

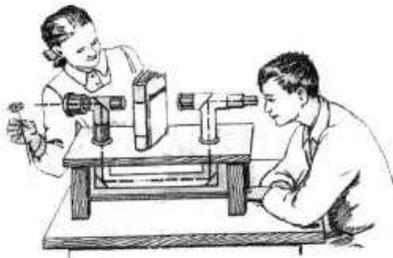
## Capítulo Octavo

### *Reflexión Y Refracción de la Luz*

#### ¿COMO VER A TRAVES DE LAS PAREDES?

Allá por los años noventa del siglo pasado, se vendía un juguete muy interesante, al que se daba la pomposa denominación de “aparato de Roentgen”. Recuerdo mi preocupación cuando, siendo todavía escolar, cogí por primera vez esta ingeniosa invención. Su tubo permitía ver todo a través de cuerpos totalmente opacos. Yo distinguía todo cuanto nos rodeaba, no sólo a través de un papel grueso, sino también a través de la hoja de un cuchillo, que es impenetrable hasta para los verdaderos rayos X. El secreto de este sencillo juguete queda completamente claro si nos fijamos en la fig. 95, que representa el prototipo del tubo a que nos referimos. Cuatro espejes inclinados bajo ángulos de  $45^\circ$ , reflejan los rayos de luz varias veces, haciéndoles dar un rodeo, por decirlo así, en torno del objeto opaco.

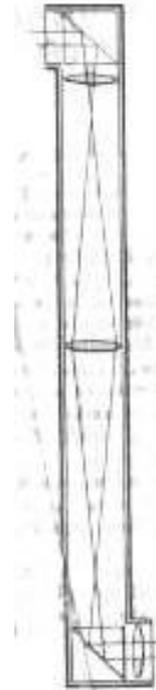
Un aparato semejante se emplea mucho con fines militares. Con él se puede vigilar al enemigo sin necesidad de sacar la cabeza de la trinchera ni de exponerse a su fuego. Este aparato se llama “periscopio” (fig. 96).



*Fig. 95. El “aparato de Roentgen” de juguete*



*Fig. 96. Periscopio.*



*Fig. 97. Esquema del periscopio de los submarinos*

Cuanto más largo es el camino a seguir por los rayos de luz, desde que entran en el periscopio hasta que llegan al ojo del observador, tanto menor es el campo visual del aparato. Para aumentar este campo se emplean cristales ópticos (lentes). Pero estos cristales absorben parte de la luz que entra en el periscopio, con lo cual la nitidez de los objetos

que se ven empeora. Lo antedicho establece unos límites determinados a la altura del periscopio. Una altura de dos decenas de metros puede considerarse ya como próxima al límite. Los periscopios más altos tienen un campo visual extraordinariamente pequeño y proporcionan imágenes borrosas, sobre todo cuando el tiempo está nublado.

Los capitanes de los submarinos también observan los buques que van a atacar a través de un periscopio, es decir, de un tubo largo, cuyo extremo sobresale del agua. Estos periscopios son mucho más complicados que los de infantería o artillería, pero su fundamento es el mismo, y se reduce, a que los rayos de luz se reflejan en un espejo (o prisma), que hay sujeto en la parte saliente del periscopio, y siguiendo a lo largo del tubo, vuelven a reflejarse otra vez en la parte inferior del mismo, después de lo cual llegan al ojo del observador (fig. 97).

### La Cabeza Parlante

Esta “maravilla” se mostraba hace aún no muchos años en los “museos” y “panópticos” ambulantes de las ferias provinciales. Era algo que llamaba verdaderamente la atención del profano. Este veía ante sí una mesita, en la que, sobre un plato, se encontraba... ¡una cabeza humana viva, que movía los ojos, hablaba y comía!



Fig. 98. El secreto de la “cabeza parlante”.

Debajo de la mesa no parecía haber sitio para ocultar el cuerpo. Aunque no era posible acercarse a ella, porque lo impedía una barrera, se veía perfectamente que debajo de la mesa no había nada. Si tenéis ocasión de presenciar alguna “maravilla” de éstas, tirad una bolita de papel debajo de la mesa. El secreto se descubrirá en el acto. La bolita de papel rebotará en... ¡un espejo! Incluso si no llega a la mesa, la pelotita descubrirá la existencia del espejo, puesto que se reflejará en él su imagen (fig. 98).

Para que el espacio que hay debajo de una mesa parezca de lejos vacío, basta poner un espejo entre las patas, por cada lado. Claro que, para que la ilusión sea perfecta, en estos espejos no deberá reflejarse ni el mobiliario de la habitación ni el público. Es decir, la habitación deberá estar vacía, sus paredes deberán ser exactamente iguales, el suelo deberá estar pintado de un color uniforme y sin dibujos y el público situarse a bastante distancia de los espejos.

