

Cabra está en marcha desde nuestra gran epopeya revolucionaria de 1792 (esto lo escribíamos en 1862; hoy deberíamos decir desde los primeros años del siglo XIX), y así hasta lo infinito. ¡Espectáculo extraño, que abisma el pensamiento en la rareza de un hecho en el cual se confunden á la vez, sin contradicción para la razón, los tiempos y las distancias!»

Es tal la importancia filosófica de un caso que parece tan nuevo cuando se piensa en él por vez primera, que para terminar este artículo, citaremos las discretas líneas que Humboldt ha dedicado en su *Cosmos* á la misma idea.

Al hablar de los fenómenos de las estrellas efímeras, dicho autor añade:

«Todos estos hechos corresponden en realidad á épocas anteriores á aquellas en que los fenómenos de la luz los anunciaron á los habitantes de la Tierra; son como voces de lo pasado que llegan hasta nosotros. Háse dicho con verdad que, gracias á nuestros poderosos telescopios, podemos penetrar á la vez en el tiempo y en el espacio. Y en efecto, medimos el uno por el otro: una hora de camino equivale para la luz á un trayecto de 110 millones de miriámetros. Al paso que Hesiodo se valía en su *Teogonía*

de la caída de los cuerpos para representar las dimensiones del universo («nueve días y nueve noches tardó en caer el yunque de bronce desde el cielo á la tierra»), Herschel estimaba que la luz emitida por las últimas nebulosas visibles todavía en su telescopio de 40 piés debia invertir cerca de dos millones de años en llegar hasta nosotros. Así es que muchos fenómenos deben haber desaparecido largo tiempo ántes de que hayamos podido percibirlos; y há ya mucho tiempo que habrán ocurrido cambios que no vemos todavía. Los fenómenos celestes no son simultáneos sino en apariencia, y áun cuando se quisiera colocar más cerca de nosotros las tenues manchas de nebulosas ó los cúmulos de estrellas, áun cuando se redujera á menor número el número de años que miden y marcan sus distancias, no por eso dejaría de ser la luz que han emitido y que llega hoy á nuestra vista, en virtud de las leyes de propagación, el testimonio más antiguo de la existencia de la materia. Así es como la ciencia conduce al espíritu desde las más sencillas premisas á las ideas más elevadas, abriéndole esos campos surcados por la luz en «que germinan millones de mundos como la yerba de la noche.»

CAPÍTULO IV

REFLEXION DE LA LUZ

I

CONDICIONES DE VISIBILIDAD DE LOS CUERPOS—FOCOS LUMINOSOS DIRECTOS

¿Cuáles son las condiciones exteriores de visibilidad de los cuerpos?

Consideremos ante todo un foco luminoso propiamente dicho. Si el medio interpuesto entre este foco y la vista es trasparente y además homogéneo, puede decirse que la visibilidad es directa; y en efecto, el haz luminoso emanado de cada punto del foco sigue en este caso una línea recta. Esto resulta de la propagación rectilínea de la luz, en la hipótesis de

que el medio atravesado por ella sea homogéneo. Reconstruyendo geoméricamente las líneas rectas divergentes que constituyen los varios haces, se volvería á encontrar en su punto de convergencia el punto luminoso mismo.

Pero en breve veremos que no sucede lo propio cuando el espacio comprendido entre el ojo y el foco de luz está ocupado por uno ó muchos medios diferentes, aunque separadamente homogéneos. El camino seguido por cada haz es siempre rectilíneo en cada medio, mas por lo general sufre cierta desviación al pasar de uno á otro: el curso total, compuesto de una serie de líneas rectas, es entonces una línea mixta, cuyo

último elemento marcará la dirección en que el ojo verá el punto luminoso. La imagen del foco resulta pues situada de distinto modo que cuando sólo hay un medio trasparente; habrá sufrido una desviación, y á este fenómeno es al que se da el nombre de *refracción de la luz*.

Aquí suponemos que los medios atravesados por la luz están dotados de transparencia absoluta, en cuya hipótesis únicamente es visible el foco, pues el ojo no percibe la materia ó sustancia de que se compone el medio, y ni esta es siquiera visible.

