugar con las velocidades de filmación y de proyección, consiguiendo acelerar o ralentizar el curso de los fenómenos, fue una de las cualidades que más atrajo a los científicos de estos

primeros años. Ya en 1888, el físico Ernst Mach apuntó la posibilidad de utilizar la reproducción acelerada de fotogramas, que habían sido grabados en tomas separadas y en periodos largos de tiempo, para facilitar el análisis y la observación de fenómenos como el crecimiento de las plantas, el desarrollo de los embriones o el movimiento de los planetas ²²⁹. Lógicamente los avances conseguidos por la cronofotografía, en cuanto a captación de los movimientos más fugaces, serían aplicados tan pronto como los sistemas mecánicos se hubieron perfeccionado. La obra de Marey, continuada por el Instituto que llevaría su nombre, pronto comenzó a mostrar imágenes sorprendentes, tales como las del vuelo de una mosca atravesando una burbuja de jabón. Los avances de la cronofotografía se aliaban con los de la fotomicroscopía; la captación de movimientos extremadamente veloces de cuerpos diminutos se conseguía con la técnica de la iluminación de destellos de flashes ultrarrápidos. Esta técnica se completaba, las más de las veces, con el uso de la estereoscopia, mediante la filmación en paralelo del objeto con dos películas, lo que permitía posteriormente una visión tridimensional y muy viva de los fenómenos. A un mismo tiempo, y a fin de proporcionar elementos de referencia que permitieran un análisis experimental y exhaustivo del fenómeno, se grababa en cada fotograma la vibración proveniente de un diapason con una determinada frecuencia, o la imagen superpuesta de un cristal reglado en una determinada escala, para situar el objeto, respectivamente, en el tiempo

o en el espacio. El montaje experimental no podía ser más sofisticado, cuando se trataba además de filmar fenómenos tan incontrolados y erráticos como era el vuelo de una mosca. Vitrinas construidas ex-profeso, luces para atraer la atención del insecto o pinzas electromagnéticas para retenerlo, son detalles bien ilustrativos de la meticulosidad en el trabajo de estos científicos. Toda esta labor quedaba completada con el control que se realizaba en la proyección, ralentizando las imágenes para conseguir una mejor observación, a la par que una gran espectacularidad, del fenómeno.



Fig. 159. Tránsito de Venus, 1874.
Daguerrotipo, placa completa.
Pierre- César Jules Janssen.

Este mismo esquema experimental se aplicó sin demora al mundo microscópico de las células, de las bacterias, del movimiento corpuscular en la sangre, e incluso a fenómenos como los procesos digestivos en pequeños mamíferos, a los movimientos de los embriones, o al nuevo campo de la observación por rayos X del interior del cuerpo humano. Las dificultades propias de la fotomicroscopía se vieron acentuadas notablemente por el hecho de tener que retratarse organismos diminutos en continuo movimiento, lo que se traducía en serios inconvenientes para la fijación del foco o de los puntos de iluminación. Aunque se daba el caso de científicos que se mostraban un tanto reticentes ante estas nuevas técnicas por considerarlas alardes tecnológicos más que verdaderas fuentes de conocimiento, qué duda cabe que había otros, como los fisiólogos y médicos de la época, que no pudieron compartir esa opinión, al contemplar por primera vez en sus vidas fenómenos tan espectaculares e instructivos como los procesos de ataque y destrucción de microorganismos en el interior del flujo sanguíneo, o los procesos de contagio e infección producidos en la sífilis o en la enfermedad del sueño²³⁰. Algo parecido les ocurrió a zoólogos y botánicos al ser presentadas ante el público las primeras filmaciones de los primeros estados de desarrollo de los animales o de la germinación y el crecimiento de las plantas, como fue el caso de la película de I. G. Farben, titulada *Blumen-Wunder* (La maravilla de las flores, 1927) que tanto entusiasmo provocó en la época²³¹.

En el mundo macroscópico tampoco se hizo esperar la utilización del cinematógrafo para retratar el comportamiento de todo tipo de animales, iniciándose una tradición documental que llega hasta nuestros días. En la primera década del siglo comenzaron a mostrarse, para delicia de geólogos, antropólogos, botánicos, etc., las primeras películas de animales salvajes, tribus recónditas, expediciones científicas a las zonas más remotas del planeta, como la retratada en *90° South*, uno de los primeros documentales de la historia, realizado por H. G. Ponting²³²; obras amenizadas en muchas ocasiones con las visiones microscópicas del mundo de los insectos, con el comportamiento nunca observado de la vida íntima de los animales o con la visión del mundo interior de los organismos con la ayuda de los rayos X. Es interesante observar, al hilo de estos acontecimientos, cómo surgió por esta época la separación del uso científico del uso artístico del cinematógrafo, a la par que se diferenciaban las dos tendencias fundamentales del cine narrativo: la ficción y el documental. Desde sus orígenes, los hermanos Lumière ya habían reconocido al propio Méliès²³³ que veían el cine más como una curiosidad científica que artística, lo que estaba en consonancia con esa dualidad de esencias, que tanto gustó al teórico del cine Siegfried Kracauer, entre el cine realista y el formativo, tendencias por lo demás bien representadas por estos primeros autores. Este continuo que se despliega desde el simple fotograma, como prueba física de un fenómeno, hasta la máxima combinación de ellos en una fórmula narrativa de ficción, refleja el amplio camino que va desde la ciencia pura al arte. A mitad de camino, unas veces en el terreno científico, otras en el artístico, nos encontramos con las fórmulas mestizas de la fotografía y el cine documentales. No es casualidad que estas formas de expresión sean las preferidas por las *ciencias sociales y humanas*, que están obligadas a tratar con fenómenos más indeterminados. O que aquellas más afines al retrato del mundo físico, como son las películas que recogen el crecimiento de un cabello o el

desdoblamiento de una célula, sean elevadas a la categoría de *cine puro* por algunos otros ensayistas y teóricos²³⁴ .

Pronto se comprendió las grandes posibilidades que tenía el cine para la didáctica de la ciencia. Ya en la Feria Internacional de 1900, celebrada en París, los mismos hermanos Lumiere mostraron un documento estremecedor donde se podía observar directamente la amputación en vivo de una pierna a manos de un cirujano²³⁵. El mismo fervor que conseguía el cine de ficción en la sociedad de principios de siglo, se producía en el ámbito de las universidades y de los laboratorios. Sin embargo, en el ámbito de la ciencia experimental, las reticencias seguían manifestándose; por un lado se cuestionaba hasta qué punto las imágenes que se ofrecían eran veraces o fruto del montaje, y se exigía, al menos, que se mostrara la forma en que habían sido filmadas; también se lanzaba una voz de alarma por el alejamiento que el cine provocaba en los estudiantes con respecto a las labores experimentales: el mundo ofrecido por las imágenes, exponían los más suspicaces, era en verdad muy vistoso y acercaba los alumnos a realidades remotas y ocultas, pero se prefería el verdadero contacto de los investigadores con la práctica diaria de los laboratorios.

Al mismo tiempo, ya en el ámbito militar, los estudios balísticos encontraron en la fotografía de alta velocidad una técnica ideal para analizar el movimiento veloz de los proyectiles o el efecto de los impactos, como fue el experimento realizado por C. Cranz en 1909 con el que logró exponer 500 fotogramas en la décima parte de un segundo. A un mismo tiempo, no se les ocurría otra aplicación posible del cinematógrafo que como medio de adiestrar a la tropa en el disparo contra blancos móviles. Se proyectaban películas de caballería y los soldados, apostados con sus armas frente a las imágenes, seguían con sus miras a los jinetes, hasta comenzar agujerear frenéticamente la pantalla²³⁶ (Fig. 161). Unas prácticas, por lo demás, verdaderamente precursoras de las simulaciones de vuelo. En esta línea de actuaciones, sirva de anécdota para ilustrar hasta qué punto las imágenes en movimiento pueden desempeñar un papel esencial en la creación de mecanismos teledirigidos, el proyecto de paloma kamikaze del psicólogo conductista B. F. Skinner, quien en el transcurso de la II Guerra Mundial, condicionó a estas aves a picotear en el interior de bombas teledirigidas para llevarlas con precisión a los blancos elegidos. Para suerte de todos y especialmente de las pobres palomas, las autoridades militares de entonces abortaron el proyecto²³⁷ (Fig. 162).



Fig. 161. Soldados disparando a objetivos móviles proyectados en una pantalla. Frederik. A. Talbot. 1913.

En la década de los veinte, el reto tecnológico que se presentaba al cinematógrafo era la consecución del color, por una parte, y la incorporación del sonido a las películas por otra. Varios intentos se hicieron en este último sentido, apareciendo diferentes técnicas de sonorización en estas fechas: desde el *cameraphone*, que acompañaba de forma



Fig. 162. Proyecto paloma. 1940. Palomas kamikazes. Teledirección de misiles por medio de palomas. B. F. Skinner.

sincronizada los movimientos de los labios de los actores, al *kinetophone* de T. A. Edison, al *photogramophone* de Ruhmer, hasta llegar al *phonofilm* del ingeniero Lee de Forest, más conocido por sus grandes contribuciones al desarrollo de las comunicaciones por radio. Y es que, por entonces, las tecnologías comenzaban a filtrarse de un campo a otro, siendo de relevancia las incursiones que tanto la fotografía como el cine tuvieron en tecnologías aparentemente tan distantes como las telecomunicaciones o la informática.

Capítulo 8. Fin de camino

El fin de trayecto al que llegó la ciencia en la segunda década del s. XX tiene mucho que ver con la música y con el papel desempeñado por la imagen técnica en la representación y el conocimiento científico. La formulación de la teoría cuántica por Max Planck en 1900 parte del estado de desarrollo en el que se encontraban en esas fechas la termodinámica y el análisis espectroscópico de las radiaciones. Pero puede que la música ocupara también un puesto importante, al menos en esa intuición que todo científico debe tener para aventurarse por nuevas rutas llenas de desafíos, algo que Planck tan bien supo poner en práctica. La teoría de los *quantos de acción* consistió básicamente en el descubrimiento de un nuevo lenguaje con el que entender y expresar el mundo físico y, a la vez, en el abandono de una tradición de siglos que había apostado por afirmar que la realidad que nos envuelve, la naturaleza en su conjunto, se manifiesta ante nosotros como una continuidad y que los fenómenos y los cuerpos son, por tanto, infinitamente divisibles. La cuántica, a resultas de la observación de la distribución de los espectros que irradiaban los cuerpos en relación con las temperaturas a que eran sometidos, mantuvo, por el contrario, que no existe una continuidad entre un estado y otro de la energía, sino que ésta salta de una posición a otra sin posibilidad alguna de detenerse en estados intermedios. Números enteros, quantos, cantidades discretas, saltos, unidades que se forman al ser multiplicadas por una nueva constante universal denominada h : la constante de Planck. Y ¿qué puede tener esto que ver con la música o con la imagen técnica? El azar en la vida quiso que este científico alemán, unos años antes de dar a conocer sus brillantes resultados, trabara amistad con Carl Andreas Eitz, un músico autodidacta que le dio a conocer el secreto de los diferentes tipos de afinaciones.

"Quiso la casualidad que, justo al comienzo de mi actividad en Berlín, me viera inmerso durante algún tiempo en un trabajo relacionado con un área de estudios alejada de mis intereses específicos en el campo de la Física. Precisamente por estas fechas fue enviado al Instituto de Física Teórica, como pieza de inventario, un gran armonio construido en entonación justa natural por Carl Eitz...".²³⁸

Tal vez fuera también un juego del destino que un músico como Eitz se hubiera dedicado extrañamente a la construcción de un instrumento científico que hacía posible la visualización de los distintos tipos de ondas. Es posible que el conocimiento de las afinaciones ayudara a Planck a conceptualizar su teoría, y que este instrumento le permitiera hacerla visible en su imaginación. Es difícil de determinar, hasta qué punto estos dos hechos influyeron en esa gran intuición de Planck y le dieron valor para alejarse de la senda marcada por la ciencia oficial, descubriendo así una nueva forma de entender el mundo que nos rodea. No cabe duda, sin embargo, que existe una gran relación entre los cambios revolucionarios que vivió la música en su paso de la afinación natural a la temperada con la llegada del barroco, y aquella otra que experimentó la ciencia con la formulación de la teoría cuántica. En ambos casos se descubría un nuevo código, oculto hasta entonces en la

naturaleza, con el que se abrían nuevas posibilidades de expresión y entendimiento. El camino en solitario que emprendió Planck, menospreciado a veces por muchos de sus compañeros, se asemejaba también en cierta manera a los cambios decisivos que experimentaba la música por aquellas fechas, con las obras innovadoras de Debussy, Mahler o Wagner, cuyas piezas se enriquecieron armónicamente con el uso de la escala cromática completa. En realidad, la cuántica supuso la creación de un nuevo lenguaje que permitió hacer un nuevo tipo de ciencia, al igual que la entonación temperada abrió en su día una nueva posibilidad de expresión a los músicos, o como, en un futuro no muy lejano a la formulación de la cuántica, el abandono de la tonalidad abriría las puertas al universo dodecafónico.

La teoría cuántica, en este sentido, rompió con la tradición impuesta por la ciencia anterior, y más en particular con la Óptica y el Electromagnetismo desarrollados durante el s. XIX, que concebían la distribución de la energía y de los espectros emitidos y absorbidos por los cuerpos como un continuo. Se pensaba que la intensidad de las radiaciones estaba en relación directa con la longitud de onda: así conforme ésta decrecía, la otra aumentaba, llegándose a conseguir los mayores valores en la región del ultravioleta. Pero pronto comenzaron a surgir una serie de *nubes oscuras*, como le gustaba denominarlas al físico William Thomson, que contradecían esta visión de la física clásica; una de estas nubosidades puso en duda que dicha distribución fuera tan regular como se presumía, puesto que se producía un fenómeno, conocido como la *catástrofe ultravioleta*, que no seguía esa regla, concretamente cuando se trataba de la radiación producida por un cuerpo negro²³⁹, la intensidad se mostraba muy débil en la franja del ultravioleta, para luego ir creciendo y adoptar la forma habitual y de acuerdo a la distribución clásica.

La única forma de encontrar una explicación a este fenómeno fue acudir a la termodinámica. Planck entendió la distribución del espectro de los cuerpos en términos de entropía -no de temperatura, tal como venían haciendo la mayoría de los físicos de la época; y ésta, como índice del desorden del sistema, en términos de probabilidad. La emisión de radiación por los cuerpos debía producirse no de forma continua, sino a saltos, en *quantos*, de forma discontinua, pero, a la vez, de una forma probabilística, lo que abrió las puertas a cierto grado de indeterminismo en física.

En un principio, la teoría de Planck quedó un tanto en el limbo, a la espera de resultados y confirmaciones experimentales; grande era el reto que suponía admitir sus planteamientos cuando se cuestionaban de un golpe tanto el principio de causalidad en la ciencia como la drástica separación histórica que existía entre la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular de la luz. La fotografía desempeñó en todo este proceso un papel decisivo, pues por entonces ya contaba con una amplia experiencia como instrumento de medición y de observación y, normalmente, era ella la que venía con sus huellas de sombra a confirmar las presunciones de los científicos y a servir de piedra angular donde las hipótesis pudieran tomar un nuevo impulso. La espectrografía fue verdaderamente determinante en toda esta epopeya científica. La imagen tecnológica en su conjunto sería, además, testigo de primera línea de la entrada de la ciencia en el callejón sin salida que le vendría impuesto años más tarde por

los nuevos límites a la capacidad de observación humana, que avivaría el eterno dilema entre especulación y experiencia con el que iniciamos este estudio. Entretanto, la teoría cuántica comenzó a ganar adeptos.

El primer fenómeno que iba a quedar explicado por el nuevo modelo cuántico, y que serviría para darle un fuerte espaldarazo a esta innovadora teoría, fue el *efecto fotoeléctrico*, siendo el artífice de este trabajo un joven científico, proveniente del Instituto Politécnico de Zurich: Albert Einstein. Este se había interesado vivamente por este curioso efecto, que ya había sido observado por Heinrich Hertz en 1887, y que consiste básicamente en la producción de electricidad a partir de la luz. Cuando se ilumina una placa de zinc con un rayo de luz ultravioleta, se puede comprobar cómo la placa se carga de electricidad. Este comportamiento de la luz con la materia, que explica el funcionamiento de los fotómetros de nuestras cámaras fotográficas, de la televisión, o de todos los dispositivos actuales que hacen uso de las células fotoeléctricas, era difícilmente explicable mediante la teoría ondulatoria de la luz, que era el modelo que prevalecía en la ciencia académica desde los años de Fresnel. De acuerdo con este modelo y con los principios formulados por Maxwell y Lorentz en torno a los fenómenos del electromagnetismo, este fenómeno de electrificación de la placa de zinc quedaría explicado por el desprendimiento de electrones causado por la acción de la onda electromagnética incidente, y más en concreto, por la intensidad que tuviera esa fuente de luz. Einstein, en 1905, comprobó que, efectivamente, la incidencia de un rayo de luz sobre un metal agitaba los electrones existentes en él y que este revuelo hacía desprender algunos electrones hacia el exterior, pero que, por el contrario, la cantidad de electrones despedidos no dependía de la fuerza de la luz, sino exclusivamente de su longitud de onda o lo que es lo mismo de su color. Existía, por tanto, una especie de *umbral* para cada frecuencia, de forma que por debajo de ese límite no se producía el *efecto fotoeléctrico*; y viceversa, a medida que la frecuencia aumentaba por encima del umbral -o lo que es lo mismo con longitudes de ondas cada vez más cortas- la velocidad de los electrones despedidos se incrementaba. De la intensidad sólo dependía, pues, la cantidad de electrones despedidos, pero no su velocidad, que venía a depender, exclusivamente, de la longitud de onda. Este hecho contradecía la concepción ondulatoria de la luz, que afirma que la frecuencia de la luz no está relacionada con la energía. Por ello se hizo necesario un regreso a la teoría corpuscular, y entender el fenómeno fotoeléctrico en términos de que eran granos de luz, o *fotones*, como los llamaría el propio Einstein, los que impactaban en el metal y, con cierta probabilidad, chocaban contra algún electrón hasta desprenderlo de la materia a la que estaba ligado.