El secreto es ridículamente sencillo, pero mientras no se conoce en que consiste, se rompe uno la cabeza en adivinanzas.

Este truco se presenta con frecuencia de una forma más espectacular. El prestidigitador enseña primeramente al público una mesa vacía. Tanto debajo, como sobre ella, no hay nada. Acto seguido, traen de dentro de la escena una caja cerrada, en la cual se asegura que está la “cabeza

viva, sin cuerpo”. En realidad, esta caja está vacía. El prestidigitador coloca la caja sobre la mesa, abre su pared delantera y, ante el público asombrado, aparece la “cabeza parlante”. El lector se habrá figurado ya, seguramente, que el tablero de la mesa tiene una parte de quita y pon, que cierra un agujero, por el cual, en cuanto ponen sobre él la caja vacía y sin fondo, saca la cabeza la persona que está sentada debajo de la mesa, oculta detrás de los espejos. Este truco tiene otras muchas variantes, pero no vamos a entretenernos en enumerarlas, puesto que el mismo lector, cuando las vea, podrá explicárselas.

### **¿Delante o Detrás?**

Hay no pocos objetos domésticos que generalmente se utilizan mal. Ya hemos hablado anteriormente de cómo algunos no saben emplear el hielo para enfriar las bebidas, y ponen éstas sobre el hielo, en lugar de colocarlas debajo de él. Pero suele ocurrir también, que no todos saben utilizar un simple espejo. Hay muchas personas que para verse mejor en el espejo, colocan una lámpara a su espalda, con objeto de que “alumbre su reflejo”, en lugar de alumbrarse a sí mismas. Estamos seguros de que nuestros lectores no incurren en este error.

### **¿Se Puede Ver un Espejo?**

He aquí otra demostración de lo poco que conocemos a nuestro vulgar espejo. La mayoría de la gente da una respuesta errónea a la pregunta que encabeza este párrafo, a pesar de que cada día se mira al espejo.

Los que crean que se puede ver un espejo, están equivocados. Un espejo que sea bueno y limpio es invisible. Se puede ver su marco, sus bordes, los objetos que se reflejan en él, pero el propio espejo, si no está sucio, no se ve. Toda superficie reflectora, a diferencia de las que dispersan la luz, es de por sí invisible. (De ordinario, las superficies reflectoras son pulimentadas y las que dispersan la luz son mate.)

Todos los trucos y artificios engañosos basados en el empleo de espejos, como por ejemplo, el de la cabeza que acabamos de describir, parten precisamente de esta particularidad de los espejos, de que siendo invisibles de por sí, son visibles las imágenes de los objetos que en ellos se reflejan.

### **¿A Quien Vemos Cuando Nos Miramos al Espejo?**

“Indudablemente, nos vemos a nosotros mismos - responden muchos -, la imagen que vemos en el espejo es una fidelísima copia nuestra, idéntica a nosotros en todos los detalles”.

No obstante, ¿quiere usted convencerse de este parecido? Pues, si tiene usted un lunar en la mejilla derecha, su gemelo del espejo no lo tendrá en dicha mejilla, mientras que en su mejilla izquierda tendrá una manchita que usted no tiene. Si usted se peina hacia la derecha, su gemelo se peinará hacia la izquierda. Si tiene usted la ceja derecha más alta y poblada que la izquierda, él, al contrario, tendrá esta ceja más baja y despoblada que la izquierda. Si usted lleva el reloj en la mano izquierda y el librito de notas en el bolsillo derecho de la chaqueta, su gemelo del espejo tendrá la costumbre de llevar el reloj en la mano derecha y el librito de notas en el bolsillo izquierdo de la chaqueta. Y fíjese usted en la esfera de su reloj. Nunca tuvo usted uno semejante. La disposición de las cifras en este reloj es muy extraña; por ejemplo, la cifra ocho está representada de una forma que nadie la escribe, IIX, y está situada en lugar de la cifra doce; después de las seis, van las cinco, etc.; además, las manecillas del reloj de su gemelo se mueven en dirección contraria a lo normal.

Finalmente, su gemelo del espejo tiene un defecto físico, que creemos que usted no tiene; nos referimos a que es zurdo. Escribe, cose, come, etc., con la mano izquierda, y si quiere usted estrechar su mano, le tenderá la izquierda.



*Fig. 99. Un reloj como éste es el que tiene su gemelo del espejo.*

Por otra parte es difícil esclarecer si este gemelo sabe leer y escribir. Si sabe, lo hace de una forma muy particular. Es muy posible que usted no pueda leer ni un solo renglón del libro que él tiene en la mano, o una sola palabra de los garabatos que él escribe con su mano izquierda.