Mas en realidad, y según dejamos dicho, la transparencia absoluta no existe en la naturaleza, ó á lo sumo se la puede suponer en los espacios interplanetarios que no son inmediatamente accesibles á la observación. Los medios que conocemos, sólidos, líquidos y gaseosos, como el cristal, el agua y el aire, tienen tan sólo una transparencia relativa: absorben en parte la luz que los atraviesa, de lo cual resulta para ellos una iluminación más ó menos intensa, que crece con su espesor, y á menudo también cierto tono ó coloración, que siendo perceptible para nuestra vista, nos los hace visibles. La luz recibida de esta suerte, y que debemos distinguir de la que hace visible al foco, se llama luz transmitida. El medio percibido es visible por transparencia: de los que se hallan dotados de esta condición en mayor grado se pasa á los traslúcidos y luego á los cuerpos ó medios opacos, por grados insensibles, por decirlo así. La luz de un foco se difunde así cada vez más por el interior del medio, de suerte que aquel acaba por no ser ya visible, al paso que los diferentes puntos del medio penetrados por su luz son, por el contrario, los únicos que la vista percibe. Por tal manera se llega á la opacidad tan luego como la absorción es completa, ó por lo menos desde que la intensidad de la luz transmitida es bastante débil para no causar impresión apreciable en el ojo.

Tales son las condiciones de visibilidad de un foco luminoso, es decir, de un cuerpo que es luminoso por sí mismo, ó bien por incandescencia ó de otro modo cualquiera. Veamos ahora lo que son respecto de los cuerpos que no son focos propiamente dichos.

En este caso, los cuerpos no son visibles sino cuando están iluminados, es decir, cuando su

superficie recibe cierta cantidad de luz de cualquier foco. La observación demuestra entonces que según la naturaleza del cuerpo y el estado de su superficie, una parte mayor ó menor de la luz recibida vuelve al medio del que emana, después de sufrir cierta desviación en su dirección primitiva. Esta variación de curso, este retroceso de los rayos luminosos sobre sí mismos ó siguiendo direcciones inmediatas, pero en el mismo medio del que habían partido, es lo que constituye el fenómeno de la *reflexión de la luz*.

Presentemos un ejemplo familiar. Pongamos una hoja de papel blanco y mate á la luz del día, ó á la de una lámpara ó una bujía, y veremos desde luego todos los puntos de la superficie del papel, cada uno de los cuales resultará iluminado, ó en otros términos, hará para nuestra vista las veces de un foco luminoso; si la masa de aire ó el medio diáfano que separa el papel del ojo es homogéneo, la marcha de los rayos luminosos que emanan del punto será rectilínea, lo propio que la seguida por el haz que, desde el foco, ha venido á dar en dicho punto. Apartando un poco la vista, se sigue viendo el punto de la misma manera; luego irradia en todos sentidos, y la única diferencia que se advierte es un cambio de intensidad que depende de la inclinación de la superficie con respecto á la línea recta que sigue la luz enviada al ojo.

Sustituyamos ahora la hoja de papel por cualquier otro objeto, pero de superficie mate también, es decir, que no sea brillante ni tersa. Este objeto será visible del propio modo. El color, la intensidad de la luz podrán variar considerablemente, pero con la circunstancia característica de que la luz estará siempre reflejada por cada punto en el medio diáfano circundante, y esto en todas las direcciones posibles. El ojo, situado en cualquier posición, seguirá viendo cada punto de la superficie del cuerpo, con tal de que no se interponga ningún obstáculo opaco en el trayecto rectilíneo de los rayos reflejados.

La luz reflejada de esta suerte por los cuerpos mates, rugosos, de superficie irregular, adquiere más particularmente el nombre de *luz difusa*.

Pero las cosas sucederán de distinto modo si ponemos delante del foco de luz, no ya una superficie mate, sino otra bruñida, una placa metálica, ó si se quiere la superficie de

un baño de azogue bien purificado. Nadie ignora que si se quiere hacer llegar á la vista la luz reflejada por uno de los puntos de la superficie bruñida, se le debe colocar en una posicion particular, que varía con la del punto. La reflexion no resulta ya en todas direcciones alrededor de este punto, como sucede con la hoja de papel. Hay además otra diferencia esencial, consecuencia de la primera, y es que no toda la superficie del baño de azogue aparece iluminada á la vista, aunque esta no varíe de posicion; sólo lo está una porcion limitada de ella, y cuya forma aparente es tal, que reproduce idénticamente, por decirlo así, la imagen del foco, la llama de la bujía ó de la lámpara. La porcion de la superficie que rodea esta imagen es comparativamente oscura, ó por lo ménos no hace más que reflejar del mismo modo la imagen de los objetos más ó ménos alumbrados que se hallan opuestos al baño de mercurio.