Si el desprendimiento de electrones dependía de la energía de cada fotón y no de su número, se hacía patente que era la frecuencia de la onda luminosa la responsable de la energía del fotón. Esta fue la razón por la que Einstein tuvo que acudir a la recién bautizada, y hasta cierto punto olvidada, teoría de Planck, pues era la única que hasta el momento relacionaba energía y frecuencia, pudiendo así determinar que los fotones no eran otra cosa que *quantos* de luz, que seguían las leyes enunciadas por su compatriota. Quedaba la duda no obstante, de cómo seguir compaginando en el futuro el acervo de explicaciones y hallazgos proporcionados por la teoría ondulatoria a partir de los imponentes trabajos de

Huygens, Young, Fresnel, o Maxwell, etc., con aquellos otros procedentes de la teoría corpuscular y defendidos desde los tiempos de la Antigua Grecia hasta llegar a Newton. Fue el mismo Einstein quien lanzó las primeras ideas que conciliaban ambos modelos, afirmando que ondas y corpúsculos eran aspectos complementarios de una misma realidad.

La explicación del fenómeno fotoeléctrico, por tanto, además de proporcionar a su autor el premio Nobel de Física en 1921, supuso dar un fuerte impulso a la teoría cuántica en el seno de la física, a la par que obligó a dar un primer paso hacia la aceptación, por vez primera en la historia, de la doble naturaleza de la luz. Pronto, esta vía de estudio se mostraría muy fructífera.

"Cada vez que una radiación canjea energía con la materia, este canje puede describirse como la absorción o emisión de un fotón por la materia, pero cuando se quiere describir el desplazamiento global de los corpúsculos de luz en el espacio, hay que recurrir a una propagación de ondas"²⁴⁰.

La misma teoría cuántica asentaba las bases para este desarrollo dual, porque a partir de ahora se trataba de entender esta dicotomía desde la perspectiva de que existía una onda asociada a un corpúsculo. Einstein la llamaba la *onda fantasma*, porque se comportaba, a su parecer, de una manera compleja: el corpúsculo o fotón se desplegaba en el interior de ella, pero sin mostrar una posición determinada; se sabía que estaba allí y se podía prever su comportamiento, pero siempre dentro de unos márgenes, lo que concordaba con el carácter probabilístico de los enunciados cuánticos. A la velocidad del fotón le ocurría otro tanto de lo mismo, pudiéndose determinar su valor, pero dentro de unos márgenes. Las puertas hacia un tipo de indeterminismo, muy a pesar del propio Einstein, quedaban abiertas.

Pronto estas suposiciones sobre la doble naturaleza de la luz quedarían confirmadas por los trabajos experimentales; pero, antes de que esto ocurriera, la teoría dual recibiría un nuevo impulso. En 1923, Luis de Broglie, admirador a un mismo tiempo de Fresnel y de su teoría ondulatoria de la luz y de las recientes ideas de Einstein, decidió dar un paso más en este camino de unificación de ambas teorías, postulando que esta doble cualidad de ondas y corpúsculos se podría aplicar al conjunto de la naturaleza y a todas las partículas materiales, incluida el electrón. Así, la propia materia debía incluir propiedades ondulatorias en el seno de su estructura atómica. Si los fotones, esos entes hipotéticos creados por Einstein, estaban asociados a ondas, ¿por qué no iba a ser también el caso de los electrones? Esta suposición daría lugar a la formulación de una nueva teoría que tomaría el nombre de Mecánica Ondulatoria.

Una vez más, los científicos se adelantaban a los hechos con la formulación de hipótesis, respaldadas por rigurosas formulaciones matemáticas. Pero en poco tiempo, tales presunciones fueron confirmadas por los estudios experimentales y por la propia fotografía. En el caso de Einstein, si la idea de la doble naturaleza de la luz había tenido su origen en un hecho experimental como fue la constatación del *efecto fotoeléctrico*, otro efecto físico,

esta vez observado por Compton en 1923, supondría el primer espaldarazo a la nueva teoría sobre la luz. El efecto Compton consiste en que los rayos X, al chocar contra la materia, se dispersan, perdiendo energía y adquiriendo a su vez mayor longitud de onda, lo que venía a demostrar que se trataba de una onda corpuscular. Y en el caso de de Broglie, serían unos experimentos desarrollados en 1927 por Davisson y Germer, en los laboratorios Bell de Nueva Jersey, los que confirmarían sus teorías. Nos encontramos de nuevo frente a una de esas peculiares alianzas que la ciencia suele establecer con lo fortuito. Estos autores estaban bombardeando níquel metálico con haces de electrones, cuando un día, un accidente de laboratorio hizo que el metal se calentara demasiado adquiriendo la forma de cristal, condición ideal con la que se pudo comprobar cómo los electrones, al pasar a través de estas estructuras cristalinas, se difractaban. De hecho, fueron las placas fotográficas colocadas detrás de la plancha metálica, las que mostraron las bandas de interferencias causadas por este efecto. (ver Fig. 130). Lo que en su día se había comprobado con los rayos X al ser lanzados contra las estructuras atómicas de los cristales -y que tantos frutos traería a la ciencia- ocurría de nuevo, pero en esta ocasión con electrones.

Los trabajos de Einstein y de Broglie sirvieron de base para el establecimiento de la Mecánica Ondulatoria, que recibiría un respaldo mayor con el desarrollo matemático de sus principios a cargo de Erwin Schrödinger. Paralelamente, otra vía de investigación, iniciada por Rutherford a partir del descubrimiento de la radiactividad por Becquerel y de los brillantes estudios del matrimonio Curie, estaba cosechando importantes frutos. Ya vimos cómo esta nueva fuente de energía, descubierta gracias a la fotografía, comenzó a abrir las puertas para la comprensión de la estructura interna de los átomos. Por entonces, se conocía tan sólo una partícula subatómica, el electrón, que fue detectado por J. J. Thomson a partir de sus experimentos con las radiaciones producidas en el interior de los tubos de vacío. Pero fueron las nuevas radiaciones α , β , y γ , originadas por los elementos radiactivos, las que ayudarían a desentrañar otras partículas atómicas y a ir fijando los distintos modelos de comprensión del átomo. Al electrón, de carga negativa, pronto se le unió el protón, que compensaba con su carga positiva el complejo atómico, sólo que éste último era mucho más pesado, con una masa 1.836 veces mayor que la del electrón. Hacía falta saber entonces cómo estaban distribuidas estas partículas y cómo se relacionaban entre sí. Pronto, los experimentos volvieron a ofrecer nuevas pistas sobre la formación interna del átomo; Rutherford, entre 1906 y 1908, ideó un sistema de observación de estos fenómenos hasta entonces invisibles con la ayuda de la fotografía: comenzó por bombardear una placa de metal -oro o platino- con partículas alfa procedentes de materiales radiactivos, normalmente de radio, situando detrás de ella una placa fotográfica, constatando de esta forma que las partículas alfa atravesaban fácilmente la placa, pero que en ocasiones sus trayectorias sufrían ligeras desviaciones, como si hubieran chocado con algún cuerpo voluminoso. Del estudio de estas fotografías, dedujo que debía tratarse de algún cuerpo con una masa considerable, por lo que se arriesgó a pensar que podría tratarse del mismo núcleo del átomo. Al constatar, asimismo, que estas desviaciones del curso de las partículas se daban en contadas ocasiones, sospechó que los núcleos debían ser de un tamaño muy reducido, algo así como la cienmilésima parte del volumen total del átomo, y que éstos debían estar formados exclusivamente por protones. De esta forma, el átomo quedaba imaginado como

un núcleo muy pequeño, formado por protones de carga positiva, pero que constituía la mayor parte de la masa del átomo, rodeado de electrones que venían a ocupar casi todo el espacio del mismo átomo. Las imágenes mentales físicas imaginadas se sucedían en una relación dialéctica con las imágenes reales proporcionadas por los destellos producidos en pantallas fluorescentes o por los trazos de las partículas en las fotografías. El modelo de átomo quedaba idealizado, tal como vimos en capítulos anteriores, como si de un sistema planetario se tratara, el núcleo haciendo las veces del sol, y los electrones como planetas circundantes. Cuál no sería la sorpresa de los científicos cuando vieron que los elementos presentes en la naturaleza, que Mendelieff había clasificado de acuerdo con sus propiedades químicas en la Tabla Periódica, mantenían una estrecha relación con el número de electrones que supuestamente giraban alrededor de sus átomos. Así, el hidrógeno, que era el primer elemento de la tabla, tendría un peso atómico de 1 porque disponía de un sólo electrón en órbita alrededor de su núcleo; y así consecutivamente hasta llegar al uranio, que dispondría de 92 electrones alrededor de su núcleo.

Por aquellos años, en torno a 1912, mientras Rutherford proseguía sus estudios sobre el átomo y empezaba a barajar la idea de disparar partículas radiactivas contra el núcleo, un discípulo suyo, Niels Bohr, argumentó que este sistema planetario atómico que había ideado su maestro adolecía de algunas imprecisiones. En principio, y esto era lo más sorprendente, si así fuera no podría ser explicado por las leyes de la Mecánica instituida desde los tiempos de Galileo y Newton, ni tampoco por la Electrodinámica de Maxwell, lo que equivalía a decir que la Física clásica, en su conjunto no se ajustaba a un modelo de estas características, puesto que el sistema acabaría contrayéndose y terminaría por desaparecer. Bohr, muy atento por entonces al desarrollo de la teoría cuántica de Planck y de la aplicación que de ella había hecho Einstein, pensó que si el modelo de los cuantos tampoco seguía las leyes clásicas, tal vez se podría establecer un puente entre estos hechos. Así lo hizo, y defendió que las leyes que gobiernan los espectros ópticos de los elementos podrían ser aplicadas, junto con la nueva teoría de los *cuantos*, al modelo de átomo de Rutherford, lo que ayudaría a explicar su estabilidad y su comportamiento. Las teorías de Planck contaban con un nuevo respaldo dentro de la comunidad científica.

"El establecimiento de relaciones más íntimas entre el modelo atómico de Rutherford y los datos espectrales planteaba sin duda intrincados problemas. Por una parte, la propia definición de la carga y masa del electrón y del núcleo descansaba por entero en un análisis de los fenómenos físicos hecho a base de los principios de la mecánica y del electromagnetismo clásicos. Por otra, el postulado cuántico que afirma que cualquier cambio en la energía intrínseca del átomo consiste en una transición completa entre dos estados estacionarios, excluía la posibilidad de explicar sobre principios clásicos los procesos radiactivos, o cualquier otra reacción basada en la estabilidad del átomo"²⁴¹.

Este planteamiento teórico quedó respaldado por la creación de un cuerpo matemático que dio origen, en 1913, a la que sería denominada Mecánica Cuántica. Por entonces ya se intuía que el nuevo lenguaje traído por Planck provocaba un cisma, o una frontera bien delimitada, en el seno de la misma ciencia. La eterna polémica sobre la continuidad o discontinuidad de la materia, que se remontaba a la famosa carrera ideada por Zenón entre la tortuga y Ulises, volvía a renacer con nuevas fuerzas. Los saltos de energía sin pasos intermedios en unidades discretas, que regían la cuántica, se podían aplicar ahora al átomo. Tanto las regularidades observadas en los espectros de los elementos como las conclusiones de Einstein respecto al efecto fotoeléctrico, que venían a afirmar que la absorción y emisión de radiación en los átomos se producía en saltos de un estado a otro, apoyaban una decisión en este sentido. Algunos físicos comenzaban a mostrar cierta suspicacia ante un cuestionamiento tan drástico y continuado de los principios que habían regido la Física hasta entonces.

Rutherford, mientras tanto, una vez liberado de sus obligaciones en la I Guerra Mundial, en la que prestó servicios en la detección de submarinos con sónares, comenzó a poner en práctica las ideas que había estado barajando desde hacía unos años sobre la posible desintegración del núcleo del átomo. En una carta dirigida a Bohr le comentaba sus progresos.

"Me encontré casualmente con medio día libre que dediqué a algunos de mis propios experimentos, y creo haber obtenido resultados que espero sean finalmente de gran importancia. Me gustaría que estuviera aquí para discutir el asunto. Estoy detectando y contando los átomos ligeros puestos en movimiento por las partículas alfa y los resultados, creo yo, arrojan mucha luz sobre el carácter y distribución de las fuerzas cerca del núcleo. También estoy intentando romper el átomo por este método. En un caso, los resultados parecen prometedores, pero se necesita todavía mucho trabajo para alcanzar seguridad. Kay me ayuda y es ahora un experto contador"²⁴².

Al poco tiempo lo consiguió: obtuvo dos átomos de oxígeno al bombardear con partículas alfa el núcleo de un átomo de hidrógeno, con lo que se había producido la primera transmutación de un elemento en otro. Este hecho confirmaba que el paso de un elemento a otro se hacía de un salto, que se correspondía con el trasiego de electrones de una órbita a otra. Era el caso también de los elementos radiactivos, que generan energía de forma natural cuando uno de sus electrones se desprende de la órbita atómica. La explicación de todos estos fenómenos en la escala reducida de los átomos comenzó a abrir una brecha dentro de la comunidad científica, entre aquellos que se aferraban a la tradición impuesta por el método puramente experimental y el determinismo en ciencia, y aquellos otros que no tenían reparos en adentrarse en los nuevos vericuetos, más inciertos, que abría la Física teórica.

Ese fue el caso de algunos físicos que comenzaron a cuestionar el sentido mismo de las mediciones que se hacían en esta escala: si en el universo tan diminuto de los átomos los instrumentos de medición, como reglas o relojes, resultaban inservibles, habría que cuestionarse la utilidad de los conceptos tradicionales de tiempo, espacio, posición y velocidad en este diminuto universo. Uno de los trabajos más destacados en este sentido fue el emprendido por Werner Heisenberg, quien desarrolló una teoría matemática capaz de explicar ese trasiego de electrones de un átomo a otro. Y lo hizo en términos de probabilidades, ya que, cuando un electrón pasa de un estado de energía a otro, emite un fotón con una cierta frecuencia; la intensidad de su radiación dependerá directamente del grado de probabilidad de que esa transición entre un estado y otro se produzca. Si lo único que vemos de un átomo es su luz, ya sea en un contador Geiger, en una pantalla fluorescente, en una fotografía, o en la estela producida por alguna de sus partículas en la cámara de niebla, no podemos ir más allá de lo que vemos, a no ser que las matemáticas se adelanten en el camino, en la esperanza de que los hechos futuros no contradigan sus presunciones.

Llegados a este punto, se comprobó cómo los trabajos de Bohr, que habían dado lugar a la Mecánica cuántica y que se veían respaldados por estos desarrollos teórico-matemáticos de Heisenberg, habían llegado por un camino distinto al mismo punto de conclusiones que la Mecánica Ondulatoria de de Broglie. Esta confluencia se vio respaldada en 1926 por los trabajos matemáticos de Schrödinger, que imaginó las órbitas de los electrones alrededor del átomo no como planetas alrededor de un sol en trayectorias uniformes, sino en forma de ondas.

Todas estas imágenes teóricas que se hacían de la estructura y del comportamiento atómico estaban en consonancia con el *concepto de complementariedad* que había formulado Bohr por aquellos años, en el sentido de que pueden existir varias interpretaciones sobre un mismo fenómeno, que consideradas una a una pueden hasta contradecirse, pero que en conjunto dan una explicación completa del fenómeno. El hecho de admitir, con Planck, que las radiaciones emitidas por un átomo se llevan a cabo de forma discontinua, conducía a aceptar una naturaleza estadística en estas emisiones de energía, lo que a su vez obligaba a admitir cierto indeterminismo en la ciencia. La única forma de justificar la prevalencia del edificio construido con los principios de la Física clásica era argumentando que las nuevas teorías se aplicaban preferentemente en la escala diminuta de los átomos y de sus partículas, mientras que en la escala macroscópica, que es en la que tienen lugar los fenómenos que son contemplados por los principios clásicos, las variaciones probabilísticas eran despreciables.

"Dentro del campo de la física clásica, todas las propiedades características de un objeto dado se pueden investigar en principio mediante un único montaje experimental, aunque en la práctica suele ser conveniente instalar diversos montajes para el estudio de los diferentes aspectos de los fenómenos. De hecho, los datos obtenidos de tal forma se complementan simplemente entre sí y pueden combinarse en una imagen consistente de la conducta del

*objeto investigado. En física cuántica, sin embargo, los datos de los objetos atómicos obtenidos con diversos montajes experimentales exhiben una nueva clase de relación complementaria. Además, debe reconocerse que tal evidencia experimental, que parece contradictoria cuando se intentan combinar los datos en una sola imagen, agota todo el conocimiento concebible referente al objeto. Así ocurre que, lejos de restringir nuestras posibilidades de plantear cuestiones a la Naturaleza en forma de experimentos, la noción de complementariedad caracteriza simplemente las respuestas que podemos recibir de tal pesquisa, siempre que tengamos en cuenta que la interacción entre los instrumentos de medida y los objetos forma parte integral de los fenómenos"*²⁴³.

Por consiguiente, en la escala atómica sería imposible predecir de forma exacta, tal como se suele hacer, por ejemplo, en la Mecánica, las distintas posiciones y velocidades que adoptará una partícula en un momento dado; con lo único que podemos contentarnos es con saber que dentro de un margen determinado y de acuerdo a leyes estadísticas, se producirá tal o cual fenómeno. Los modelos de átomo existentes, tanto el de Bohr, como un sistema planetario con órbitas elípticas, o el de de Broglie, en forma de ondas circundantes, eran visiones acertadas por separado y complementarias, que se aplicarían dependiendo del comportamiento en concreto que se quisiera estudiar.

*"Sea un ejemplo: sabemos que un átomo de radio puede emitir rayos α . La teoría de los cuantos puede indicarnos la probabilidad, por unidad de tiempo, de que una partícula abandone el núcleo; pero no puede predeterminar el instante preciso en que ello ocurrirá; dicho instante queda por principio indeterminado. Y no cabe tampoco esperanza que más adelante se descubran nuevas regularidades, tales que nos permitan determinar aquel instante con precisión, ya que en caso contrario constituiría un absurdo el hecho de que podemos también concebir la partícula α como una onda que se separa del núcleo, y demostrar experimentalmente que esto es en efecto. Los diferentes experimentos que demuestran la naturaleza ondulatoria de la materia atómica, y a la vez su naturaleza corpuscular, nos obligan, para salvar su paradoja, a formular regularidades estadísticas"*²⁴⁴.