¡Así es el que pretende ser una exacta copia suya! Y usted quiere juzgar por él su propio aspecto. Pero dejando las bromas a un lado, si usted cree que cuando se mira al espejo se ve a sí mismo, se equivoca. La cara, el cuerpo y el vestido de la mayoría de las personas, no son simétricos (a pesar de que generalmente no nos damos cuenta de ello). El lado derecho no es completamente igual al izquierdo. En el espejo, todas las peculiaridades de la mitad derecha, pasan a la izquierda, y al contrario, de tal forma, que la figura que aparece ante nosotros produce con frecuencia una impresión totalmente diferente a la nuestra.

### **El Dibujo Delante Del Espejo**

La falta de identidad entre la imagen que refleja el espejo y el original, se pone aún más de manifiesto en el experimento siguiente:

Pongamos verticalmente, sobre la mesa que tenemos delante, un espejo, tomemos un papel e intentemos dibujar en él cualquier figura geométrica, por ejemplo, un rectángulo con sus diagonales. Pero no mirando directamente a la mano que dibuja, sino a los movimientos que hace su imagen reflejada en el espejo.

Nos convenceremos de cómo, esto que parece tan sencillo, es algo casi imposible de realizar. Durante muchos años, nuestras impresiones visuales y nuestro sentido de los movimientos han llegado a una determinada coordinación. El espejo infringe esta relación, al invertir ante nuestros ojos el movimiento de la mano. Nuestras antiguas costumbres se rebelarán contra cada uno de estos movimientos. Cuando queremos trazar una línea hacia la derecha, la mano tira hacia la izquierda, etc.

Todavía nos encontraremos con mayores rarezas, si en lugar de hacer un simple dibujo intentamos pintar figuras más complejas o escribir algo mirando los renglones que se ven en el espejo. Resultará una confusión francamente cómica.



Fig. 100. Dibujando delante de un espejo.

Las impresiones que quedan en el papel secante, también son simétrico-invertidas, como las del espejo. Si nos fijamos en ellas e intentamos leerlas, no entenderemos ni una palabra, aunque la letra sea clara. Las letras tienen una inclinación anormal hacia la izquierda, y, sobre todo, los trazos se suceden de una manera, a la cual no estamos acostumbrados. Pero si colocamos junto al papel secante un espejo, de manera que forme con aquél un ángulo recto, veremos en él todas las letras escritas tal como estamos acostumbrados a verlas. Ocurre esto, porque el espejo nos da un reflejo simétrico de aquello que de por sí ya es una impresión simétrica de un escrito usual.

#### UNA PRECIPITACION ECONOMICA

Sabemos que en todo medio homogéneo la luz se propaga en línea recta, es decir, por el camino más corto. Pero la luz elige el camino más corto incluso cuando no va directamente de un punto a otro, sino que antes de llegar al segundo tiene que reflejarse en un espejo.

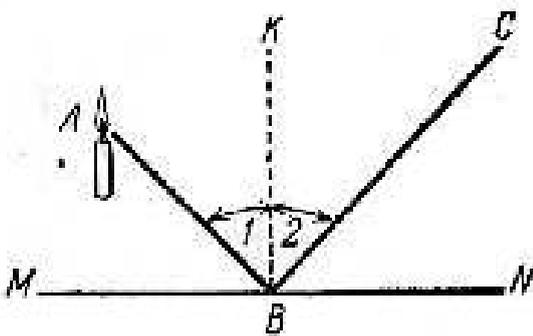


Fig. 101. El ángulo de reflexión 2, es igual al ángulo de incidencia 1

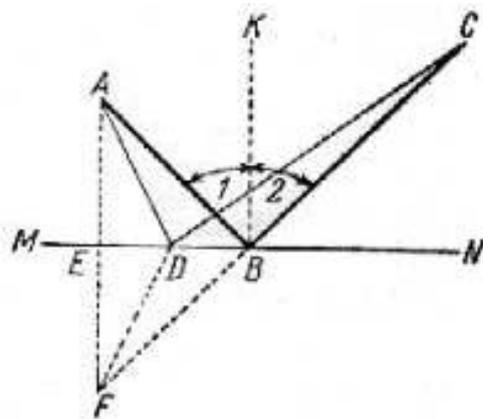


Fig. 102. La luz, al reflejarse, sigue el camino más corto.

Sigamos atentamente este camino. Supongamos que el punto A de la fig. 101 es un foco de luz; la línea MN, un espejo, y la ABC, el camino que recorre un rayo de luz desde el foco A hasta el ojo C. La recta KB es perpendicular a la MN.