Así pues, hablando con propiedad, no es la superficie de los cuerpos bruñidos la que aparece visible cuando estos reciben la luz emanada de cualquier foco, sino más bien el foco mismo y los objetos iluminados por él. Esta superficie recibe entónces el nombre de espejo (1).

Por esta razon es preciso distinguir de la reflexion irregular ó difusa la reflexion especial de los cuerpos cuya superficie es más ó ménos tersa; esta se llama *reflexion especular* (del latin *speculum*, espejo); la primera toma el nombre particular de *difusion*. Vamos á estudiar primeramente los fenómenos de reflexion especular, por ser la ley que los rige muy sencilla y susceptible de una definicion rigurosamente geométrica.

II

LEYES DE LA REFLEXION ESPECULAR.—IGUALDAD DE LOS ÁNGULOS DE INCIDENCIA Y REFLEXION DE LOS RAYOS LUMINOSOS

Mucho ántes de que la industria humana, excitada por las necesidades de la higiene, del

(1) Si se hacen en el interior de una habitacion oscura los dos experimentos que acabamos de describir, hé aquí lo que se observará. La hoja de papel ó el objeto mate de superficie rugosa que se coloque en el trayecto del haz luminoso solar, dará una imagen del sol que será visible desde todos los puntos de la estancia. Por el contrario, el espejo, la placa bruñida ó la superficie de azogue quedará comparativamente oscura ó invisible, y para ver la imagen del Sol, el observador deberá situarse en una direccion especial, en cuyo caso dicha imagen aparecerá proyectada ó reflejada en esta misma direccion, en una pared opuesta de la cámara oscura.

lujo y de la coquetería, hubiera pensado en bruñir los metales y el cristal, y en convertir sus superficies brillantes en otros tantos espejos y lunas, la naturaleza nos presentaba ya ejemplos del fenómeno al que han dado los físicos el nombre de *reflexion especular de la luz*. La superficie de un agua tranquila y límpida, de un estanque ó de un lago, reproduce la imagen fiel del paisaje que la rodea, la bóveda azul del firmamento, las nubes, el sol ó las estrellas, los árboles, las rocas, los seres animados que se pasean por sus orillas ó navegan por la superficie de la sábana líquida, ¿y acaso no es este el modelo en grande escala que las artes industriales no han hecho más que copiar, y que hubiera bastado para estudiar, no diré cómoda, pero sí fielmente, la marcha que sigue la luz, cuando, partiendo de los focos luminosos ó de los objetos alumbrados, viene á rebotar en la superficie de los cuerpos? Pero como no sentimos la necesidad de estudiar sino despues de la de admirar ó disfrutar, el descubrimiento de las leyes de la reflexion de la luz ha debido ser muy posterior á la imitacion de los fenómenos que acabamos de describir.

Veamos pues qué leyes son estas, y ocupémonos ante todo de la marcha seguida por un rayo luminoso que se refleja en un punto de una superficie plana y tersa. Suponiendo como siempre homogéneo el medio á donde va á parar el rayo, compréndese que despues de su reflexion se propagará en línea recta como ántes. Trátase pues de determinar la direccion precisa del rayo reflejado.

La primera determinacion podria obtenerse por medio de la cámara oscura, áun cuando á decir verdad su precision no sería mucha.

Y en efecto, hemos visto que un rayo de luz solar que penetra por el agujero de un postigo marca su direccion en el aire de la habitacion iluminando los corpúsculos que siempre hay en suspension en él. Supongamos que se coloca entónces un plano de metal bruñido ó un pedazo de cristal en el trayecto del haz incidentes. Será fácil medir el ángulo que forma este haz con el plano del espejo; y como al reflejarse la luz marcará en el aire y del propio modo que el haz incidente, su paso y su direccion, se medirá también el ángulo de inclinacion que forman los rayos reflejados con el espejo.