De esta forma, a resultas de la incursión de la ciencia en el universo ínfimo de los átomos, dejaba de tener sentido la visión clásica tal como era entendida por Descartes, en la que se contemplaba el mundo y sus fenómenos como un juego de figuras y movimientos, un eje de coordenadas en el que se podían determinar en todo momento las posiciones y las velocidades de los cuerpos. Las relaciones de indeterminación establecidas por Heisenberg en 1927, que venían a afirmar que no podemos conocer a la vez los parámetros de velocidad y posición de una partícula, puesto que si conocemos uno, el otro sólo puede ser

determinado estadísticamente, y viceversa, nacía de la idea misma de los cuantos de Planck y de la simbiosis que se había conseguido entre la visión ondulatoria y corpuscular de la luz y de la materia.

"En la nueva concepción, la onda asociada a un corpúsculo simboliza o representa todo lo que sabemos de éste. Esta onda asociada es, en general, una onda compleja definida por una cierta descomposición espectral y cuya amplitud resultante está repartida en cada instante de una cierta manera en el espacio. Ahora bien, la nueva mecánica se niega a atribuir al corpúsculo una posición constantemente bien definida en el espacio; nos dice solamente que el corpúsculo se encuentra necesariamente en la región ocupada por la onda, y que tiene tanta más probabilidad de encontrarse en un punto, cuanto mayor es en este punto la amplitud de la onda. Igualmente, la nueva manera de ver, no permite atribuir ya, constantemente, al corpúsculo un movimiento perfectamente determinado; a cada componente monocromática que figura en la descomposición espectral de la onda asociada, corresponde un valor posible de la velocidad del corpúsculo, y se sabe solamente que la velocidad real del corpúsculo tiene uno de esos valores posibles"²⁴⁵.

Un fin de camino se presentaba a la ciencia de principios de siglo; el escudriñamiento paulatino del universo ínfimo e invisible de las partículas subatómicas rompía de pronto con una tradición milenaria. Los científicos quedaban divididos, forzados a adoptar una posición epistemológica ante los fenómenos de la naturaleza: o aceptar este indeterminismo como algo consustancial al conocer humano, o entender que esta situación obedecía a un estado transitorio de la ciencia, que debía seguir siendo fiel a su búsqueda de principios basados en la causalidad de los fenómenos. Tras un siglo de predominio de los postulados positivistas, materialistas y evolucionistas en la ciencia, se abrían las puertas a un renacimiento de las tesis idealistas. Porque el relativismo promulgado por Einstein, aunque nos hacía entrar en un universo tetradimensional donde la única referencia segura y absoluta era la velocidad de la luz, y en el que los observadores bailaban de un sitio a otro en cambios continuos de puntos de referencias, no contradecía la tradición clásica de la ciencia; en realidad era una profundización en el determinismo que el conocimiento científico descubre en la naturaleza, lejos de cualquier dogmatismo. Por el contrario, dar por sentado inexorablemente el principio de incertidumbre para siempre, nos hacía volver a un tipo de relatividad en consonancia con las tesis platónicas del engaño que producen nuestros sentidos, del recelo de la experiencia como base del conocimiento y del innatismo de las ideas. El mismo Dirac afirmaba: "Es más importante en las ecuaciones que tengan belleza, que el ajustarse a los experimentos". Y Heisenberg concluía:

"Si se me permite anticipar en este punto el resultado de semejante comparación, parece que, a pesar del éxito tremendo que

*ha alcanzado el concepto de átomo en la ciencia moderna, Platón estaba mucho más cerca de la verdad acerca de la estructura de la materia que los atomistas Leucipo y Demócrito"*²⁴⁶.

La función representada por la observación de los fenómenos como parte integral del método experimental y, dentro de ella, por la propia fotografía desempeñaron un papel primordial en toda esta crisis. Daba la impresión de que los sabios volvían a caer en la misma disyuntiva marcada por siglos entre las corrientes materialistas e idealistas, en ese doble camino con el que abríamos esta investigación entre observación y especulación, que hemos visitado en sus múltiples representaciones a lo largo de la historia. La dialéctica entre el ser y el pensar se abría de nuevo camino en la física moderna, y allí estaban de nuevo los defensores de las dos opciones: unos, provistos de las matemáticas, dispuestos a retomar los postulados del mejor idealismo; otros, para continuar, como Planck o Einstein, la búsqueda de un Absoluto inalcanzable por medio del trabajo experimental y de la modestia de quien sabe que la ciencia es un trabajo continuado y lento que va descubriendo leyes que de forma provisional explican lo que nos rodea.

Los resultados, por tanto, que ofrecía la fotografía, como cualquier otro instrumento de medición, no eran cuestionados. La limitación venía impuesta por la amplia variabilidad existente en el comportamiento de las partículas. La observación en la física cuántica seguía los mismos parámetros que en la clásica, pero por primera vez en la historia, el mismo aparato de medición, en este caso las cámaras fotográficas, ya no era algo ajeno al fenómeno que se observaba, sino que, necesariamente, pasaba a formar parte del mismo. Las partículas que configuran los materiales de los que están hechos los aparatos de medición, y sobre todo la luz que se necesita para recoger su comportamiento, comenzaban a ser parte inexorable del mismo fenómeno.

*"En relación con esto es también esencial recordar que toda información inequívoca referente a objetos atómicos se obtiene a partir de marcas permanentes – tales como una mancha sobre una placa fotográfica, producida por el impacto de un electrón- dejadas sobre los cuerpos que definen las condiciones experimentales. Lejos de entrañar cualquier complejidad especial, los efectos de amplificación irreversible en los que se basa el registro de la presencia de objetos atómicos nos recuerda más bien la esencial irreversibilidad inherente al propio concepto de observación. La descripción de los fenómenos atómicos tiene a este respecto un carácter perfectamente objetivo, en el sentido de que no es necesario hacer referencia explícita a ningún observador individual y que, por tanto, con el debido respeto a las exigencias relativistas, no hay ninguna ambigüedad en la comunicación de informaciones"*²⁴⁷.

La interacción de los instrumentos de medición presentes en los montajes experimentales de la física clásica con los cuerpos por ella estudiados podía ser menospreciada, pero no ocurría lo mismo en la física de partículas, porque cada montaje experimental ofrece unos resultados diferentes que, aunque no son contradictorios, hacen necesario un tratamiento estadístico o *complementario*. Es más, se comenzaba a cuestionar la función del mismo observador, como ente formado también por partículas. Curiosamente fueron los físicos pertenecientes a la Escuela de Copenhague los que decidieron hacer bandera de un purismo radical, al no aceptar principio alguno en ciencia que no viniera refrendado previamente por las mediciones y las observaciones de los fenómenos. Pero, a un mismo tiempo, argumentaban que un átomo captado por una fotografía en un momento dado no era indicativo de que supiéramos su posición, porque la partícula no está en una posición determinada dentro de la onda, sino que está en toda ella a un mismo tiempo, ya que la probabilidad de aparecer retratada no pertenece a la partícula en sí, sino al propio instrumento de medida.

"Para la escuela de Copenhague la partícula no es más que el conjunto de "potencialidades de medida" contenidas en su función de onda"²⁴⁸.

Entonces, ¿era posible conocer? Porque la partícula aparecía en la fotografía de forma localizada, en un punto o una mancha, pero sabiendo que si hiciéramos la medición un instante antes o después, la partícula aparecería en otra posición, por lo que la interacción de la partícula con el aparato de medida reduciría drásticamente el campo de probabilidades. Tomadas en su conjunto, estadísticamente, las manchas fotográficas cobraban sentido, pero no de forma individual. El límite de esta presunción podía conducir irremediablemente a rechazar las cualidades de la observación en favor de otras vías de conocimiento más abstractas, algo que, paradójicamente, venía a contradecir los propios planteamientos de partida²⁴⁹.

En cambio, el otro grupo de científicos en torno a Planck y Einstein, aunque reconocieron esta limitación, propusieron otras vías más de acuerdo con la tradición de la ciencia en el sentido de buscar leyes donde la causalidad estuviera de alguna forma presente. Porque si no ¿qué sentido tendría hacer mediciones? Quedaba claro que ni unos ni otros aceptaban el determinismo a ultranza formulado por Laplace, aquél que venía a decir que si conociéramos la posición y velocidad de todas las partículas de un sistema podríamos prever su comportamiento en cualquier momento futuro; algo que nos debe hacer recordar la animadversión de Epicuro por el *fatalismo de los físicos*. En el fondo se trata del conocimiento que un observador extrae de un fenómeno que se produce en la naturaleza, por lo que obviamente ese saber nace de una interacción entre sujeto y objeto, interacción que está sujeta a cambios, revisiones y que toma sentido en el devenir de la historia; no hay, por tanto, universos puros e ideales, ni verdades eternas. Como aseveró Einstein se trata de un estado transitorio en el camino interminable del conocimiento.

No es de extrañar, tampoco, que si las descripciones causales visualizables de la física clásica fueran cuestionadas, lo fuera igualmente otro elemento presente en las investigaciones y que tenía una importancia igual o mayor a la hora de comunicar los resultados: el propio lenguaje humano. No hay que olvidar que por estas fechas se dio el auge decisivo de dos corrientes dentro de la filosofía, que tendrían una estrecha relación con los avances de la ciencia: una fue la lógica formal, o matemática, que experimentó un amplio desarrollo desde la aparición del álgebra de Boole en 1847²⁵⁰, y que tendría su máximo representante en estas fechas en la figura de Bertrand Russell; la otra, la filosofía lingüista o escuela de analistas del lenguaje, que prefería pensar que los problemas del conocimiento no eran de tipo filosófico, sino que venían dado por el uso y sentido que hacemos de las palabras, y cuyo más destacado exponente fue Ludwig Wittgenstein. Si el primero abogó por una matematización del pensamiento, que posteriormente fue dejando de lado, el segundo intentó reducir la ambigüedad del lenguaje a su mínimo exponente, lo que claramente tuvo su influencia en la comunidad científica, que por entonces debía de andar un tanto estupefacta ante el cuestionamiento generalizado y continuo de todos sus presupuestos.

"El punto crucial es que, aún en el caso de fenómenos que escapan a una descripción determinista intuitiva, debemos emplear el lenguaje corriente, convenientemente refinado por la terminología de la física clásica, para comunicar lo que hemos hecho y aprendido al plantear en forma de experimento cuestiones a la Naturaleza. En la experimentación física real este requisito se cumple utilizando como instrumentos de medida cuerpos rígidos, tales como diafragmas, lentes y placas fotográficas, lo suficientemente grandes y pesadas como para permitir una descripción de su forma, posiciones y desplazamientos relativos sin referencia a los rasgos cuánticos intrínsecamente implicados en su constitución atómica"²⁵¹.

A pesar de las relaciones de incertidumbre y del indeterminismo reinante, la ciencia siguió avanzando en un periodo de la historia que, decididamente, estuvo marcado por lo incierto. La desintegración nuclear provocada, gracias al descubrimiento de la radiactividad artificial por Frederic Joliot e Irene Curie en 1934, abrió la posibilidad de aprovechar la fuente inabarcable de energía que se desprendía de los átomos. Algo que se presentaba a la humanidad como una gran oportunidad para el desarrollo conjunto del planeta, surgió en una Europa dividida, en la que algunas naciones acosadas por la crisis económica y el fantasma del hambre, se sintieron atraídas por una nueva forma de idealismo que promulgaba la pureza de la raza y el odio indiscriminado contra aquellos que seguían confiando en la razón humana como vía de progreso. Científicos de renombre, luchadores por la libertad de toda índole y minorías fueron expulsados de sus países y perseguidos hasta la muerte. La nueva Idea se apoderaba de Europa rodeada de nuevos cánones de pureza y de belleza que se reflejaban en las fotografías y películas de atletas excelsos y en la mitificación de sus líderes guerreros. La voluntad de poder y el renacimiento de valores

clásicos que nos devolvían a los tiempos dictados por las proporciones de las matemáticas o al oscurantismo de la Edad Media, cual síntesis de todos los idealismos reaccionarios sufridos a lo largo de la historia, ponía en pie falanges, caudillos y escuadrones de la muerte, hasta hacer saltar la maquinaria de la guerra. El sueño de la razón producía de nuevo sus monstruos. Si la primera guerra mundial se había caracterizado por la lucha cuerpo a cuerpo por defender un palmo de trinchera, en esta ocasión la posibilidad de construir un arma potentísima como resultado de las investigaciones atómicas desencadenó una carrera sin precedentes en la historia de la ciencia.

En 1941, en plena guerra, Heisenberg visitó a Niels Bohr en Copenhague, probablemente para sonsacar al sabio danés información sobre el estado en el que se encontraban los esfuerzos de los aliados en la construcción de la bomba atómica. Hasta qué punto está justificado luchar por el propio país cuando éste se lanza en manos de la locura y de la tiranía, situó a Heisenberg ante el dilema de avanzar en la construcción de la bomba alemana, o de intentar retrasar el proyecto, como luego utilizó en su defensa. Lo que en verdad ocurrió quedará enterrado para siempre en la conciencia de este científico²⁵². A los pocos años, sobre Hiroshima se levantó el imponente hongo atómico, fruto del esfuerzo de los científicos aliados. Tras millones de seres humanos muertos por la sinrazón humana en el seno de las culturas *más avanzadas* del mundo, fue difícil seguir creyendo en el sentido de progreso de la raza humana. Las sombras humanas aún presentes en el asfalto de las ciudades japonesas, fruto de las radiaciones, quedan cual fotografías como testigo.

Capítulo 9. Algunas consideraciones finales

Llámesse conocimiento, llámesse reconocimiento; de algo podemos estar seguros acerca de esta modalidad, singularmente moderna, de toda vivencia: la mirada, y el acopio de los fragmentos de la mirada, nunca pueden completarse.

No hay fotografía definitiva.

Susan Sontag

La curiosidad que dio origen a este estudio, motivada por la falta de atención que la mayoría de ensayos e historias de la fotografía pone en el papel desempeñado por esta forma de representación de la realidad en la ciencia y en la tecnología se ha transformado, tras este extenso recorrido histórico, en algo más que perplejidad. No deja de sorprender como algo tan determinante en la construcción del conocimiento humano de los últimos ciento cincuenta años ha podido ser desatendido tan insistentemente. Si bien, últimamente, la ciencia y la tecnología están despertando un mayor interés en la sociedad, lo que se ha traducido en un crecimiento de los fondos editoriales dedicados a estas materias, la bibliografía existente sobre la fotografía en la ciencia sigue siendo muy reducida, no digamos en lengua castellana, donde esta limitación se ve agravada por la escasa tradición científica de los países hispanohablantes. La única razón que puede explicar esta visión sesgada de lo fotográfico ha podido ser la predilección de los autores de estas obras por el componente pictórico de este medio, dejando los aspectos científicos y epistemológicos para manuales técnicos muy circunscritos al ámbito de la ciencia y a algunas obras de carácter filosófico, de reciente aparición. También el hecho de que desde sus comienzos, la fotografía se pusiera al servicio de pintores y de una sociedad ansiosa por el retrato y el paisaje como motivos de recuerdo ayudó a que los historiadores centraran su atención en estas formas más populares y artísticas. Incluso, ya lo hemos comprobado a lo largo de estas páginas, cuando se ha producido un interés por el lado científico de la fotografía, en la mayoría de los casos ha sido porque las obras que se comentan suelen tener un valor estético o están cargadas de espectacularidad, como es el caso de la *cronofotografía*, de los retratos de criminales y enfermos, de ciertas fotografías astronómicas, o el de las fotomicrografías del mundo animal²⁵³. El importante papel desempeñado por la fotografía en el desarrollo de la ciencia y del conocimiento humano en general ha sido generalmente desatendido. El criterio artístico ha prevalecido en la mayoría de las monografías históricas consultadas para la realización de este trabajo, y raramente se ha encontrado en ellas esas cumbres de la fotografía científica que han ayudado a adentrar la humanidad en el universo atómico, radiactivo, en los entresijos de la luz, en los secretos del tiempo y del espacio.

Por lo demás, nunca se pensó que esta curiosidad, guiada por cierta intuición y sospecha por lo ocurrido, pudiera llevarnos tan lejos, ya fuera en el tiempo o por los múltiples vericuetos de las teorías del conocimiento y de la propia ciencia. Pero pronto se vio necesario estudiar los hechos desde una perspectiva histórica y en un marco conceptual que fuera capaz de integrar en una visión única y esquemática la gran cantidad de información que comenzó a salir a la luz. De aquí que se haya emprendido un trabajo hasta cierto punto

"arqueológico", consistente en ir descubriendo y situando en la historia los diferentes elementos tecnológicos y teóricos que componen la realidad fotográfica, lo que nos ha obligado a remontarnos a los principios de la civilización humana, y a elegir la dialéctica entre materialismo e idealismo, presente a lo largo de la historia, como marco de referencia teórico que nos ayudara a comprender el papel de la fotografía en las formas del conocer humano. Este enfoque evolutivo y confrontado de los hechos ha podido pecar, quizás, de excesiva simpleza o de haber pasado por alto ideas y acontecimientos muy importantes. Vaya sin embargo en nuestra defensa -sin que sirva de justificación- el que gracias a él ha sido posible construir una visión global, como mera aproximación al asunto, lo menos dogmática posible -o al menos, así lo hemos intentado-, haciendo nuestra la actitud epicúrea ante la vida y adhiriéndonos, con el gran filósofo, a su amor por la libertad en la naturaleza y en el hombre.

La razón de haber elegido unas fechas determinadas para encuadrar la investigación y que correspondan éstas, precisamente, al periodo que se extiende desde los primeros indicios de aparición en la antigüedad de los elementos prefotográficos hasta el año 1927, año en el que se produce una crisis emblemática en el seno de la ciencia, con claras repercusiones en la teoría del conocimiento, viene justificada por un doble motivo: en primer lugar, para centrarnos en lo que entendemos como fotografía convencional o clásica, es decir, en aquella que logra su fijación permanente por procedimientos eminentemente químicos; y en segundo lugar, porque las consideraciones epistemológicas que en este estudio abordamos y que han estado ligadas de forma directa al fenómeno de la observación y a la utilización de los instrumentos ópticos, entre ellos, la propia fotografía, han tomado cuerpo y sentido en este amplio ciclo histórico.