Según las leyes de la óptica, el ángulo de reflexión 2 es igual al ángulo de incidencia 1. Sabiendo esto, es fácil demostrar, que de todos los caminos posibles de A a C, que pasan por el espejo MN, el ABC es el más corto. Para ello, comparemos el camino del rayo ABC con otro cualquiera, por ejemplo, con el ADC (fig. 102). Bajemos una perpendicular AE desde el punto A a la recta MN, y prolonguémoslo hasta su intersección con la continuación del rayo BC, en el punto F. Unamos también los puntos F y D. Nos convenceremos, en primer lugar, de que los triángulos ABE y EBF son iguales. Son rectángulos y tienen común el cateto EB; además, los ángulos EFB y EAB son iguales entre sí, por serlo sus correspondientes 1 y 2. Por consiguiente,  $AE = EF$ . De aquí se desprende que los triángulos rectángulos AED y EDF son iguales por tener los dos catetos iguales y, por consiguiente, AD es igual a DF.

En vista de esto, podemos sustituir el camino ABC por su igual CBF (ya que  $AB = FB$ ) y el camino ADC por el CDF. Pero si comparamos entre sí las líneas CBF y CDF, veremos que la línea recta CBF es más corta que la quebrada CDF. De donde se deduce, que el camino ABC es más corto que el ADC, como queríamos demostrar.

Donde quiera que se encuentre el punto D, el camino ABC será siempre más corto que el ADC, mientras el ángulo de reflexión sea igual al ángulo de incidencia. Es decir, que la luz elige efectivamente el camino más corto, de todos los posibles, entre el foco luminoso, el espejo y el ojo. Este hecho fue señalado por primera vez por Herón de Alejandría.

### El Vuelo de la Corneja

Sabiendo hallar el camino más corto en casos análogos al que acabamos de examinar, podemos resolver también algunos acertijos. A continuación ofrecemos un ejemplo de problemas de este tipo.



Fig. 103. El problema de la corneja. Hallar el camino más corto hasta la valla.

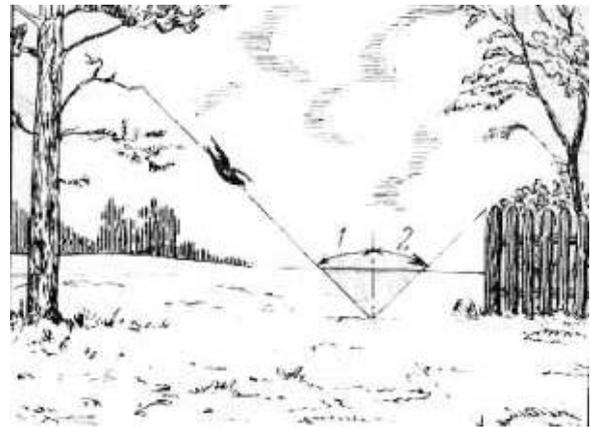


Fig. 104. Solución del problema de la corneja.

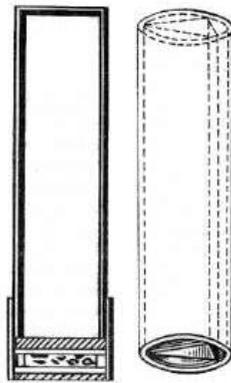
En la rama de un árbol está posada una corneja. Abajo, en la calle, hay derramados granos de trigo. La corneja planea desde su rama, coge un grano y va a posarse sobre una valla. Se pregunta, ¿dónde deberá coger el grano la corneja, para que su camino sea el más corto? (fig. 103).

Este problema es completamente igual al anterior. Por esto, no es difícil dar una respuesta acertada, como la siguiente: la corneja deberá imitar al rayo de luz, es decir, volar de tal manera, que el

ángulo 1 sea igual al ángulo 2 (fig. 104). Como vimos antes, en este caso, el camino será el más corto.

### Lo Nuevo y lo Viejo Del Caleidoscopio

Todos conocemos un buen juguete, que se llama caleidoscopio. Un puñado de trocitos multicolores de vidrio se refleja en tres espejos planos, formando figuras de singular belleza, las cuales varían en cuanto el caleidoscopio se hace girar lo más mínimo. Pero aunque el caleidoscopio es muy conocido, son pocos los que sospechan la enorme cantidad de figuras diferentes que pueden obtenerse con este juguete. Supongamos que tenemos un caleidoscopio en el que hay 20 trocitos de vidrio y que lo giramos 10 veces por minuto, para hacer que los trocitos reflejados adopten nuevas posiciones. ¿Cuánto tiempo necesitaríamos para ver todas las figuras que se pueden formar?



*Fig. 105. Caleidoscopio.*

Ni la inteligencia más vehemente puede prever una respuesta acertada a esta pregunta. Los océanos se secarían y las cadenas montañosas desaparecerían, antes de que pudiéramos acabar de ver todos los dibujos, que de forma tan maravillosa se encierran en este pequeño juguete; porque para efectuar todas las combinaciones posibles se necesitarían, por lo menos, 500 000 millones de años. Es decir, ¡más de quinientos millones de milenios habría que estar girando nuestro caleidoscopio, para ver todos los dibujos!