De este modo se obtendrán fácil, pero sólo aproximadamente las dos leyes de la reflexion especular que vamos á enunciar describiendo un medio más preciso de comprobacion práctica.

Tomemos como superficie reflectora un baño de azogue y por objeto luminoso una estrella cuyos rayos pueden considerarse como rigurosamente paralelos en atencion á la inmensa distancia que los separa de la superficie de la Tierra.

Examinemos uno de estos rayos SI (fig. 26), que toca en el punto I de la superficie del baño de azogue. IN es la vertical del mismo punto ó la normal á la superficie reflectora, y el ángulo SIN se llama *ángulo de incidencia*. El rayo SI se refleja siguiendo la direccion IR, de modo que colocando el ojo en esta direccion, se verá la imagen de la estrella en el baño de azogue. El ángulo que forma el rayo reflejado con la vertical IN es lo que se llama *ángulo de reflexion*, en vista de lo cual es ya fácil comprobar las dos leyes siguientes:

1.º *El rayo incidente, el reflejado y la vertical al punto de incidencia están en un mismo plano; luego este plano es siempre perpendicular á la superficie reflectora;*

2.º *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia.*

Se puede hacer la comprobacion de ambas leyes con el instrumento que indica la fig. 26; el cual se compone de un círculo metálico dividido y puesto sobre un pié y de dos anteojos fijos en el centro del limbo, los cuales pueden girar en su plano; este círculo está colocado en una posicion tal, que el limbo sea perfectamente vertical. Con uno de los anteojos, y haciendo girar de modo oportuno el limbo sobre su eje vertical, se enfila el baño de azogue de modo que se vea la imagen reflejada de la estrella; en este momento coincide el rayo reflejado con el eje del anteojo y el ángulo N' I' R' es igual al ángulo N I R, es decir, al ángulo de reflexion. Si utilizando ahora el otro anteojo lo aparamos directamente á la estrella, se demuestra que no hay que variar de posicion el instrumento, ó hablando con más exactitud, que el plano del limbo, en su posicion actual, contiene el rayo visual emanado de la estrella. En otros términos, el rayo incidente S' I' se halla en el mismo

plano vertical que el reflejado, lo que prueba la primera ley, puesto que S I es paralela á S' I'. Además, el ángulo S' I' N' es rigurosamente igual al de incidencia, todá vez que los lados de estos ángulos son paralelos, y como al contar en el limbo en grados, minutos y segundos la posicion de ambos anteojos se observa que los arcos comprendidos entre la vertical I' N' y sus direcciones son iguales entre sí, resulta que hay igualdad entre los ángulos de reflexion y de incidencia, con lo cual queda demostrada la segunda ley.

Sea cualquiera la posicion de la estrella enfilada ó su altura sobre el horizonte, los resultados de la observacion serán los mismos, y el fenómeno de reflexion obedecerá á las mismas leyes. Así pues, si el ángulo de incidencia es nulo, ó en otros términos, si el rayo luminoso toca perpendicularmente la superficie reflectora, el de reflexion será nulo también, pues la marcha seguida á su regreso por el rayo coincide con la del rayo incidente. La luz retrocede sobre sus propios pasos en la direccion misma en que se habia propagado primeramente.

III

IMÁGENES PRODUCIDAS POR LA REFLEXION DE LA LUZ EN LOS ESPEJOS PLANOS.

La reflexion de la luz en la superficie de los espejos da origen á la formacion de imágenes, es decir, á la reproduccion, con respecto á los ojos, de apariencias semejantes á los objetos, ya luminosos por sí mismos ó ya simplemente alumbrados, que están situados de modo que irradian en dicha superficie. Es un caso práctico; pero también una sencilla consecuencia de las leyes de la reflexion especular.

Al decir que las imágenes son semejantes á los objetos, suponemos que la superficie reflectora sea perfectamente plana; porque los espejos cuya superficie tiene una curvatura esférica, cilíndrica, cónica ó parabólica, alteran por lo comun, ya en su forma, ó ya en sus dimensiones, los objetos que se reflejan en ellos; y si la curvatura es irregular, es posible que la imagen y el objeto no tengan ya semejanza alguna. Con todo, la ley de la formacion de esas imágenes es siempre consecuencia directa de las leyes de reflexion especular, y puede deducirse geo-