Importancia de la fotografía

La primera conclusión que se extrae de este largo recorrido es la confirmación de la tremenda importancia que este invento ha tenido en el devenir de la humanidad. Su trascendencia en la sociedad de nuestros días tardará años en asimilarse, recordándonos en gran manera el impacto experimentado por la civilización a partir de la llegada de la imprenta, algo que se ha ido comprendiendo con el tiempo. Si el simple estudio de la proyección de las sombras abrió un horizonte nuevo al conocimiento humano en las sociedades del mundo antiguo, la fijación permanente de esas sombras y luces que procura la fotografía ha lanzado sin duda a la humanidad a una nueva dimensión de su relación con la naturaleza y consigo misma. La imagen técnica está presente en cada palmo de nuestras vidas actuales: la mayor parte de la tecnología que nos rodea se sustenta en ella, el desarrollo científico y el conocimiento en general avanzan gracias a las nuevas formas que la imagen técnica nos proporciona, y el mundo simbólico, reflejo de la imagen de lo que somos o creemos ser y también del mundo que nos rodea, desplegado por doquier en nuestras ciudades y nuestras vidas, se alimenta de esta criatura de la técnica.

La fotografía nos ha dado a conocer lo recóndito del universo astronómico, el mundo invisible del microcosmos de los átomos y sus partículas, la naturaleza de la luz, una nueva

dimensión del movimiento de los cuerpos y de los objetos y otros muchos aspectos hasta entonces desconocidos y que este estudio no contempla, tales como su poder de identificación de realidades, ya sean rostros, rúbricas, pupilas o rasgos genéticos; o su simbiosis con las telecomunicaciones y la informática para dar origen a la sociedad de la información y del conocimiento; o el ser un elemento decisivo para el estudio de la Historia gracias a su valor documental, etc., y así hasta llegar al estudio de sí misma, facilitando la comprensión de los efectos fotosensibles y de la física del color y de la luz. Nuestra aproximación al fenómeno fotográfico ha sido a través del universo físico, de la materia; ha sido la razón la que ha protagonizado estas páginas. De todo ello se desprende que la fotografía se debe al universo físico.

La fotografía y el mundo

Nuestra segunda conclusión podría ser por tanto ésta, que la relación de la fotografía con el mundo físico es ineludible y manifiesta. De él nace y a él retorna, reflejando sus apariencias e interpretándolas a un mismo tiempo. La visión que nos ofrece el aparato fotográfico nace de una convención humana que intenta aproximar la representación que se consigue de lo externo y real por medios ópticos y mecánicos a aquella que se produce en el interior de nuestros ojos y de nuestro cerebro. Ningún aparato construido por la tecnología es puro e intemporal, como cualquier obra humana es fruto de una época determinada de la historia y del estado del conocimiento que tenemos sobre nosotros mismos y sobre la naturaleza. La utilidad de las máquinas es lo que las hace más o menos verdaderas. La fotografía comparte la idea de que existe un mundo externo a nosotros, que se comporta de forma independiente a nuestro pensar. Las sombras que se impregnan en sus emulsiones así lo demuestran. La luz cambia el aspecto de los cuerpos independientemente de que exista de por medio un aparato cargado de óptica o perspectiva. Que sea la razón humana la que debe interpretar esos datos no hay duda, pero es la relación de nuestros sentidos con la naturaleza la que confirmará tarde o temprano nuestras suposiciones. Es nuestra percepción activa la que llevará a cabo la validación de nuestras hipótesis. La fotografía es recepción a la vez que acción de y para el mundo.

La fotografía y la historia

Y decir el mundo es decir la historia. La imagen técnica es convencional, tan convencional e histórica como nuestra relación con el mundo. Por eso no es ideal, es pura materia que evoluciona. Nace de las relaciones que establecemos entre nosotros -de poder, económicas, de sometimiento- y responde a lo que conocemos y al mundo que hemos construido alrededor de nosotros. Como la conciencia, como las ideas, la imagen es fruto de la historia y de las formas de producción que la humanidad establece en un estadio determinado. De ahí que existan tantas imágenes como formas de ver el mundo, en consonancia con los intereses de cada ser o grupo humanos. La fotografía, parafraseando a Roland Barthes²⁵⁴, es cuerda o loca dependiendo de su grado de enajenación, y el éxtasis que provoca con su omnipresencia y sus dictados discriminatorios y excluyentes se produce como parte de las relaciones de producción imperantes. Y, como cualquier trabajo, es susceptible también de plusvalía.

Fotografía y azar

Si tuviéramos que hablar de una esencia de la fotografía, algo que iría en contra de la época de mestizaje intelectual en la que vivimos y de la perspectiva evolucionista e interdisciplinar de este estudio, tendríamos que acudir necesariamente a su condición puramente física. Las sombras de la realidad recogidas en un papel o en una película son productos de la luz, desde aquellas que producen las partículas diminutas o los rayos cósmicos, hasta las marcas que deja un rostro, una obra humana o un fenómeno de la naturaleza. Dentro de ese inmenso mundo de posibilidades, sujeto al azar y al movimiento constante, la fotografía elige, o cree elegir, un fragmento, un momento de ese devenir. La realidad de la cámara impone su código dentro de lo que la naturaleza le permite, o pone ante sus lentes, porque el mundo susceptible de ser fotografiado es inabarcable, infinito. Lo fotográfico es un seguro azar. La fotografía no deja de reproducir nuestra forma de comprender el mundo, que no es otra que encuadrar, paralizar, ver una porción del vasto universo. En términos de termodinámica la fotografía sería un claro ejemplo de lo que los físicos conocen como neguentropía: una parálisis temporal del curso irrefrenable hacia el desorden o estado de máxima probabilidad al que tienden las partículas. Como la vida misma.

En este aspecto, hay una analogía entre el método fotográfico y la investigación científica: ambos sondean un universo inagotable cuya totalidad nos elude eternamente²⁵⁵.

La fotografía ama lo mestizo, la variedad, lo diverso, porque así es el mundo. Por eso, cuando se empeña en retratar uniformidades tales como razas humanas, tipos psicopatológicos, criminales, formas que se corresponden con tal o cual personalidad, o bellezas canónicas, se contradice a sí misma. Forzar la naturaleza a modelos o patrones carece de sentido, porque la medida de las cosas, como vimos en Bacon, la da la propia naturaleza en su infinitud.

Ética de la fotografía

Y si la fotografía pertenece al mundo, la fotografía se debe a una ética. Como criatura de la ciencia que es, su código moral pertenece a la razón humana. La ética que nace de la ciencia es la ética que nace del conocimiento, en las antípodas, por tanto, de la superstición y de las creencias en la sobrenaturalidad de los fenómenos. La fotografía está reñida con el espiritismo, porque es parte inexcusable del método científico. Deja pistas y huellas en la superficie del papel o de la película para motivar la labor detectivesca de la ciencia. El proceso de desciframiento de los rastros de las partículas atómicas, de los entramados de los cristales o de las células impresos en sus emulsiones recuerda el método inductivo puesto en práctica por los detectives en sus investigaciones, con la diferencia de que donde éstos buscan los móviles del robo o del crimen, los científicos intentan descifrar los secretos de la naturaleza.

Es quizá menos sugerente de lo que podría haber sido- observó- ; sin embargo, hay unas pocas inferencias que son muy explícitas, y otras pocas que representan al menos un fuerte saldo de probabilidades. Que el hombre es notablemente intelectual es obvio a primera vista, y también que ha sido razonablemente pudiente durante los últimos tres años, aunque ahora ha caído en días malos. Era previsor, pero lo es menos ahora que anteriormente; hay indicios de regresión moral que, unida a la mengua de su fortuna, parece indicar alguna influencia perjudicial, probablemente la bebida. Esto puede explicar también el hecho obvio de que su mujer ha dejado de amarle.

- ¡Mi querido Holmes!

- Sin embargo, conserva un cierto grado de dignidad –continuó sin hacer caso de mi protesta-. Es un hombre que lleva una vida sedentaria, sale poco, está totalmente bajo de forma, es de mediana edad, tiene el cabello gris que se ha cortado en los últimos días y unta con crema de lima. Estos son los hechos más patentes que pueden deducirse de su sombrero²⁵⁶.

La fotografía es por tanto como un sombrero lleno de pistas, de huellas que ha dejado el tiempo, de marcas de lo real que pueden ofrecernos información sobre su dueño, en este caso la naturaleza. En la fotografía puede haber rastros de lo desconocido, como aquellas manchas surgidas por la acción de la radiactividad, o por la incidencia de los rayos cósmicos en las placas sepultadas en los lagos helados de las altas montañas, pero nunca marcas o vestigios de alucinaciones. Curiosamente, el espíritu analítico que Conan Doyle, el creador del famoso detective, supo insuflar a su personaje, no lo supo aplicar a un caso real en el que estuvieron envueltos él y la propia fotografía, asegurando haber visto fantasmas en una placa.

Todo eso es una cuestión técnica con la que no tengo nada que ver. Lo que sin embargo es extraño y divertido fue que cuando la fotografía de aquel noble fue por fin publicada aparecía realmente como un "fantasma", mostrando una frente alta y algo parecido a una barba corta y cerrada. Por tanto, el resultado de las investigaciones del señor Swinton añadió un motivo más para la discusión sobre la autenticidad de la fotografía. Estaba claro y evidente que no había en la casa ningún visitante masculino o criado con barba²⁵⁷.

Los espíritus invisibles de los muertos sólo aparecen a los ojos de los videntes, la fotografía, por el contrario, no puede mentir, por mucho que se empeñaron en la época en querer retratar el espíritu que abandona el cuerpo Holmes hubiera resuelto el caso con criterios más científicos que los utilizados en este caso por su propio creador. La superstición suele obedecer a intereses crematísticos. La Ética de la fotografía está ligada al

conocimiento. Es, por tanto, necesario establecer una distinción entre la imagen que conoce y la que hace sentir, entre la fotografía de la ciencia y la del arte, entre la realidad y el símbolo.

La fotografía y el símbolo

Hay quienes intentan imponer la magia de la fotografía, como si de santos sudarios se tratara, a través de la creación de los mitos -como esos retratos oficiales que persiguen el culto a la personalidad, o aquellos otros de jóvenes actores y atletas que imponen una tiranía de la belleza y que se despliegan en cada rincón de nuestras sociedades-, mitos que se logran construir con la idolatrización que toda imagen suscita. Lo mágico de la fotografía, por el contrario se puede encontrar en esa paralización que consigue hacer del tiempo y en su evocación de la muerte, y en sus obras que consiguen una representación simbólica o artística. El ídolo que nace de ella, como los simulacros que contemplaba Lucrecio en las nubes pasajeras, obedecen a ese doble juego: o bien son espectros que buscan la sumisión a deidades modernas, o bien son imágenes que nos devuelven a lo real y nos hacen tomar conciencia de donde vivimos. Aquí sí existe una verdadera conexión con lo absoluto, con la inspiración y el duende; la fotografía artística, de este modo, entra de lleno en el mundo espiritual y sutil, pero con un mensaje que es devuelto al mundo, su único referente. Por lo que, mientras más cerca esté una fotografía de su valor documental, más fotografía será. Una fotografía familiar, o una anónima tienen un valor incalculable por su cercanía al azar de la vida, cualquiera de ella es válida para la historia; en cambio, cuando se convierte en símbolo por la mano del artista sólo el tiempo se encargará de decir si representa bien el mundo y su época, si supo extraer la poesía del momento o si consiguió llegar al corazón de las personas. La mentira es antifotográfica, sería necesario manipularla, romperla, retocarla -algo tan fácil ahora mediante el control digital de sus píxeles-, torturarla para hacerla perder su valor y su esencia. La idealización de la realidad es tan manipuladora como el retoque. Los ídolos de las antiguas creencias se han transformado en nuestra sociedad moderna en los mitos fabricados por la imagen técnica.

Así como el número es la herramienta de la medición cuantitativa, el símbolo es la herramienta de la matización cualitativa; el número cuenta y se para en sí mismo, el símbolo evoca y se prolonga en armónicos que describen la cualidad; el número pesa o mide, el símbolo es una llave que abre, la nota que asocia en su percusión correlativos armónicos inacabables. El símbolo es el lenguaje de lo evaluativo, lo cualitativo, lo emotivo y, según Jung, del subconsciente individual y colectivo. De ahí que el arte y la religión lo utilicen profusamente²⁵⁸.

La imagen y la palabra

La imagen fotográfica confirma los hechos. La mente descubre por sí sola esquemas que se formulan en lenguaje preciso como el de la lógica formal o las matemáticas, que

coinciden con formas de la naturaleza; eso tiene sentido porque la mente es parte de ella. La imagen valida lo real a través de los ojos, como el resto de los sentidos lo hacen a través de sus sensaciones: olfativas, táctiles, auditivas, de equilibrio, etc. La mente se aventura gracias a la imaginación y a la abstracción más allá de los hechos. La imagen técnica habla a través de la realidad, los cuerpos de la naturaleza son sus signos. La naturaleza habla por sí sola a través de ella. Que la palabra y la imagen estén reñidas no debemos atribuirlo a la incapacidad de la imagen por desvelar por sí sola información de cualquier índole, o que se considere que el texto supera en libertad al lenguaje de las imágenes, obedece a comparaciones inútiles, pues cada uno de ellos cuenta con sus propios códigos y limitaciones. Es importante reconocer en esta disputa que el lenguaje fotográfico y el fílmico han logrado en contadas ocasiones liberarse totalmente de la omnipresencia de la palabra y de la perspectiva que ésta impone. La presencia de la palabra en el audiovisual ha amordazado con el peso de una tradición milenaria la libertad de expresión de las imágenes.

El medio audiovisual mata la esencia de aquello que refleja, en el sentido de que lo congela. La palabra devuelve aquellas esencias dormidas y deja vagar la imaginación y recrearse en lo que se percibe, reconstruirlo. No te ciñe como la imagen a lo que te enseña²⁵⁹.

La fotografía es una expansión del poder del sentido de la vista, que nos ha permitido ver lo más lejano, lo invisible, lo más veloz, lo evidente; una dimensión es ésta, su huella de la naturaleza; otra es su poder de evocación y de construcción de mundos creados a través de la mirada de los fotógrafos y de los cineastas. Si en la ciencia es una prueba, una medición, una sombra; cuando se hace lenguaje, esos signos ganan en arbitrariedad aún sin dejar de lado lo real, pues a través de ellos se podrá contar tanto un cuento como un drama, adentrándonos en el lado de lo simbólico. En este mundo de creación puramente humana que comparten las imágenes con la conciencia y con las ideas, las obras son el reflejo del momento histórico en el que se encuentra la humanidad, parten de las relaciones que se establecen entre los seres humanos, y de estos con la naturaleza; el mundo simbólico, constituido por las representaciones que nos formamos es consecuencia del mundo real, el de las relaciones de producción, que hoy día se encuentran en una dimensión cada vez más internacionalizada. La imagen está llamada a convivir con los textos y las palabras en el mundo de la información y de la comunicación actuales; así como en la imaginación y en los procesos mentales.

Imagen y metafísica

A lo largo de la historia los ojos han luchado contra las ideas, especialmente contra aquellas que han querido prescindir de la observación para ser formuladas. La abstracción límite cree dejar de lado lo sensorial, y dice nacer de imágenes mentales o de la revelación divina, exclusivamente. El innatismo cree trascender con su espiritualismo la realidad física. La epistemología genética y la gramática generativa defienden estructuras innatas en las personas, que se transforman con la realidad y con el paso de los años, por lo que representan

un modelo evolutivo e interactivo del conocer humano con respecto a la realidad, tratándose, por tanto, de un innatismo distinto al metafísico, que obedece al mundo exclusivo de las ideas. La simbiosis de la mente con el absoluto a partir de las experiencias místicas²⁶⁰, del descubrimiento científico -en la acepción que tanto gustaba a Max Planck- o de la inspiración artística, no tiene por qué estar fuera del mundo material: somos parte de ese absoluto, por lo que no es de extrañar que hablemos su mismo lenguaje. Es la idealización tendenciosa de ese innatismo y la presunción de que las ideas proceden de fuerzas ocultas en la naturaleza o de lo divino lo que contradice la posible verdad y el conocimiento. En la Grecia antigua, el viejo Platón afirmaba que la luz procedía de nuestros ojos y se dirigía a los objetos, alumbrándolos con sus rayos para poder ser vistos. Siglos más tarde, tras el triunfo de la ciencia y la omnipresencia del mundo tecnológico en nuestras vidas, la metafísica ha debido tomar otros derroteros. Decir hoy día que una placa fotográfica puede ser impresionada con tan sólo mirarla, y que la imagen que en ella aparecería se correspondería con aquel objeto que hemos mirado insistentemente unos minutos antes, no haría más que sonrojar al público oyente.

*"El Sr. Rogers tomó un chelín y lo miró intensamente a la luz del día durante un minuto seguido, con la idea de fijar su imagen claramente en la retina. Entonces extendió una pantalla amarilla a lo largo de la ventana de la habitación en la que estaba sentado para evitar la entrada de luz actínica, y, colocando una placa fotográfica en cierta posición, fijó sus ojos en el centro de la misma, a la vez que sólo permitía que la imagen de la moneda ocupara su mente. Permaneció mirando la placa durante cuarenta y tres minutos, y después la reveló, con el resultado de que apareció ligeramente dibujada la forma de la moneda"*²⁶¹.

Probablemente el editor de esta prestigiosa revista se arrepintió después de haber aceptado publicar tal noticia en sus páginas, a no ser que fuera redimido por la corriente de neoplatonismo que comenzaba a causar furor por la época. La ciencia de hoy no se cuestiona, es aceptada por el poder y convive con las creencias religiosas sin que nadie se alarme o muestre un ápice de perplejidad ante este dualismo irreconciliable. Es el secretismo y el coste tan elevado de su producción lo que la ha convertido en propiedad privada y en una *nueva metafísica*. Tras las dos grandes guerras del siglo XX, la tecnología se ha ligado estrechamente, como nunca lo había hecho hasta entonces, a la gran industria y al desarrollo de armamento, lo que ha supeditado el avance científico, incluida la imagen técnica, a sus preceptos y necesidades. El *equilibrio del terror* originado por el desarrollo de la tecnología nuclear militar, la destrucción sistemática de la naturaleza, la desigualdad de la distribución de la riqueza y el sometimiento de unos pueblos por otros, etc., son los pilares donde se sustenta el actual entramado de producción mundial. El poder está ligado a la destrucción, a la violencia y a la sinrazón que origina este mal uso de la tecnología. La imagen técnica no escapa a esta realidad, en tanto en cuanto el conocimiento que provee es sistemáticamente expropiado al conjunto de la sociedad, su avance está sujeto a las necesidades de ese entramado que a la postre no beneficia a nadie, y en tanto en cuanto la producción de imagen simbólica respalda ese entramado industrial y sus intereses.