Esta infinita variedad de dibujos, eternamente cambiantes, hace ya mucho tiempo que llamó la atención de los decoradores, cuya fantasía no puede competir con la inagotable inventiva de este aparato. El caleidoscopio produce con frecuencia dibujos de singular belleza, que pueden servir perfectamente de motivos ornamentales para tapices, de dibujos para tejidos, etc.

Sin embargo, hoy día el caleidoscopio no despierta ya el interés con que fue acogido, como novedad, hace cien años. En aquella época era cantado en prosa y en verso.

El caleidoscopio fue inventado en Inglaterra en el año 1816 y al cabo de un año o de año y medio penetró en Rusia, donde fue acogido con admiración. El fabulista A. Izmailov, en la revista "Blagonamerenni" (julio de 1818), escribía lo siguiente sobre el caleidoscopio:

“Leí un anuncio del caleidoscopio y conseguí uno de estos, maravillosos aparatos,

*Miro, y, ¿qué ven mis ojos?  
En distintas figuras y estrellas,  
Zafiros, rubíes, topacios.  
Y esmeraldas, y diamantes,  
Y amatistas, y perlas,  
Y nácar, y todo, ¡do repente!  
Y en cuanto la mano muevo,  
Mis ojos ven algo nuevo.*

No sólo en verso, sino hasta en prosa es imposible describir todo lo que se ve en el caleidoscopio. Las figuras cambian cada vez que se mueve la mano, sin que se parezcan las unas a las otras. ¡Qué dibujos tan preciosos! ¡Oh, si fuera posible trasladarlos al cañamazo! Pero, ¿dónde conseguir sedas tan brillantes? ¿Qué otro entretenimiento puede ser más agradable? Es preferible mirar el caleidoscopio, que hacer solitarios.

Se asegura que el caleidoscopio se conocía ya en el siglo XVII. Recientemente ha sido restaurado y perfeccionado en Inglaterra, desde donde hace un par de meses pasó a Francia. Uno de los ricos de aquel país ha encargado un caleidoscopio que cuesta 20 000 francos. En vez de cuentas y vidrios multicolores, ha pedido que se pongan perlas y piedras preciosas”.

Más adelante, este fabulista cuenta una distraída anécdota sobre el caleidoscopio y, finalmente, termina su artículo con una observación melancólica, muy característica de la época de la servidumbre y el atraso:

“El físico-mecánico imperial, Rospini, célebre por sus magníficos instrumentos ópticos, hace caleidoscopios y los vende por 20 rublos. Indudablemente, la demanda de caleidoscopios es mayor que la de conferencias de física y química, de las cuales, desgraciadamente, el bienintencionado señor Rospini no obtenía ningún beneficio”.

Durante mucho tiempo, el caleidoscopio no pasó de ser un interesante juguete, hasta que en nuestros días ha conseguido aplicación práctica en el diseño de dibujos. Se ha inventado un aparato que permite fotografiar las figuras que produce el caleidoscopio y, de esta forma, “idear” mecánicamente toda clase de ornamentos.

### **Los Palacios de Ilusiones y de Espejismos**

¿Qué sensación experimentaríamos si, achicados hasta tener las dimensiones de uno de los trocitos de vidrio, nos encontráramos dentro de un caleidoscopio?

Existe un procedimiento de realizar este experimento. Esta magnífica oportunidad la tuvieron en 1900 todos los visitantes de la Exposición Internacional de París, en la cual tuvo un gran éxito el denominado “Palacio de las ilusiones”. Este palacio era algo parecido a un caleidoscopio, pero fijo. Imaginémonos una sala hexagonal, cada una de cuyas seis paredes es un grandioso espejo idealmente pulido. En los ángulos de esta sala de espejos hay unos adornos arquitectónicos en forma de columnas y cornisas, que armonizan con las molduras del techo. El espectador que se encuentra en esta sala se ve a sí mismo, como si estuviera perdido entre una multitud de personas parecidas a él, dentro de una infinita enfilada de salas y columnas, que lo rodean por todas partes y que se extienden tan lejos como alcanza la vista.

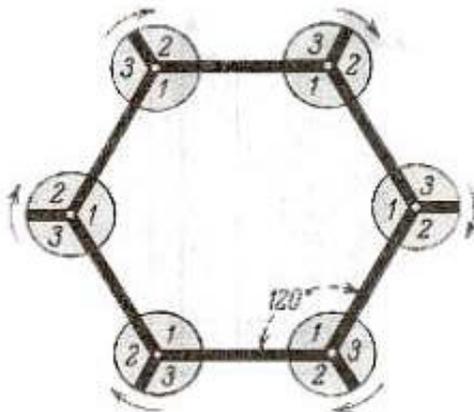
Las salas que en la fig. 106 están rayadas horizontalmente, son las que resultan de la reflexión simple; las rayadas perpendicularmente a las primeras, las producidas por la reflexión doble, que forman en total 12 salas.