Mientras que las sombras de la caverna de Platón nos lanzan a la incertidumbre, las del *gnomon*, las producidas por la difracción de los rayos X, o las grabadas en el asfalto de Hiroshima nos devuelven a la realidad en todo su sentido. La idealización del mundo que consigue la imagen símbolo, como parte del proceso de enajenación que determinan las relaciones de producción de la sociedad, se corresponde con el cuestionamiento de la validez de la observación y de la imagen técnica como piezas fundamentales para la adquisición de conocimiento y con el refugio en causas metafísicas. El valor simbólico que consigue la imagen técnica en su acepción formal mantiene una relación directa y recíproca con la importancia que se quiere dar a lo sensorial -en este caso, a la observación y a todos sus instrumentos afines, entre ellos la propia fotografía- en el proceso de adquisición del conocimiento. Es ésta una posible vía para establecer una conexión entre arte y ciencia.

Fotografía y conocimiento

Tras el último intento en la historia de cuestionar la validez de la información sensorial, para aprovechar la huida inmediata hacia el mundo de las sombras platónicas, llevado a cabo por la revitalización del idealismo en la física de principios del siglo XX, vemos cómo la ciencia ha seguido avanzando sustentándose precisamente en nuevas observaciones. Las barreras interpuestas por las *relaciones de indeterminación* no serán las últimas que deberá afrontar la ciencia: ése es el reto. Mientras tanto los nuevos paradigmas científicos se han ido abriendo camino a partir de la percepción de nuevas anomalías (Kuhn), o por la falsación de antiguos principios, como prefiere contemplarlo la lógica (Popper). El poder de mirar las cosas de otra manera es lo que hace avanzar de un modelo a otro en ciencia. Y esta cualidad es compartida por el quehacer artístico. La acomodación de la mirada a nuevas realidades, o el saber mirar los fenómenos desde un nuevo punto de vista supone un cambio de actitud, que debe ir parejo a las exigencias del medio y a una evolución del sistema nervioso central; el mundo nos obliga con sus continuos cambios a nuevos tipos de representación, a crear nuevas miradas y a una transformación en el interior de nosotros mismos. Las nuevas melodías, las pinturas o esculturas de las últimas vanguardias, como las nuevas cosmologías, precisan de tiempo y esfuerzo para ser asimiladas y comprendidas. Lo fortuito -ya lo hemos visto aquí en numerosas ocasiones- también desempeña un papel determinante. Las visiones transformadoras de lo real que irrumpen de tanto en tanto en la historia son modos de actuación compartidos por la ciencia y por el arte.

El conocimiento científico se alimenta de los datos sensibles que se producen dentro de un dilatado espectro, desde las simples mediciones que ofrece un instrumento, aportando cantidades numéricas de valor relativo, a la imagen concreta de un fenómeno, que nos proporciona una información cualitativa del mismo. La imagen técnica de lo que nos rodea encierra niveles de información y de precisión acordes con las huellas impresas en sus emulsiones; la regularidad de sus manchas ayuda en las labores de interpretación. Las marcas desveladas, en disposición geométrica, por la difracción de los rayos X en los cristales o en las moléculas del ADN, arrojan una información menos ambigua que la de los trazos de las partículas subatómicas. Más allá de esta imagen técnica comienza el trabajo de la imagen mental, de las concepciones teóricas (imágenes físicas) construidas a golpe de

imaginación y abstracción en el interior de nuestras mentes. Y dentro de ellas, unas serán más visuales que otras; desde el sistema planetario atómico al espacio tetradimensional relativista, por poner dos ejemplos, las imágenes adquirirán niveles distintos de abstracción. La fotografía ha impulsado con creces este juego dialéctico de una imagen con otra, abriendo universos nuevos a la percepción humana y avivando la fantasía, para bien de la ciencia y del arte.

En definitiva, la fotografía nació en épocas de revoluciones, imponiendo una representación de la realidad de una objetividad aplastante y devolviendo al mundo una imagen fiel reflejo de lo real, en consonancia con las nuevas verdades que hicieron caer el Antiguo Régimen. Tras un siglo de servicio al conocimiento científico, haciendo posible el descubrimiento en la naturaleza de realidades nunca imaginadas por la ciencia, comenzó a ser cuestionada cuando su tecnología se acercó a los límites de la observación impuestos por el estudio de los cuerpos diminutos; la luz que necesitaba para captar esas partículas afectaba el comportamiento natural de éstas, convirtiéndose ella misma, como el propio observador, en parte del objeto de estudio. La ciencia ha seguido su curso desde entonces: el poder de observación de los nuevos instrumentos ha crecido con los años, el fin de camino impuesto por las *relaciones de indeterminación* no justifica las tesis idealistas, en la limitación descansa la virtud tanto del arte como de la ciencia. La imagen técnica digital, que nos ha traído la electrónica unida a la informática, profundiza en los niveles de observación y de representación del mundo y, a la vez, posibilita mayores grados de manipulación de lo que retrata. La verdad de estas imágenes dependerá de la acción –de construcción y de desciframiento- de cada uno de nosotros.

José Cuevas

Madrid, 16 de noviembre de 2003.

Bibliografía

MONOGRAFÍAS

1. Adams, George. *Micrographia Illustrata, 1747*. Copia del Museo de Ciencias Naturales de Madrid.
2. Alberti, Leon Battista. *Tratado de la pintura*. Edición conjunta (Libro segundo). Caja Murcia: Murcia, 1985.
3. Andrade e Silva, J. Lochak, G. *Los cuantos*. Guadarrama, 1969.
4. Antonioni, Michelangelo. *Introducción a La noche. El eclipse. El desierto rojo*. Alianza, 1969. ["Sei Film". Ed. Giulio Einaudi]
5. Arheim, Rudolf. *El cine como arte*. Paidós, 1996. ["Film as art", University of California Press, 1957].
6. Asimov, Isaac. *Introducción a la Ciencia: (I. Ciencias Físicas)*. ["Asimov's New guide to science". Basic books. Orbis, 1986]
7. Bacon, Francis. *Instauratia Magna*. Porrúa, 1991.
8. Bacon, Francis. *Novum Organum*. Porrúa, 1991.
9. Barnow, Erik. "El documental" Gedisa, 1996. "Documentary" Oxford University Press, 1974.
10. Barthes, Roland. "La cámara lúcida". Nota sobre la fotografía. Paidós 1990. "La Chambre claire". Note sur la photographie. Cahiers du Cinéma. 1980.
11. Becquerel, Henri. *Sobre las radiaciones emitidas por fosforescencia 24/2/1896. El descubrimiento de la radiactividad*. (Escritos sobre experimentos científicos, desde 1896 a 1905). Espasa Calpe - Argentina, 1946.
12. Benjamin, Walter. *La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica* (1936). Taurus, 1989. ["Zeitschrift für Socialforschung". Suhrkamp Verlag, 1972.]
13. Benjamin, Walter. *Sobre la fotografía*. PreTextos. 2004.
14. Benoit, Paul y Micheau, Françoise. ¿El intermediario árabe? en Serres, Michel. *Historia de las Ciencias*. Cátedra, 1989
15. *Biblia de Jerusalén*. Ed. Española Desclée de Brouwer. 1975. Traducido del francés, de Éditions du Cerf, 1973.
16. Bohr, Niels. *Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano* (1958 - 1962). Aguilar, 1970. ["Essays 1958 - 1962 on atomic physics and human knowledge"]
17. Comte, Auguste. *Curso de filosofía positiva*. Folio, 2002.
18. Comte, Auguste. *Discurso sobre el espíritu positivo*. Folio, 2002.
19. Conan Doyle, A. "El carbunclo azul". *Las aventuras de Sherlock Holmes*. Gaviota. 1991.
20. Da Vinci, Leonardo. *Tratado de la Pintura*. Edición conjunta (Libro primero). Caja Murcia: Murcia, 1985.
21. de Broglie, Louis. *Materia y luz*. Traducción de Xavier Zubiri. Espasa Calpe, 1939.
22. de Broglie, Louis. *Por los senderos de la ciencia*. Espasa Calpe, 1963 ["Sur les sentiers de la Science" (conferencia, de 25 de febrero de 1955), Albin Michel, 1960].
23. Descartes, René. *Discurso del método*. Bruguera, 1974.
24. Eames, Charles and Ray. *Project pigeon*, en la obra recopilatoria *A Computer perspective*. Harvard University Press, 1990.

25. Eddington, A. S. *Estrellas y átomos*. Revista de Occidente. Madrid, 1928.
26. Eder, Josep- Maria. *History of Photography*. Columbia University, 1945.
27. Eder, Josep- Maria. *La Photographie Instantanée: son application aux arts et aux sciences*. Ed. Gauthier- Villars, Paris, 1888
28. Einstein, Albert. *Mi visión del mundo*. Tusquets, 1997.
29. Engels, Federico. *Del socialismo utópico al socialismo científico*. 1892. (Marx - Engels. Obras escogidas). Akal, 1975.
30. Engels, Federico. *Ludwig Feuerbach y el fin de la filosofía clásica alemana*. (1888). (Marx - Engels. Obras escogidas). Akal, 1975.
31. Farrington, B. *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial*. Ayuso, 1971. ["Francis Bacon, Philosopher of Industrial Science." Lawrence and Wishart Ltd.]
32. Farrington, Benjamin. *Ciencia y Filosofía en la Antigüedad*. Ariel, 1974. ["Science in Antiquity". Oxford University Press, 1969]
33. Farrington, Benjamin. *Ciencia y Política en el mundo antiguo*. Ayuso, 1973. ["Science and Politics in The Ancient World". George Allen & Unwin Ltd., 1965]
34. Farrington, Benjamin. *La rebelión de Epicuro*. Laia, 1974 ["The Faith of Epicurus". Weidenfeld and Nicholson, 1967].
35. Flusser, Vilém. *Una filosofía de la fotografía*. Síntesis, 2001. ["Für eine Philosophie der Fotografie". European Photography]
36. Frayn, Michael. *Copenhague*. Ayuntamiento de Madrid, 2003.
37. Gibson, Charles R. *The History of Photography*, en *Photography as Scientific Implement. A Collective Work*. Blackie and Son Limited, 1923.
38. Gombrich, Ernest. *La historia del arte*. Debate. 1998. [Phaidon Press Limited, 1997].
39. Gómez de Liaño, Ignacio. *Athanasius Kircher. Itinerario del éxtasis o las imágenes de un saber universal*. Ed. Siruela. 1986.
40. Graham, A.C. *La razón en la tradición filosófica china*. En "El legado de China", colección de artículos dirigida por Raymond Dawson. Pegaso, 1964. Original de Oxford University Press.
41. Gubern, Román. *Historia del cine*. Lumen, 1971.
42. Heisenberg, Werner. *El debate entre Platón y Demócrito* en *Cuestiones cuánticas: Escritos místicos de los físicos más famosos del mundo*. Edición de Ken Wilber. Kairós, 1987.
43. Heisenberg, Werner. *Física atómica y ley causal*, en *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Seix Barral, 1957 ["Das Naturbild der heutigen Physik". 1955.].
44. Hockney, David. *El conocimiento secreto*. Destino, 2002. ["Secret Knowledge. Rediscovering the lost techniques of the Old Masters". Thames and Hudson Ltd., 2001].
45. Ivins, W. M. *Imagen impresa y conocimiento. Análisis de la imagen prefotográfica*. Gustavo Gili, 1975. Título original: *Prints and Visual Communication*. Routledge & Kegan.
46. Kircher, Athanasius. *Mundi Subterranei. Jesu Mundus Subterraneus*, Amsterdam, 1678. Copia del Museo de Ciencias Naturales, Madrid.
47. Kracauer, Siegfried. *Teoría del cine. La redención de la realidad física*. Paidós, 1996. ["Theory of film. The Redemption of Physical Reality". Oxford University Press]
48. Locke, John. *Ensayo sobre el entendimiento humano*. Folio, 2002. ["An Essay Concerning Human Understanding"].

49. Lucrecio. *De la naturaleza de las cosas* (De rerum natura). Edición de Agustín García Calvo. Cátedra, 1994.
50. Marx, Carlos y Engels, Federico. *La Ideología Alemana*. Obra concebida entre 1844 y 1845. Ediciones Grijalbo, 1974.
51. Marx, Karl. *Diferencia de la filosofía de la naturaleza en Demócrito y en Epicuro*. Ayuso, 1971.
52. Marx, Karl. *Prólogo a la Contribución a la Crítica de la Economía Política* publicada en 1859. Alberto Corazón Editor. Madrid, 1970. ["Zur Kritik der Politischen Oekonomie". Dietz, Stuttgart, 1920].
53. Marx, Karl. *Tesis sobre Feuerbach 1845*: Notas de Marx escritas 40 años antes de la publicación de Engels. (Marx - Engels. Obras escogidas). Akal, 1975.
54. Meyerhorf, Max. *Ciencia y Medicina*. En "El legado del Islam", Pegaso, 1954. Oxford University Press.
55. Millikan, Roberto Andrés. *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos*. Espasa Calpe - Argentina, 1944.
56. Moholy-Nagy, L. *La Nueva Visión*. Buenos Aires, Ed. Infinito, 1985. ["Von Material zur Architektur", 1929]
57. Mumford, Lewis. *Técnica y civilización*. Altaya, S. A., 1998. ["Technics and Civilization". Harcourt, Brace & World, Inc., 1963].
58. Needham, Joseph. *La ciencia y la influencia china en el mundo*. En "El legado de China", colección de artículos dirigida por Raymond Dawson. Pegaso, 1964.
59. Nekes, Werner. *El cine antes del cine*. Documental para TV. 1985. Producción: Dore O.
60. Nicolle, Jacques. *Wilhem Conrad Röntgen y la era de los rayos X*. Cid, 1966.
61. Panofsky, Erwin. *La perspectiva como forma simbólica*. Tusquets, 1999 ["Die Perspektive als "Symbolische Form". Vorträge der Bibliothek Wasburg, 1927].
62. Pater, Walter. *El Renacimiento*. Icaria, 1982. ["Library Editions of the Works of Walter Pater". Macmillan Company, 1910].
63. Planck, M. *Autobiografía científica. Sentidos y límites de la ciencia exacta*. Nivola 2000 ["Sinn und Grenzen der exakten Wissenschaft". Conferencia impartida en 1941. 6ª edición alemana 1958.].
64. Platón. *Fedón*. Bruguera, 1982
65. Platón. *La República*. Austral, 1984.
66. Racionero, Luis. *Leonardo Da Vinci*. Ediciones Folio. 2004.
67. Ruskin, John. *The Nature of gothic*. Charles Lehman Publishers. 1975.
68. Schopenhauer, Arthur. *Sobre la voluntad en la naturaleza*. Alianza, 1994.
69. Serres, Michel. *Historia de las Ciencias*. Cátedra, 1991["Éléments d'Histoire des Sciences". Bordas, 1989].
70. Shelley, Mary. *Frankenstein o El moderno Prometeo*. Cátedra, 1996.
71. Sougez, Marie-Loup. *Historia de la fotografía*. Cátedra, 1991.
72. Thomas, Ann. *Beauty of Another Order. Photography in Science*. Yale University Press, National Gallery of Canada, 1997.
73. Weinberg, Steven. *The Discovery of Subatomic Particles*. Cambridge Univ. Press. 2003

74. Westfall, Richard. S. *Isaac Newton: una vida*. Ediciones Folio 2004. The Life of Isaac Newton. Cambridge Univ. Press. 1996.

ARTICULOS PUBLICADOS EN REVISTAS

75. Andrade, E. N. da C. *Robert Hooke, 1635- 1703*. Nature, February 28, 1953. Vol. 171.

76. Aston, F. W. *The Atoms of Matter; their size, number, and construction*. Nature, November 25, 1922.

77. Barnard, J. E. *Ultramicroscopic vision*. Nature. February 25, 1909.

78. Bernard, J. E. *Microscopy with Ultra-violet Light*. Nature. November 18, 1920.

79. Bohr, Niels. *The Structure of the Atom*. Nature, July 7, 1923.

80. Bohr, Niels. *Atomic Theory and Mechanics*. Nature, December 5, 1925.

81. Born, Max. *Physical Aspects of Quantum Mechanics*. Nature, March 5, 1927.

82. Boys, C. V. *Kinematography and its applications*. Nature. March 19, 1914.

83. Brothers, A. *Notes on Eclipse Photography*. Nature. Aug 24, 1871.

84. Crommelin, A. C. D. *Results of the Total Solar Eclipse of May 29 and the Relativity Theory*. Nature. November 13, 1919.

85. Draper, Henry. *On Diffraction Spectrum Photography, and the determination of the wave-lengths of the ultraviolet rays*. Nature. Jan 22, 1874. p 224.

86. Eddington, F. R. S. *Gravitation and the Principle of Relativity*. Nature. March 7 & 14, 1918.

87. Einstein, Albert. *A Brief Outline of the Development of the Theory of Relativity*. Nature, February 17, 1921.

88. Ellis, C. D. *The Light-Quantum Theory*. Nature, June 26, 1926.

89. Frizot, Michel. *Testimonios recogidos por este historiador de la fotografía, a partir de su visita a los laboratorios de Marey, entre 1882 y 1900*. El Paseante. nº 9. Ediciones Siruela. 1988

90. Gregory, Richard. A. *Notas recogidas de la revista del New York Liceum of Natural History, por el autor, y publicadas en Nature, 9 de Octubre de 1890*.

91. H. M. Stationery Office. *Technical Report of the Advisory Committe for Aëronautics for the year 1911- 12*. Nature. March 27, 1913.

92. Jordan, P. *Philosophical Foundations of Quantum Theory*. Nature, April 16, 1927.

93. Kirchhoff, Gustav, and Bunsen, Robert. *Chemical Analysis by Observation Spectra*. Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorff) Vol. 110. 1860.

94. Lewis, E. P. *Recent progress in Spectroscopy*. Nature. April, 5, 1917.

95. Mallok. A. *Diffusion of Momentum by Air Currents*. Nature. April, 18. 1925.

96. Marey, E. H. J. *The Mechanism of the Flight of Birds* (traducción de un artículo publicado en francés, en La Nature, el 3 de Diciembre de 1887). Nature. February 16, 1888.