*Fig. 106. La triple reflexión de las paredes de la sala central produce 36 salas.*

La triple reflexión añade a las anteriores otras 18 salas (rayadas oblicuamente). De esta forma, las salas se van multiplicando a cada reflexión y su número total depende exclusivamente de la perfección del pulimentado y del paralelismo de los espejos que ocupan las paredes opuestas de la sala prismática. Prácticamente se podían distinguir hasta las salas resultantes de la duodécima reflexión, es decir, que el horizonte abarcado por la vista comprendía 468 salas.

La causa de esta “maravilla” está clara para todo aquel que conozca las leyes de la reflexión de la luz, ya que se reduce a que tenemos tres pares de espejos paralelos y diez pares de espejos colocados en ángulo.



*Fig. 107.*



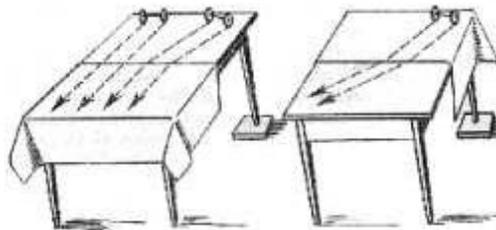
*Fig. 108. El secreto del “Palacio de los espejismos”*

Nada tiene de particular, pues, la gran cantidad de reflexiones que se producen. Más interesantes aún eran los efectos ópticos que se consiguieron en la Exposición de París en el llamado “Palacio de los espejismos”. Los constructores de este “palacio” unieron al infinito número de reflexiones, la mutación instantánea de todo el cuadro. Es decir, hicieron algo parecido a un enorme caleidoscopio móvil, en cuyo interior se situaba el observador.

El cambio de decoración de este “Palacio de los espejismos” se conseguía de la forma siguiente: los espejos que hacían de paredes, estaban cortados a lo largo a cierta distancia de los ángulos de la sala, de manera, que estos últimos podían girar alrededor de un eje y variar la decoración. La fig. 107 muestra cómo pueden hacerse tres cambios, correspondientes a los ángulos 1, 2 y 3. Ahora, figurémonos que todos los ángulos designados con la cifra 1, representan elementos de un jardín tropical, todos los designados con la cifra 2, los elementos de una sala árabe, y los que llevan el número 3, los de un templo hindú. Un simple movimiento del oculto mecanismo, que hacía girar los ángulos de la sala, bastaba para que el bosque tropical se transformara en un templo o en una sala árabe. Y el secreto de esta “magia” estaba basado en un fenómeno físico tan sencillo, como la reflexión de los rayos de luz.

### ¿Por Qué y Cómo se Refracta la Luz?

Eso de que un rayo de luz cambie de dirección cuando pasa de un elemento a otro, les parece a muchos un extraño capricho de la naturaleza. Resulta incomprensible, por qué la luz, en vez de conservar su dirección inicial en el nuevo medio, elige un camino quebrado. Los que piensan así se alegrarán seguramente de saber, que la luz hace, en este caso, lo mismo que una columna militar al pasar el límite entre un terreno fácil de andar y otro difícil. He aquí lo que dice sobre esto el célebre astrónomo y físico del siglo pasado John Herschel.



*Fig. 109. Experimento para explicar la refracción de la luz.*

“Figurémonos un destacamento militar marchando, en formación, por un terreno que una línea recta divide en dos zonas, una de ellas llana, lisa y cómoda para andar, y otra terrosa y accidentada de tal forma, que por ella no se puede avanzar tan de prisa como por la primera. Supongamos, además, que el frente del destacamento forma un ángulo con la línea divisoria entre las dos zonas, y que, por consiguiente, los soldados que forman dicho frente no llegan a ella al mismo tiempo, sino sucesivamente. En estas condiciones, cada soldado, al pasar la demarcación notará que se encuentra en un terreno por el cual no puede avanzar tan rápidamente como antes. Ya no podrá guardar línea con los demás soldados de su fila, que se encuentran aún en el terreno mejor, y empezará a retrasarse cada vez más con respecto a ellos. Como quiera que así le irá ocurriendo a cada soldado que pase por la línea divisoria, al notar las mismas dificultades para la marcha, si no se rompe la formación, toda la parte de la columna que haya pasado la demarcación se irá retrasando de la restante y formando con ella un ángulo obtuso, en el punto de transición de la línea de demarcación. Y como la necesidad de marcar el paso, sin estorbarse unos a otros, hace que cada soldado marche de frente, es decir, formando un ángulo recto con el nuevo frente de la columna, tendremos, que el camino que cada cual sigue después de pasar la línea será, en primer lugar,

perpendicular al nuevo frente, y en segundo, guardará una relación con el camino que habría recorrido, de no haberse retrasado, igual a la que existe entre la nueva velocidad y la anterior”.

De una forma más reducida, nosotros podemos repetir esta representación gráfica de la refracción de la luz, en nuestra propia mesa. Para ello, una mitad de esta mesa se cubre con un mantel (fig. 109) y, después de inclinarla un poco, se hace que ruede por ella un par de ruedecitas fijas en un eje común (pueden servir las de cualquier juguete roto). Si la dirección en que se mueve este par de ruedas y la del borde del mantel forman entre sí un ángulo recto, el camino no se tuerce. En este caso tenemos una ilustración de la regla óptica que dice: Todo rayo de luz, perpendicular al plano de separación de dos medios diferentes, no se refracta. Pero si la dirección del movimiento de las ruedecitas está inclinada con respecto al borde del mantel, el camino que siguen aquéllas se tuerce al llegar a dicho borde, es decir, en la divisoria entre los dos medios que determinan la diferencia en la velocidad de las ruedecitas. No es difícil darse cuenta de que, al pasar de la parte de la mesa en que la velocidad del movimiento es mayor (la desprovista de mantel), a la parte en que dicha velocidad es menor (la cubierta por el mantel), la dirección del camino (del “rayo”) tiende a aproximarse a la “perpendicular de incidencia”. En el caso contrario, se observa una tendencia a separarse de dicha perpendicular.

De esto puede sacarse una enseñanza de gran importancia, que revela la esencia del fenómeno que examinamos y que consiste en que, la refracción está condicionada por la diferencia de velocidades de la luz en ambos medios. Cuanto mayor sea esta diferencia de velocidades, tanto mayor será la refracción; es decir, que el denominado “índice de refracción”, que caracteriza la magnitud de la desviación que sufren los rayos, no es otra cosa, que la relación entre estas velocidades. Cuando leemos, que el índice de refracción para el paso del aire al agua es de  $4/3$ , nos enteramos al mismo tiempo de que, la luz se transmite en el aire 1,3 veces más de prisa que en el agua.

Esta propiedad está relacionada con otra peculiaridad de la refracción de la luz, que consiste en que: de la misma manera que el rayo de luz sigue al reflejarse el camino más corto, al refractarse elige el camino más rápido, es decir, que no hay ninguna otra dirección que conduzca más rápidamente el rayo de luz a su “punto de destino”, que esta línea quebrada.

### **¿Cuándo se Recorre Mas Pronto un Camino Largo Que Otro Corto?**

Es posible que una línea quebrada pueda conducir al objetivo más rápidamente que una recta? Sí, en aquellos casos en que la velocidad del movimiento es distinta en las diferentes partes del camino recorrido. Recordemos si no lo que hacen los habitantes de los pueblos, que encontrándose entre dos estaciones de ferrocarril, están más cerca de una de ellas. Cuando necesitan ir a la estación más lejana, van a caballo, en dirección contraria, hasta la estación más próxima, y allí toman el tren y van hasta su punto de destino. El camino más corto sería irse directamente, a caballo, a la estación más lejana, pero ellos prefieren recorrer el más largo, primero a caballo y luego en un vagón de ferrocarril, porque así llegan antes a su objetivo.

Prestemos un minuto de atención a otro ejemplo. Un soldado de caballería debe llevar un parte desde el punto A a la tienda de campaña de su jefe, la cual se encuentra en el punto C (fig. 110). Le separan de dicha tienda dos zonas, una formada por arenas profundas y otra por un prado, divididas entre sí por la línea recta EF. Por la arena, el caballo marcha dos veces más despacio que por el prado. ¿Qué camino deberá seguir el jinete, para llegar cuanto antes a la tienda de su jefe?

A primera vista, parece que el camino más rápido será el que va en línea recta desde el punto A al punto C. Pero esto es totalmente erróneo, y yo creo que ningún jinete elegiría este camino. La lentitud de la marcha por el arenal le hará pensar en la manera de acortar esta parte del camino, atravesando la zona arenosa por la línea menos oblicua. Naturalmente, al proceder así, alargará la segunda parte del recorrido; pero como quiera que por el prado puede marchar dos veces más de

prisa, el tiempo en recorrer el trozo en que se alargue esta parte no excederá del que se economiza acortando la parte arenosa, y en total, se tardará menos tiempo en recorrer todo el camino. En otras palabras, el camino a seguir por el jinete debe desviarse al pasar el límite entre los dos terrenos, y esta desviación se caracterizará, porque el camino a seguir por el prado formará con la perpendicular a la línea divisoria un ángulo mayor que el que forma con ella el camino por el arenal.