97. Marey. E. J. *A Study in Locomotion*. Nature, March 20, 1879.

98. Maxwell, James, C. *On the Dynamical Evidence of the molecular constitution of bodies*. Nature. 4 y 11 de marzo de 1875.

99. Meldola, Raphael. *The Photographic Image*. Nature, July 10, 1890.

100. Michelson, Albert. A. *Experimental Determination of the Velocity of Light*. Nature, November 27 and December 4, 1879.

101. Millikan, R. A. *Radiation and the Electron*. Nature, May 23 & 30, 1918.
102. Monckhoven, V. *On a new artificial light suitable for the production of photographic enlargements*. Nature, Jan. 6, 1870.
103. Nagaoka, H. *Preliminary Note on the Transmutation of Mercury into Gold*. Nature. July 18, 1925.
104. Nichols, Edward. L. *The Application of Photography to the study of the Manometric Flame*. Nature. February 2, 1899.
105. Rosenfield, Israel. "Una nueva aproximación a la memoria y la percepción". Número 14 (1989). El Paseante. Ediciones Siruela. p 24 y ss.
106. Pathé Frères. *Microkinematography*. Nature, December, 14, 1911.
107. Röntgen, W. C. *On a new kind of rays*. Nature, January 23, 1896.
108. Rutherford, Ernest. *Collision of α - Particles with Light Atoms*. Nature, July 24, 1919.
109. Rutherford, Ernest. *Radium and the Electron*. Nature. November 6, 1919.
110. Rutherford, Ernest. *Artificial Desintegration of the Elements*. Nature, May 6 & 13, 1922.
111. S. J. R. *Some effects of the X-rays on the hands*. Nature. October 29, 1896.
112. Seil, Carl and others. *Micro-Photographs in Histology. Normal and pathological*. Nature, Nov 9, 1876.
113. Soddy, Frederik. *Atoms and Molecules*. Nature, November 6, 1919.
114. Thomson, J. J. *Some Speculations as to the Part Played by Corpuscles in Physical Phenomena*. Nature, May 10, 1900.
115. Thomson, J. J. *Some further applications of the method of Positive Rays*. Nature, May 29, 1913.
116. Turner, H. D. *Robert Hooke and Boyle's Air Pump*. Nature. August 8, 1959. Vol. 184.
117. Tutton, A. E. H. *Great advance in Crystallography*. Nature, July 17, 1913.
118. Tutton, A. E. H. *The Crystal Space-lattice revealed by Röntgen Rays*. Nature, November 14, 1912.
119. Vol. 12. N° 2. of *History of Photography*. (Quarterly), Ed: School of Art History. University of St. Andrews. Scotland
120. W.A.D. *Synthetic Biology and the mechanism of life*. Nature. May 15, 1913.
121. Wilson, J.A. *The corona*. Nature. Dic 2, 1869.
122. Winstanley, D. *The Eclipse Photographs*. Nature. June 29, 1871.
123. Worthington, A. M. *A study of splashes*. Nature, October 29, 1908.
124. E. Ostroff y T. H. James. *Gelatine Silver Halide Emulsion: a History*, Journal of Photographic Science. Vol 20, 1972.

OTRAS OBRAS CONSULTADAS

125. Atkinson, J. R. *Bubble chambers and nuclear research*. (Sciences News, 49). Penguin Books, 1958.
126. Benjamin, Walter. *Pequeña historia de la fotografía*. Taurus, 1990.

127. Crary, Jonathan. *Techniques of the Observer. On vision and modernity in the nineteenth century*. MIT Press, 1992.
128. Crowther, J. A. *Iones, electrones y radiaciones ionizantes*. Espasa Calpe - Argentina, 1947..
129. *Focal Encyclopedia of Photography*. MacGraw Hill. Focal Press Ltd., 1969.
130. Fontanella, Lee. *La historia de la Fotografía en España. Desde sus orígenes hasta 1900*. El Viso, 1981.
131. Freund, G. *La fotografía como documento social*. Gustavo Gili, 1983. ["Photographie et Société", Editions du Seuil, París, 1974].
132. Greenough, S; Snyder, Joel; Travis, David; Wseterbeck, Colin. *On the Art of Fixing a Shadow. One Hundred and Fifty Years of Photgraphy*. National Gallery of Art. The Art Institute of Chicago, 1989.
133. Havemann, Robert. *Dialectica sin dogma*. Ariel, 1971.
134. Heimendahl, E. *Física y filosofía*. Guadarrama, 1969. ["Dialod des Abendlandes Physik und Philosophie". Verlag, 1966.]
135. Kuhn, Thomas S. *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, 1981. *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, 1962.
136. Lao- Tsé. *Tao-tê-Ching*. Ediciones Alba, 1997.
137. Latour, Bruno and Weibel Peter (editors). *Iconoclash. Beyond the image wars in science, religious and art*. Ed: KZM y The MIT Press 2002.
138. Lemagny, J.C. y Rouillé, A. *Historia de la Fotografía*. Alcor, 1988. ["Historie de la Photographie". Bordas, S. A. París. 1986]
139. Martínez Shaw, C; Alfonso Mola, M. *Ilustración, en Historia de la Humanidad*, 24. Arlanza Ediciones, 2000.
140. Newhall, B. *The History of Photography*. MOMA, 1964.
141. Panofsky, Erwin. *Introducción a la iconología*. Revista de Occidente. Nº 86. Mayo 1970.
142. Panofsky, Erwin. *Estudios sobre iconología*. Alianza Universidad, 1979. *Studies in Iconology*. Harper Torchbook, 1962.
143. Piaget, Jean. *Epistemología genética*. Colección Beta, 1970. ["L'épistémologie génétique". Presses Universitaires de France]
144. Piaget, Jean. *Las formas elementales de la dialéctica*. Gedisa. 1982.
145. Planck, Max. *¿Adónde va la ciencia?* Editorial Losada. Buenos Aires, 1941.
146. Poincaré, Henri. *Ciencia e hipótesis*. Espasa Calpe, 2002.
147. Popper, Karl. *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, 1967. ["The Logic of Scientific Discovery". Hutchinson & Co Ltd, Londres]
148. Reid, Robert. *Marie Curie*. Salvat Editores, 1985. ["Marie Curie", Camair Press]
149. Russell Harrison, G. *Atomos en acción*. Ed: Sudamericana 1944.
150. Sánchez Ron, José Manuel. *Marie Curie y su tiempo*. Folio 2003.
151. Sintés Olives, F. F. *Física General Aplicada*. Ed. Ramón Sopena, 1935.
152. Sontag, Susan. *On photography*. Anchor Books, 1990.
153. Szarkowski, J. *Photography until now*. MOMA, 1989.

154. Wiener, Norbert. *Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas*. Tusquets, 1998.
155. Wiener, Norbert. *Cibernética y sociedad*. Editorial Sudamericana, 1988.
156. *Pacífico inédito*. 1862- 1866. Exposición fotográfica. Museo Nacional de Ciencia Naturales. 1992.

DOCUMENTACIÓN CONSULTADA EN INTERNET

- (<http://web.inter.nl.net/users/anima/chronoph/index.htm>)

Cronofotografía. Su autor es Charl Lucassen. Contenido: Notas biográficas sobre Félix Tournachon (Nadar) (1820-1910), Jules Janssen (1824-1907), Eadweard Muybridge (1830-1904), Étienne-Jules Marey (1830-1904), Albert Londe (1858-1917), Thomas Eakins 1844-1916), Ottomar Anschütz (1846-1907), Georges Demeny (1850-1918) May 2001, A.M. Worthington, Lucien Bull (1876-1972), Louis Augustin Le Prince (1841-1890), Wordsworth Donisthorpe (1847-1914), Max Sklandanowsky (1863-1939), The Horse in Motion, The zoöpraxiscopes, Attitudes of Animals in Motion, Work, Rest & Play, People moving forward, Links, US patents, First 15 animations (Ned.), Two thaumatrope animations, Fifteen phenakistiscope animations, Five zoetrope animations, Kaleidoscope (Java) animation, Two praxinoscope animations, Five zoöpraxiscopes animations, One magic lantern film animation, Text and images of US patents of early motion picture machines, FLI, FLC changed to GIF animations, Praxinoscope animations, etc.,. Incluye otras dos secciones: "Pre-Cinema" y "Optical Toys".

- <http://www.arsmachina.com/micromenu.htm>

Imágenes de microfotografía, procedentes de "*Antique Microscopes - Glossary files*"

- <http://www.savonabooks.free-online.co.uk/adintro.htm>

Ilustraciones e información sobre George Adams y sus instrumentos para el dibujo microscópico. "*George Adams Plates_files*" proceden del libro "*Plates for the Essays on the Microscope by George Adams*". "London. Printed for &c Published by Geo.e Adams. No.60. Fleet Street May 20th 1787".

Todas las imágenes en la carpeta "Micrographic Dictionary - Plates_files", proceden del libro "Micrographic Dictionary. A guide to the examination and investigation of the structure and nature of microscopic objects", por J. W. Griffith y Arthur Henfrey, 4th Edition, vol. II - Plates, London: John van Voorst, 1883.

- <http://www.kodak.com/US/en/health/scientific/products/electronmicrography/>

Microfotografías. "Kodak - Electron Micrography Films-Files"

- http://www.accessexcellence.org/AB/BC/Rosalind_Franklin.html

Artículo e imágenes sobre el trabajo de Rosalind Franklin : "Access Excellence at the National Health Museum: the site for Health & Bioscience Teachers & Learners". Otros artículos e imágenes sobre Rosalind Franklin en "Contributions of 20th Century women to Physics" (UCLA Department of Physics and Astronomy website) http://www.physics.ucla.edu/~cwp/Phase2/Franklin,_Rosalind@841234567.html

- (<http://www.monkeytime.com/sciencemaster/galleries/micro/gallery.php>)

Imágenes y textos sobre micrografía, en la carpeta "Micrography_files" procedente de la

web de Dennis Kunkel. <http://www.denniskunkel.com/>.

- <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/essays/data/art5/index.html>

Textos e imágenes sobre Pudovkin procedentes de la web "The Virtual Laboratory: Essays and Resources on the Experimentalization of Life, 1830-1930" del Max Planck Institute for the History of Science, Department III, cuya dirección en internet es <http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/index.html>.

- <http://www.microscopy-uk.org.uk/index.html>).

Texto e imágenes sobre microfotografía, "Microscopy UK Micscape": "Taking a photomicrograph in 1904", by Dave Walker, UK, procedente de la página web en internet de la revista MICSACPE (<http://www.microscopy-uk.org.uk/index.html>).

- <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/anatomy/anatomy.html>

Textos e imágenes sobre microfotografía del "Molecular Expressions website" (The Florida State University Optical Microscopy at the National High Magnetic Field Laboratory)

- <http://www.electro-optical.com/toplevel/educationref.htm>

Textos y gráficos sobre la radiación de cuerpos negros, teoría de los cuantos: What is Blackbody Radiation?, What is Emissivity?, What is Visible Radiation? Educational and Reference (Electro Optical Industries, Inc.)

- <http://www.rutherford.org.nz/>

Aspectos biográficos de Ernest Rutherford. Autor: John Campbell.

- <http://www.nobel.se/index.html>

Biografía de C. T. R. Wilson – Biography en e-Nobel Museum (y específicamente <http://www.nobel.se/physics/laureates/1927/wilson-bio.html>)

- http://www.das.uchile.cl/~jose/fotografia_astronomica.html

Texto sobre la fotografía astronómica. Autor José Maza Sancho, de la Universidad de Chile.

- <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/Electrons/Spectrum-History.html>

Breve recorrido sobre las diferentes teorías de la luz y las técnicas espectrográficas. A Brief (Incomplete) History of Light and Spectra.

- <http://www.hao.ucar.edu/public/education/sp/images/fraunhofer.html>

Resumen sobre la obra de Joseph von Fraunhofer (1787-1826)

- <http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/Chem-History/Kirchhoff-Bunsen-1860.html>

Sobre los experimentos de Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen: Chemical Analysis by Observation of Spectra. Reproducción de las páginas del Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorf), Vol. 110 (1860), pp 161- 189. (dated Heidelberg, 1860)

Notas de pie de página

1 La película a la que se refiere Pudovkin es *Los mecanismos del cerebro*, documental didáctico sobre las teorías de fisiología de Pavlov, realizado en 1925.

2 Este libro nació como parte del trabajo de investigación necesario para la obtención del D. E. A (Diploma de Estudios Avanzados) en Comunicación Audiovisual, de la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad Complutense de Madrid. Septiembre, 2003.

3 Las excepciones a esta afirmación son la obra capital de Josef Maria Eder: *History of Photography*, obra original en alemán y cuya última edición, en inglés, es de 1945; y el capítulo *The History of Photography*, de Charles R. Gibson, incluido en la obra *Photography as a scientific implement*. 1923. Ninguno cuenta con traducción al castellano. Ver Bibliografía.

4 Un buen ejemplo de esta tendencia es la obra *Beauty of Another Order*, de Ann Thomas, Yale University Press, National Gallery of Canada, 1997. cuyo título es bien explícito de lo que decimos, y en la que el criterio comercial o divulgativo es el que ha determinado la selección de sus diversos textos dedicados a la aplicación de la fotografía en la ciencia.

5 Serres, Michel. *Historia de las Ciencias*. Cátedra 1991. p 90. "Éléments d'Histoire des Sciences" Bordas 1989

6 Ibid. p 90.

7 Cf. Ibid. p 86.

8 Gran parte de la información y de las ideas recogidas en las siguientes páginas están en deuda con la obra de Benjamín Farrington; en especial con: *Ciencia y Filosofía en la Antigüedad*, Ariel 1974, "Science in Antiquity", Oxford University Press 1969; *Ciencia y Política en el mundo antiguo*, Ayuso, 1973, "Science and Politics in The Ancient World" Ed: George Allen & Unwin Ltd. 1965; y *La rebelión de Epicuro*, Laia 1974, "The Faith of Epicurus", Ed: Weindenfeld and Nicholson, 1967.

9 Op. cit. Farrington. B. *La rebelión de Epicuro*. p 71.

10 Ibid. p 71.

11 Panofsky, Erwin. *Estudios sobre iconología*. Alianza Universidad, 1979. *Studies in Iconology*. Harper Torchbook, 1962. p 251.

12 Op. cit. Farrington. *Ciencia y Filosofía...* p 57.

- 13 Ibid. p 80.
- 14 Op. Cit. Farrington.. *Ciencia y Política...* p 82.
- 15 Marx, Karl. *Diferencia de la filosofía de la naturaleza en Demócrito y en Epicuro*. Editorial Ayuso. 1971. p 23.
- 16 Platón. *La República o el Estado*. Austral. 1984. p 220.
- 17 Platón. *Diálogos. Fedón*. Bruguera 1982. p159.
- 18 Ibid. p 170.
- 19 Op. cit. *República*. pp 205, 206.
- 20 Op. cit. Farrington. *Ciencia y política...* p 27.
- 21 Op. cit. Farrington. *Ciencia y Filosofía...* Cita extraída de *La generación de los animales*, de Aristóteles, y comentarios del autor sobre. p 133 y 134.
- 22 Ibid. p 147.
- 23 Panofsky, Erwin. *La perspectiva como forma simbólica*. Tusquets, 1999. pp 18- 19. "Die Perspektive als "Symbolische Form"" Ed: Vorträge der Bibliothek Wasburg, 1927.
- 24 Op. cit. Marx. *Diferencia ...* p 22.
- 25 Op. cit. Farrington. *La rebelión ...* p 153.
- 26 Ibid. pp 151 y 152.
- 27 Ibid. p 24
- 28 Lucrecio. *De la naturaleza de las cosas*. Cátedra. 1994. Edición de Agustín García Calvo. "De rerum natura" p 147.
- 29 Ibid. p 243.
- 30 Op. cit. Farrington. *Ciencia y política...* p 173.
- 31 *Biblia de Jerusalén. Epístolas de San Pablo. Primera Epístola a Los Corintios*. Ed. Desclée de Brouwer. 1975. Traducido del francés, de Éditions du Cerf, 1973. p. 1634
- 32 Ibid. p 1635.

33 Cf. Op. cit. Szarkowski. p 11.

34 Cf. Graham, A.C. *La razón en la tradición filosófica china*. En "*El legado de China*". Dirigido por Raymond Dawson. Pegaso. 1964. Oxford University Press. p 86.

35 Needham, Joseph. *La ciencia y la influencia china en el mundo*. En Op. Cit. Pegaso 1964. p 405.

36 Ibid. Lynn White, citado por Joseph Needham. Op. cit. p 414.

37 Cf. Meyerhorf, Max. *Ciencia y Medicina*. En: "*El legado del Islam*." Pegaso 1954. Oxford University Press. p 390.

38 Ibid. p 398.

39 Benoit, Paul y Micheau, Françoise. *¿El intermediario árabe?* en Op. cit. Serres, Michel. *Historia de las Ciencias*. Cátedra 1989. p 193.

40 El manuscrito original del Canon de medicina de este insigne sabio fue expoliado de la Biblioteca Nacional de Bagdad en abril de 2003 aproximadamente, tras la invasión norteamericana de Irak.

41 Op. cit. Meyerhorf. p 416.

42 Cf. Op. cit. Eder. Y en Hockney, David. *El conocimiento secreto*. Destino. 2002. "Secret Knowledge. Rediscovering the lost techniques of the Old Masters". Ed. Thames and Hudson Ltd. 2001.

43 Op. cit. Meyerhoff. p 420.

44 Ibid. p 424.

45 Mumford. Lewis. *Técnica y civilización*. Altaya, S. A. 1998. "Technics and Civilization" Harcourt, Brace & World, Inc. 1963. p 158.

46 Ruskin, John. *The Nature of gothic*. Charles Lehman Publishers. 1975. p 34.

47 Op. cit. Panofsky. p 36.

48 Cf. Op cit. Mumford.

49 Su fundador fue el obispo Roberte Grosseteste (1168- 1253) quien se especializó en el estudio de la Óptica con criterios que se acercaban a la metodología científica.

- 50 Op. cit. Hockney. p 206.
- 51 Cf. Op. cit. Mumford. p 35.
- 52 Op. Cit. Lucrecio. p 254.
- 53 Cf. Op. cit. Panofsky. p 122- 3.
- 54 Ibid. pp 30- 31.
- 55 Gombrich, Ernest. *La historia del arte*. Debate. 1998. Orig: Phaidon Press Limited, 1997. p 235.
- 56 Ibid. p 229.
- 57 Alberti, Leon Battista. *Tratado de la pintura*. Edición conjunta. Murcia 1985. Libro segundo. p 227. "Della Pintura" (1436). Trad. de Diego Antonio Rejón de Silva del año 1784, siguiendo la de Rafel Trinchet du Fresne (París, Langlois, 1651)
- 58 Da Vinci, Leonardo. *Tratado de la Pintura*. Edición conjunta. Murcia 1985. Sección primera. p. 3. La redacción se hizo entre 1487 y 1514. Trad. de Diego Antonio Rejón de Silva del año 1784, siguiendo la de Rafel Trinchet du Fresne (París, Langlois, 1651)
- 59 Ibid. Sección XXI. De la variedad en las figuras. p 10.
- 60 Ibid. p 15 y 25 respectivamente.
- 61 Racionero, Luis. *Leonardo Da Vinci*. Ediciones Folio 2004, Cap. 6.
- 62 Ivins, W. M. *Imagen impresa y conocimiento. Análisis de la imagen prefotográfica*. Gustavo Gili, 1975. Título original: Prints and Visual Communication. Routledge & Kegan. p 219.
- 63 Ibid. p 41.
- 64 Cf. Pater. Walter. *El Renacimiento*. Icaria, 1982. Library Editions of the Works of Walter Pater. Macmillan Company, 1910. p 45.
- 65 Ibid. p 91.
- 66 Op cit. Leonardo. p 207.
- 67 Op. Cit. Eder. p 40.

68 Op. Cit. Hockney.. p 208.

69 Gibson, Charles. R. *The History of Photography*, cita incluida en el capítulo de la obra *Photography as a Scientific Implement*. A collective work. Blackie and son limited. 1923. p 4. (Traducción propia)

70 Ibid. p 7.

71 Cf. Farrington, B. *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial*. Ed. Ayuso. 1971. "Francis Bacon, Philosopher of Industrial Science." Ed. Lawrence and Wishart Ltd.

72 Ibid. pp 66- 67.

73 Bacon, Francis. *Instauratia Magna*. Porrúa. 1991. p 17.

74 Bacon, Francis. *Novum Organum*. Porrúa. 1991. p 39.

75 Op. Cit. Instauratio.... pp 18- 19.

76 Ibid. p 19.

77 Op. Cit. Novum... p 21.

78 Descartes, René. *Discurso del método*. Bruguera. 1974. "Discours de la Methode". p 110.

79 Ibid. p 135.

80 Ibid. p 131.

81 Broglie, Louis de. *Por los senderos de la física*. Conferencia, de 25 de febrero de 1955. En *Por los senderos de la ciencia*. Espasa Calpe. 1963. Edición original: 1960. París.. *Sur les sentiers de la Science*. Ed: Albin Michel París1960. pp 161- 162

82 Gómez de Liaño, Ignacio. Athanaius Kircher. *Itinerario del éxtasis o las imágenes de un saber universal*. Ed. Siruela. 1986. Tomo I. p 27.

83 Cf. Nekes, Werner. *El cine antes del cine*. Documental. 1985. Producción: Dore O.

84 Kircher, Athanasius. *Mundi Subterranei. Jesu Mundus Subterraneus*, Amsterdam, 1678. Copia del Museo de Ciencias Naturales, Madrid.

85 Andrade, E. N. da C. *Robert Hooke, 1635- 1703*. Nature, 28 de Febrero de 1953. Vol.

171. p 365 y ss. Turner, H. D. *Robert Hooke and Boyle's Air Pump*. Nature. 8 de agosto de 1959. Vol. 184, p 395 y ss.

86 Es digno de mencionar como en el prólogo de esta obra, Locke homenajea la figura de Newton quien había recientemente publicado sus Principia (1686-7).

87 Locke, John. *Ensayo sobre el entendimiento humano*. Folio 2002. "An Easy Concerning Human Understanding" p 55.

88 Ibid. p 56.

89 Ibid. p 57.

90 Ibid. p 78.

91 Westfall, Richard S. *Isaac Newton: una vida*. Ediciones Folio 2004. p 121.

92 Ibid. p 40.

93 Cf. Andrade e Silva, J. Lochak, G. *Los cuantos* . Guadarrama 1969. "Les quanta" p 18 y ss.

94 Esta acepción se encuentra sobre todo en alemán ("Bild").

95 Flusser, Vilém. *Una filosofía de la fotografía*. Síntesis 2001. "Für eine Philosophie der Fotografie" Ed: European Photography. p 17.

96 Cf. Benjamin, Walter. *La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica*. (1936).Taurus. 1989. "Zeitschrift für Socialforschung" Suhrkamp Verlag, 1972. p 19.

97 Op. cit. Ivins. p 154.

98 Cf. Op. cit. Nekes.

99 Cf. Gibson. History of ... pp 10-11.

100 Op. cit. Eder. p 57 y ss.

101 Cf. Meldola, Raphael. *The Photographic Image*. Nature, July 10, 1890. p 247.

102 Op. Cit. "Photography as scientific..." The history.... p 12.

103 El fisionotrazo es un medio expresivo situado entre los retratos en miniatura hechos normalmente en marfil y característicos del XVIII y la fotografía. Como señala Gisèle

Freund en su tesis “*La fotografía en Francia en el siglo XIX*”, éstas son formas de representación propias de la aristocracia del Antiguo Régimen y de la nueva burguesía ascendente, respectivamente. Sobre la fotografía. de Walter Benjamin. PreTextos 2004. p 87.

104 La obra de Thomas Wedgwood, titulada *A Account of a method of copying Paintings- upon – glass, and of making Profiles, by the Agency of Light upon Nitrate of Silver*, publicada en 1802, es bien ilustrativa del afán de los científicos por ayudar a los artistas en sus tareas, hecho que estará presente en el nacimiento de la fotografía.

105 Shelley, Mary. *Frankenstein o El moderno Prometeo*. Cátedra 1996. p 218- 9. Frankenstein, or The Modern Prometheus.

106 Op. Cit. Gibson. *The History of ...* p 30. (Traducción propia)

107 Ibid. p 20.

108 Op. cit. Sougez. pp 69 y ss.

109 Op. cit. Gibson. p 23. Carta de Talbot a *Literary Gazette*. 19 de febrero de 1841.

110 E. Ostroff y T. H. James sostienen en *Gelatine Silver Halide Emulsion: a History*, *Journal of Photographic Science*. Vol 20, 1972, p 146, que la verdadera invención de esta técnica corresponde a Robert Bingham, quien la propuso 21 años antes, en 1850.

111 Op. cit. Benjamin, W. p. 26.

112 Ya el mismo Balzac, el gran novelista de lo real, señaló esto mismo al escribir: “Si alguien hubiera dicho a Napoleón que un edificio y que un hombre son incesantemente y a todas horas representados en la atmósfera por una imagen, que todos los objetos existentes tienen en la atmósfera un espectro que se puede captar y percibir, lo habría encerrado en el manicomio de Charenton... Sin embargo, eso es lo que Daguerre ha demostrado con su descubrimiento. Op. cit. Benjamin, *Sobre la fotografía*. p 137.

113 Schopenhauer, Arthur. *Sobre la voluntad en la naturaleza*. Alianza, 1994. "Über die Wille in der Natur" p 40.

114 Ibid. p 50.

115 Ibid. p 61 y 62.

116 Comte, Auguste. *Curso de filosofía positiva*. Folio 2002. "Cours de philosophie positive" p 27.

117 Ibid. p 34.

118 Comte, Auguste. *Discurso sobre el espíritu positivo*. Folio 2002. "Discours sur l'esprit positif". p 113-4.

119 Ibid. p 115.

120 Primer principio de la Termodinámica, de Mayer y Joule, de 1842- 1843.

121 La entropía según Clausius, o segunda ley de la Termodinámica (1852), formulada de acuerdo a los estudios sobre el calor de Carnot. 1824.

122 Op. cit. Andrade e Silva. p 53.

123 Engels, Federico. *Ludwig Feuerbach y el fin de la filosofía clásica alemana*. (1888). Marx- Engels. Obras escogidas. Akal 1975. pp 410- 411.

124 Carlos Marx- Federico Engels. *La Ideología Alemana*. Obra concebida entre 1844 y 1845. Ediciones Grijalbo 1974. p 26.

125 Ibid, p 40.

126 Cf. Op. cit. Benjamin, W. p 57.

127 Op. cit. Engels, F. *Ludwig Feuerbach y ...* p 385.

128 Op. Cit. Benjamin. p 48.

129 Engels, Federico. *Del socialismo utópico al socialismo científico*. 1892. Marx Engels Obras escogidas. Akal 1975. p 136.

130 Marx, Karl. *Tesis sobre Feuerbach*. 1845. Marx Engels Obras escogidas. Akal 1975. (Notas de Marx escritas 40 años antes de la publicación de Engels) p 426.

131 Marx, Karl. *Prólogo a la Contribución a la Crítica de la Economía Política*. Publicada en 1859. Alberto Corazón Editor. Madrid. 1970.. Zur Kritik der Politischen Oekonomie. Dietz, 1920, Stuttgart. p 270.

132 Op. cit. Marx, K. *Diferencias....* p 26.

133 Op. cit. Benjamin. p 25.

134 "Los ejercicios sólo tenían como objeto lograr una perfecta coordinación de la observación y la representación. La fotografía forma parte del curso preliminar. Siendo un instrumento perfecto de representación exacta, sirve para comprobar la calidad de la labor

manual. Los analfabetos del futuro serán aquellos que no saben fotografiar." Moholy- Nagy, L. *La Nueva Visión*. Ed. Infinito. Buenos Aires 1985. Von Material zu Architektur. 1929. p 45.

135 Cf. Antonioni, M. *Introducción a La noche. El eclipse. El desierto rojo*. Alianza Ed. 1969. p 15. Título original: Sei Film. Ed. Giulio Einaudi.

136 *A new camera lucida*. Nature (Editorial). July 18, 1878. p 312. (Traducción propia)

137 Op. cit. Eder. p 145.

138 Draper, Henry. *On Diffraction Spectrum Photography, and the determination of the wave-lengths of the ultraviolet rays*. Nature. Jan 22, 1874. p 224. (Traducción propia)

139 Kirchhoff, Gustav, and Bunsen, Robert. *Chemical Analysis by Observation Spectra*. Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorff) Vol. 110. 1860. pp 161- 189. (Traducción propia)

140 Monckhoven, V. *On a new artificial light suitable for the production of photographic enlargements*. Dec. 14, 1869. Nature, Jan. 6, 1870. pp 271 y ss.

141 Lewis, E. P. *Recent progress in Spectroscopy*. Nature. April, 5, 1917. p 115. (Traducción propia)

142 Gregory, Richard. A. Notas recogidas de la revista del New York Liceum of Natural History, por el autor, y publicadas en Nature, 9 de Octubre de 1890. p 568. (Traducción propia)

143 Ibid. (Phil. Mag., vol. xvii. p. 222, 1840). p 568. (Traducción propia)

144 Op. cit. Eder. p 528. El daguerrotipo sirvió también a estos autores para determinar la luminosidad de las diferentes fuentes de luz disponibles por entonces: luz de calcio, de arco, de gas, etc.

145 Ibid. p 569. (Traducción propia)

146 La sonda "Mars Express" de la ESA, que es lanzada el 2 de junio de 2003, porta una cámara estereoscópica HRSC desarrollada en Alemania, para tomar imágenes en color del planeta Marte en tres dimensiones y con una resolución de unos diez metros (Noticia recogida por Alicia Rivera para "El País", de 2 de junio de 2003, p 29)

147 Wilson, J.A. *The corona*. Nature. Dic 2, 1869. p. 139 (Traducción propia)

148 Rae, Edwin. Nature. Editorial. Dec. 2, 1869. p 146. (Traducción propia)

- 149 *The Indian Total eclipse*. Nature. Editorial. March 24, 1870. p 537.
- 150 Winstanley, D. *The Eclipse Photographs*. Nature. June 29, 1871. p 160. (Traducción propia)
- 151 Ibid. p 172. Se hace mención a unas observaciones hechas con telescopio en 1843, en las que se estudiaron las manchas solares. (Traducción propia)
- 152 Brothers, A. *Notes on Eclipse Photography*. Nature. Aug 24, 1871, pp 328-329 (Traducción propia)
- 153 Op. cit. Eder. p 459.
- 154 Weinberg, Steven. *The Discovery of Subatomic Particles*. Cambridge Univ. Press. 2003. p 62.
- 155 En Diciembre de 1897, apareció un artículo firmado por Thomas Preston, titulado *The Zeeman Effect Photographed*; en el que se afirmaba haber conseguido lo deseado por la editorial de esta revista de fotografiar el espectro modificado por la acción de un campo magnético: "After the usual amount of preliminary difficulties and failures, I have finally succeeded in actually photographing all the appearance described by Prof. Zeeman, and I herewith enclose three small negatives which show the general character of the phenomena, and verify Zeeman's observations". p 17.
- 156 Eddington, F. R. S. *Gravitation and the Principle of Relativity*. Nature. March 14, 1918. p 36. (Traducción propia)
- 157 El propio Einstein agradeció ese mismo año en la revista Times el esfuerzo internacional por vencer las dificultades originadas por la guerra para el envío de las expediciones. Einstein, Albert. *Mi visión del mundo*. Tusquets, 1997. p 142. Mein Weltbild. Verlag AG. Zurich.
- 158 "Through cloud, hopeful". Nature. June 5, 1919. (Traducción propia)
- 159 Crommelin, A. C. D. *Results of the Total Solar Eclipse of May 29 and the Relativity Theory*. Nature. November 13, 1919. p 281.
- 160 Eddington, A. S. *Estrellas y átomos*. Revista de Occidente. Madrid 1928. p 110.
- 161 Planck, M. *Autobiografía científica. Sentidos y límites de la ciencia exacta*. Sinn und Grezen der exakten Wissenschaft. Conferencia impartida en 1941. 6ª edición alemana 1958. Nivola 2000. p 80.

162 Ibid. p 92.

163 Op. cit. Einstein, Albert. *Mi visión del mundo*. p 143.

164 Bohr, Niels. *Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano (1958 - 1962)*. Essays 1958 - 1962 on Atomic Physics and Human Knowledge. Aguilar. 1970. p. 15.

165 Broglie, Louis de. *Por los senderos de la ciencia*. Espasa Calpe. 1963. Edición original: 1960. París. *Por los senderos de la física*. Conferencia, de 25 de febrero de 1955. Sur les sentiers de la Science. Ed: Albin Michel París 1960. p 166.

166 Adams, George. *Micrographia Illustrata, 1747*. Copia del Museo de Ciencias Naturales de Madrid.

167 Seil, Carl and others. *Micro- Photographs in Histology. Normal and pathological*. Nature, Nov 9, 1876. p xiii. (Traducción propia)

168 Cf. Op. cit. *Photography as Scientific Implement*. 1923. Rodman, George H. *Photomicrography*. p 317.

169 Como señala Eder, esta aplicación también sirvió de ayuda en la comercialización de las primeras fotografías pornográficas. Op. cit. Eder. p 389. El voyeurismo suscitado por mirar como a través del ojo de una cerradura que duda cabe que acrecentaría el efecto de lo pornográfico.

170 W.A.D. *Synthetic Biology and the Mechanism of Life*. Nature. May 15, 1913. p 271. (Traducción propia)

171 Barnard, J. E. *Ultramicroscopic vision*. Nature February 25, 1909. p 490. (Traducción propia)

172 Bernard, J. E. *Microscopy with Ultra-violet Light*. Nature. November 18, 1920. p 378. (Traducción propia)

173 Nagaoka, H. *Preliminary Note on the Transmutation of Mercury into Gold*. Nature. July 18, 1925. (Traducción propia)

174 Nicolle, Jacques. *Wilhem Conrad Röntgen y la era de los rayos X*. Cid, 1966. p 58. Traducido de la obra francesa del mismo título. Este relato corresponde al reportaje que hizo el periodista H. J. W. Dam, de la revista McClure Magazine, tras una visita hecha al científico en abril de 1896.

175 Ibid. p 60.

176 Nota de la editorial. Nature, January 16, 1896. p 253. (Traducción propia)

- 177 Op. cit. Nicolle. p 63.
- 178 Röntgen, W. C. *On a new kind of rays*. Nature, January 23, 1896. p 274.
- 179 Ibid. p 276. (Traducción propia)
- 180 S. J. R. *Some effects of the X-rays on the hands*. Nature. October 29, 1896. p 621. (Traducción propia)
- 181 Cf. Tutton, A. E. H. *Great advance in Crystallography*. Nature, July 17, 1913. p 518.
- 182 Tutton, A. E. H. *The Crystal Space-lattice revealed by Röntgen Rays*. Nature, November 14, 1912. p 308. (Traducción propia)
- 183 Op. cit. Tutton. *Great advanced...* p 521. (Traducción propia)
- 184 Cf. Op. cit. Crystal Space... p 309.
- 185 Thomson, J. J. *Some further applications of the method of Positive Rays*. Nature, May 29, 1913. p 334. (Traducción propia)
- 186 Llevó a cabo investigaciones espectroscópicas en 1842, tanto en el infrarrojo como en las radiaciones ultravioletas, consiguiendo fotografiar una serie de rayas oscuras, siguiendo el procedimiento adoptado por Fraunhofer. En 1867 publica el libro *La Lumière*.
- 187 Cf. Op. cit. *Photography as a scientific implement*. *Photographic Processes and Methods*. Sheppard. S. E. p. 125.
- 188 Op. cit. Eder. p 466- 7.
- 189 Cf. Op. cit. Broglie, Louis. *La conquista del mundo atómico*, capítulo incluido en su obra *Por los senderos de la ciencia*. p 225.
- 190 El físico S. P Thompson realizaba en estos mismos días similares experiencias en Londres, exponiendo al sol placas fotográficas junto a una pantalla de aluminio recubierta de sales de uranio. Cuando se disponía a publicar sus resultados, en los que denominaba hiperfosforescencia al efecto producido por las sales de uranio en las placas, fue advertido de que el científico francés H. Becquerel se había adelantado con la publicación de idénticos resultados. (Comptes rendus, 24 de febrero de 1896.) Cf. Reid, Robert. "Marie Curie", Salvat Ed. 1985. Traducido del original en inglés, publicado por Camir Press. p 65.
- También, como señala José. M. Sánchez Ron en su biografía sobre la ilustre científico: Marie Curie y su tiempo. Folio, 2003, p 57, hubo otros científicos que realizaban a un mismo tiempo experiencias similares, estudiando la acción de las radiaciones (rayos X y

catódicos) en determinadas sustancias fosforescentes y en metales, cuyos efectos eran recogidos por placas fotográficas. (Charles Henry y Gustave Le Bon, 1896)

191 Becquerel, Henri. *Sobre las radiaciones emitidas por fosforescencia*. 24/2/1896. *El descubrimiento de la radiactividad*. (Escritos sobre experimentos científicos, desde 1896 a 1905.) Espasa Calpe. Argentina. 1946. pp 63 y 64.

192 Ibid. pp 67 y 68.

193 Ibid. p 127.

194 El Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid cuenta con un ejemplar de estos primeros instrumentos ideados por P. Curie para la medición de la radiactividad. Cf. Op. cit. Sánchez Ron. p 91.

195 Cf. Kuhn, Thomas S. *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE. 1981. *The Structure of Scientific Revolutions*. 1962. University of Chicago Press.

196 Rutherford, Ernest. *Radium and the Electron*. Nature. November 6, 1919. p 229. (Traducción propia)

197 Asimov, Isaac. *Introducción a la Ciencia. I. Ciencias Físicas*. Traducido del original Asimov's New guide to science. Basic books. Orbis 1986. p 297.

198 Aston, F. W. *The Atoms of Matter; their size, number, and construction*. Nature, November 25, 1922. p 705. (Traducción propia)

199 Véanse más detalles sobre el positrón en el capítulo dedicado a los rayos cósmicos.

200 Millikan, Roberto Andrés. *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos*. Espasa Calpe Argentina 1944. University of Chicago Scientific Series. pp275 y ss.

201 Ibid. p 280.

202 Ibid. p 290.

203 Op. cit Andrade. p 124.

204 Cf. Op. cit. Nekes.

205 Ver descripción del aparato en Op. cit. Eder, p 498.

206 Ibid. p 504 y 513 respectivamente.

- 207 Cf. Op. cit. Newhall. p 83 y 84.
- 208 Marey, E. J. A Study in Locomotion. Nature, March 20, 1879. p 465. (Traducción propia)
- 209 Op. cit. Hockney. Comentario de Edvard Munch (1863- 1944). p 285.
- 210 Nature. Nota. April 3, 1879. p 517. (Traducción propia)
- 211 Frizot, Michel. Testimonios recogidos por este historiador de la fotografía, a partir de su visita a los laboratorios de Marey, entre 1882 y 1900. El Paseante. nº 9. Ediciones Siruela. 1988.
- 212 Nature. Notas de corresponsal. May 31. 1888. p 119.
- 213 Consistía en la proyección de diapositivas con destellos provenientes de tubos de vacío. Arheim, Rudolf. *El cine como arte*. Paidós 1996. Film as art. University of California Press 1957. p 124.
- 214 En 1849, Armand. H. L. Fizeau determinó la velocidad de la luz haciendo uso de espejos colocados a gran distancia y de una rueda dentada que era la encargada de dejar pasar la luz; controlando la velocidad de giro de ésta se calculó la velocidad de la luz.
- 215 Op. cit. Newhall. p 85.
- 216 Marey, E. H. J. *The Mechanism of the Flight of Birds*; traducido de un artículo con el mismo título, aparecido en La Nature (December 3, 1887). Nature. February 16, 1888. p 374. (Traducción propia)
- 217 Los experimentos de L. Foucault, un año después de los realizados por Fizeau en 1849, sobre la velocidad de la luz fueron decisivos para poner en práctica esta técnica de los espejos giratorios.
- 218 Boys, C. V. *Drops and Splashes*. Nature, October 29,1908. p 666 y ss.
- 219 Op. cit. *Photography as scientific...* p 267.
- 220 Nichols, Edward. L. *The Application of Photography to the study of the Manometric Flame*. Nature. February 2, 1899. p 320 y ss.
- 221 H. M. Stationery Office. *Technical Report of the Advisory Committe for Aëronautics for the year 1911- 12*. Nature. March 27, 1913. pp 86 y ss.

222 Mallok, A. *Diffusion of Momentum by Air Currents*. Nature. April, 18. 1925. p 567 y ss.

223 Op. cit. Photography as scientific implement. Colective Work. Moss, H. *Application of photography in Physics*. Proc. Phys. Soc., Vol. XXXIII. p 283.

224 La primera cámara de cine ingeniada por Edison fue a partir de una cámara fotográfica Kodak, que este inventor transformó con estos propósitos en 1889. Op. cit. Eder. p 489.

225 Barnow, Erik. *El documental*. Gedisa, 1996. p 11. "Documentary" Oxford University Press, 1974.

226 Op, cit. Arheim, R. p 126.

227 A partir de 1876, Janssen hizo uso de este artilugio tal como se desprende del artículo *Janssen's New Method of Solar Photography*. Nature, Oct, 17, 1878. pp 643 y ss.

228 Cf. Nature. Notas de corresponsal. March, 3, 1898. p 419.

229 Op. cit. Eder. p 523.

230 Cf. Pathé Frères. *Microkinematography*. Nature, December, 14, 1911. pp 213 y ss.

231 Cf. Op. cit. Arheim, Rudolf. p 86.

232 Cf. Op. cit. Gubern, R. p 360.

233 Kracauer, Siegfried. *Teoría del cine. La redención de la realidad física*. Paidós 1996. Theory of film. The Redemption of Physical Reality. Oxford University Press. p 56.

234 Ibid. Cita de Germaine Dulac, recogida de su obra "Le cinéma d'avant-garde", en L'Herbier (comp), *Intelligence du cinématographe*. p 346-7.

235 Op. cit. Eder. p 521.

236 Boys, C. V. *Kinematography and its applications*. Nature. March 19, 1914. p 61.

237 Eames, Charles and Ray. Project pigeon. En la obra recopilatoria: *A Computer perspective*. Harvard University Press. 1990. p 131.

238 Op. cit. Planck, M. *Autobiografía*. p 32.

239 Sería un cuerpo capaz de absorber todas las radiaciones, sean cuales sean sus

frecuencias o colores. Este fenómeno se produciría en el interior de una cavidad totalmente reflectante y donde se ha producido el vacío; al ser calentadas sus paredes y los objetos en su interior, éstos comenzarían a emitir y absorber radiaciones hasta conseguirse un equilibrio. Al llevarse a cabo una medición de esta radiación resultante, que es la que se conoce como radiación negra, se comprueba que la distribución del espectro no concuerda con las teorías clásicas; en vez de ser continua, presenta la denominada catástrofe ultravioleta.

240 de Broglie, Louis. *Materia y luz*. Traducción de Xavier Zubiri. Espasa Calpe 1939. p 28.

241 Bohr, Niels. *Conferencia en memoria de Rutherford*. 1958. Versión de 1961 de la conferencia impartida en la Physical Society de Londres. Op. cit. Nuevos ensayos... p 47.

242 Ibid. p 62.

243 Op. cit. Bohr. Nuevos ensayos... *Física cuántica y filosofía, causalidad y complementariedad*. 1958. p 7.

244 Heisenberg, Werner. *Física atómica y ley causal*. En *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Das Naturbild der heutigen Physik. 1955. Seix Barral, 1957. p 46.

245 Broglie, Louis de. *La crisis del determinismo*. En Op. cit. *Materia y luz*. p 253.

246 Heisenberg, Werner. *El debate entre Platón y Demócrito*. En *Cuestiones cuánticas*. Edición de Ken Wilber. Escritos místicos de los físicos más famosos del mundo. Quantum Questions. Kairós 1987. p 78.

247 Op. cit. Bohr, Niels. *Nuevos ensayos...* p 5.

248 Op. cit. Andrade. p 169.

249 Schrödinger planteó este callejón sin salida con su bien ilustrativa paradoja del gato. En una caja herméticamente cerrada en la que no podemos ver su interior hay encerrado un gato al que apunta un fusil, que, caso de ser disparado, no erraría el tiro. El arma de hecho sólo podría ser disparada por la acción de un fotón que incidiera sobre un mecanismo electrónico que hemos preparado en el interior de la caja. Este montaje experimental quedaría completado por un pequeño orificio por el que hacemos pasar el fotón, y por un espejo semitransparente. Cabría entonces la posibilidad de que el fotón entre en la caja y al llegar al espejo bien sea rebotado, con lo que no pasaría nada, o que siguiera recto y activara el dispositivo haciendo disparar el fusil. Lo lógico sería pensar que una vez enviado el fotón, y sin necesidad de abrir la caja, o de lo que es lo mismo de observar, sabríamos que una de las dos posibilidades habría ocurrido: el gato estaría vivo o muerto. Por el contrario, la otra visión del asunto sería que el fotón ha sido bien potencialmente absorbido o potencialmente

reflejado por el espejo, con lo que el gato estaría a su vez muerto o vivo en potencia, siendo el observador, el que abriendo la caja, sería el responsable de la muerte del pobre animal.

250 Será precisamente esta corriente de pensamiento en torno a la Lógica, desarrollada tanto por matemáticos como por filósofos, la que confluirá a mediados del siglo XX en la construcción de los primeros autómatas lógicos u ordenadores universales. La futura imagen digital nacerá de esta simbiosis entre lógica y electrónica conseguida a partir de las máquinas teóricas ideadas, entre otros, por Alan Turing.

251 Op. cit. Bohr. *Luz y vida*. Nuevas consideraciones. 1962. p 30.

252 La obra *Copenhague*, de Michael Frayn, escrita en 1998 y estrenada recientemente en Madrid, recoge de forma exhaustiva, aunque recreada, el encuentro de estos dos científicos y las posturas éticas que tuvieron que adoptar a raíz de estos acontecimientos. Copenhague. Editado por el Ayuntamiento de Madrid. 2003.

253 Un buen ejemplo de esta tendencia es el libro *Beauty of Another Order, Photography in Science*, de Ann Thomas y otros (Yale University Press. National Gallery Of Canada. 1997), que aun siendo un buen representante de la atención que hoy día está recibiendo lo científico por parte del mundo editorial, su título es bien explícito del enfoque sesgado que recibe la fotografía en la ciencia.

254 Cf. Barthes, Roland. *La cámara lúcida*. Paidós 1990. p 200.

255 Op. cit. Kracauer. p 42.

256 Conan Doyle, A. *El carbunco azul*. En *Las aventuras de Sherlock Holmes*. Gaviota. 1991. p 200.

257 Arthur Conan Doyle responde en Nature del 11 de septiembre de 1926 a algunas cartas aparecidas en esta revista cuestionando su afirmación de que en unas fotografías aparecía un extraño personaje con barba que nadie pudo ver cuando éstas fueron tomadas. p 371.: "That is all a technical question with which I had nothing to do. What was, however, strange and rather amusing was that when the photograph of the peer was finally published he proved to be remarkably like the "ghost", having a very high forehead and some indication of a short tufted beard. Thus the result of Mr. Swinton's labours was to add one more point to the argument for the authenticity of the picture. There is clear evidence that there was no male visitor or servant in the house who wore a beard" (Trad. Propia).

258 Op. cit. Racionero. Leonardo Da Vinci. p 166.

259 Esplá, Luis Francisco. En entrevista con Miguel A. Cuadrado, en El País, del sábado día 7 de junio de 2003.

260 No viene mal recordar aquí *La Gran Imagen* formulada por el taoísmo. “El que ostenta la Gran Imagen puede recorrer el mundo.” En *Tao-te- Ching*, de Lao- Tsé. Ediciones Alba, 1997. p 62.

261 Nature, Editorial. 5 de Diciembre de 1895. p 108.

Fuentes de las ilustraciones

- Fig. 1 y 2. Michel Serres. Ed. Cátedra.
Fig. 3. Enciclopedia Larrouse
Fig. 4. Museo Arqueológico. Olimpia. Grecia.
Fig. 5. British Museum de Londres.
Fig. 6. Santiago Barroso. (Web)
Fig. 7 Del libro "Hsin I Hsiang" de Su Sung. Ed. Pegaso.
Fig. 8 Capilla de la Arena. Padua.
Fig. 9. British Library.
Fig. 10. Biblioteca Nacional de París.
Fig. 11. Biblioteca Nacional de París.
Fig. 12. Iglesia de Santa María Novella. Florencia.
Fig. 13, 14 y 15. Biblioteca Ambrosiana. Milán.
Figs. 16 y 17. Biblioteca del Vaticano, Roma.
Fig. 18. Societé Francaise de photographie. París.
Fig. 19, 20 y 21. Galería Albertina. Viena.
Fig. 22. Museo Boymans- van Beuningen. Rotterdam.
Fig. 23. Biblioteca Nacional Central de Roma.
Fig. 24. British Library.
Fig. 25. Mumford. Ed. Altaya.
Fig. 26. Biblioteca Nacional de Madrid.
Fig. 27. Biblioteca Nacional de Madrid
Fig. 28. Biblioteca Nacional de Madrid
Fig. 29. Colección Gersheim. Harry Ramson Humanities Center, University of Texas, Austin.
Fig. 30. Nature.
Fig. 31. Bodleian Library.
Fig. 32. Museo del Prado.
Fig. 33. Biblioteca Nacional de París, Gabinete de estampas.
Fig. 34. Bridgeman.
Fig. 35. Biblioteca Nacional de Madrid
Fig. 36. Science Museum. Londres.
Fig. 37. Sotheby's publications, 1987.
Fig. 38. Metropolitan Museum of Art.
Fig. 39. Colección Gersheim. Harry Ramson Humanities Center, University of Texas, Austin.
Fig. 40. Ed: Zeiss- Ikon.
Fig. 41. Ed: Zeiss- Ikon.
Fig. 42. Colección Gersheim. Harry Ramson Humanities Center, University of Texas, Austin.
Fig. 43. Ed: Zeiss- Ikon.
Fig. 44. Metropolitan Museum of Art. New York..
Fig. 45. National Museum of Photography, Film and Television. Londres.

Fig. 46. MIT.

Figs. 47-52. The Journal of Photographic Science.

Fig. 53. Nature.

Fig. 54. Ronan Picture Library.

Fig. 55- 60. Nature.

Fig. 61. Adam Hilger Ltd.

Fig. 62. Adam Hilger Ltd.

Fig. 63 y 64. Nature.

Fig. 65 AIP Emilio Segré Visual Archives.

Fig. 66. Colección Gersheim. Harry Ramson Humanities Center, University of Texas, Austin.

Fig. 67. Musees des Techniques. CNMA. París.

Fig. 68. Jane and Michael Wilson Collection.

Fig. 69- 71. Nature.

Fig. 72. Nature.

Fig. 73- 74. Nature.

Fig. 75. Observatorio de París.

Fig. 76- 78. Nature.

Fig. 79. Adam Hilger Ltd.

Fig. 80. Cambridge Univ.

Fig. 81. Nature.

Fig. 82. Colección Gersheim. Harry Ramson Humanities Center, University of Texas, Austin.

Fig. 83. Nature.

Figs. 84- 86. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.

Fig. 87. J. Paul Getti Museum. Malibú.

Fig. 88. The National Museum of Photography, Film and Television. Londres

Fig. 89. M. Dimange. La fotografía aplicada a los estudios de anatomía microscópica. 1886. Real Academia de las Ciencias, Madrid.

Fig. 90. R. Koehler. Applications de la Photographie aux sciences naturelles. 1892. Gauthier Villars et fils. G. Masson, 1892.

Fig. 91. Carl Zeiss. Applications de la Photographie aux sciences naturelles. 1892.

Fig. 92. Carl Zeiss. G. Gili. 1927.

Fig. 93. Col. Societé Francaise de photographie. París.

Fig. 94. George Eastman House, Rochester, NY. (Izq.) Societé francaise de photographie. París. (Dcha.).

Fig. 95. Col. Biblioteca Nacional. París.

Fig. 96. Blackie and Son Limited. London.

Fig. 97. Carl Zeiss. G. Gili. 1927.

Figs. 98 y 99. Nature.

Figs. 100 y 101. Nature.

Fig. 102 y 103. E-N Santini, 1896. Ch. Mendel, París.

Fig. 104. Deutsches Röntgen Museum.

Fig. 105. Nature.

Fig. 106. National Museum of Photography, Film and Television. Bradford, England.
Fig. 107. Deutsches Röntgen Museum.
Fig. 108 y 109. Erich Marx. 1913. Handbuch der Radiologie.
Fig. 110. Nature.
Fig. 111. Nature.
Fig. 112. W. H y W. L. Bragg.
Fig. 113. King's College. Cambridge. England.
Fig. 114. Nature.
Fig. 115. C. E. K. Mees. 1920. Blackie and Son Limited.
Fig. 116. Paula and Robert Herschkowitz Collection.
Fig. 117. Jessie Wilson. CWP.
Fig. 118. Cavendish Laboratory.
Fig. 119. Cambridge Scientific Instruments Co., Ltd. Archives. Univ. of Cambridge Library.
Fig. 120. Proceedings of the Royal Society. Blackie and Son Limited.
Fig. 121. M. A. Worthington. Blackie and Son Limited.
Fig. 122. Norman Bridge Laboratory.
Fig. 123, 124 y 125. Cambridge University Archives.
Fig. 126. Kelly Field, San Antonio, Texas. Carnegie Institute.
Fig. 127, 128 y 129. Norman Bridge Laboratory.
Fig. 130. British Museum.
Fig. 131. Biblioteca Nacional de Madrid.
Fig. 132, 133, 134 y 135. Crary Jonathan. Techniques of observer.
Fig. 136. Ilustración Española.
Fig. 137. Atlantic Monthly Magazine. 1863.
Fig. 138. Nature.
Fig. 139. G. Masson. París.
Fig. 140. Dover Publications, 1957.
Fig. 141, 142. Nature.
Fig. 143. Museum Ludwig, Colonia.
Figs. 144, 145 y 146. Nature.
Figs. 147, 148 y 149. Nature.
Fig. 150. La Natura, 1890.
Fig. 151. Nature.
Fig. 152. Royal College of Science. England.
Fig. 153. Nature.
Fig. 154. Blackie and Son Limited.
Fig. 155. Nature.
Fig. 156. Cambridge Scientific Instruments.
Fig. 157. Blackie and Son Limited.
Fig. 158. Blackie and Son Limited.
Fig. 159. Société Française de Photographie. París.
Fig. 160 y 161. Nature.
Fig. 162. B. F. Skinner. Cambridge Mass.