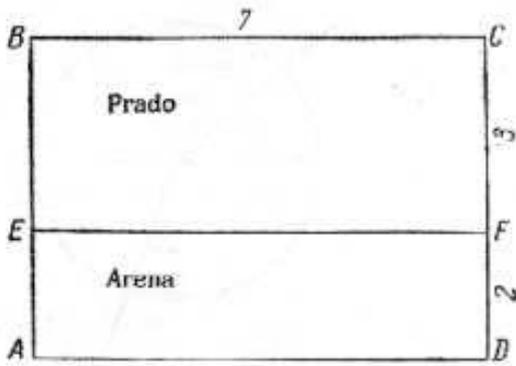


Fig. 110. El problema del jinete. Hallar el camino más rápido desde A a C.

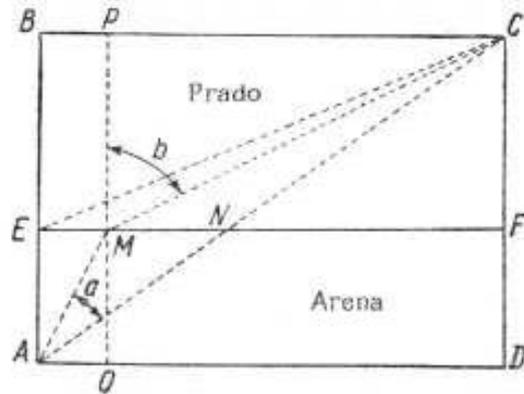


Fig. 111. Solución del problema del jinete. El camino más rápido es AMC.

Todo aquel que sepa geometría, y especialmente el teorema de Pitágoras, puede comprobar, que el camino en línea recta AC no es realmente el más rápido, y que, teniendo en cuenta la anchura de las zonas y las distancias a que aquí nos referimos, se llegará más pronto al objetivo siguiendo, por ejemplo, la línea quebrada AEC (fig. 111).

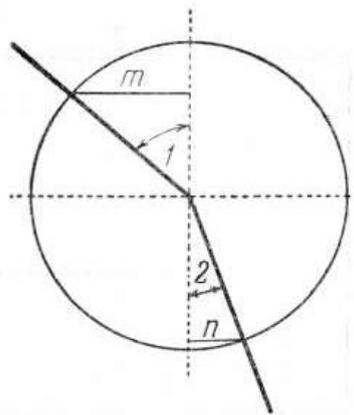


Fig. 112. ¿Qué es el “seno”? La razón de  $m$  al radio, es el seno del ángulo 1; la razón de  $n$  al radio, es el seno del ángulo 2.

En la fig. 110 puede verse, que la anchura de la zona arenosa es de 2 km, y la del prado, de 3 km. La distancia BC es de 7 km. En este caso, la distancia AC (fig. 111) será igual, por el teorema de Pitágoras, a  $\sqrt{5^2+7^2} = \sqrt{74} = 8,60$  km. La parte AN, correspondiente a la zona arenosa de este segmento, será igual, como es fácil de comprender, a  $2/5$  de esta magnitud, es decir, a 3,44 km.

Como quiera que la marcha por la arena es dos veces más lenta que por el prado, para recorrer estos 3,44 km se necesitará el mismo tiempo que para recorrer 6,88 km por el prado. Por consiguiente, el camino combinado total, por la línea AC, cuya longitud efectiva es de 8,60 km, corresponde, atendiendo al tiempo que se tarda en recorrerlo, a un camino de 12,04 km por el prado. Hagamos ahora una idéntica “reducción al prado” para el camino en línea quebrada AEC. Su parte AE=2 km, representará 4 km por el prado. La parte EC =  $\sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} = 7,6$  km. En total, la línea quebrada AEC corresponderá a  $4+7,6 = 11,6$  km por el prado.

De esta forma, el camino “más corto”, en línea recta, corresponde a 12,0 km de recorrido por el prado, mientras que el “más largo”, en línea quebrada, solamente 11,6 km por este mismo terreno. Como vemos el “camino más largo” da una ventaja de  $12,0 - 11,6 = 0,4$  km, es decir, de cerca de medio kilómetro. Pero aún no hemos determinado el camino más rápido. Este camino más rápido, según nos enseña la teoría, será aquel, en que (aquí tendremos que recurrir a la trigonometría) la relación entre el seno del ángulo b y el seno del ángulo a sea igual a la relación entre la velocidad por el prado y la velocidad por el arenal, es decir, a 2:1. En otras palabras, hay que elegir una dirección para la cual el sen (b) sea dos veces mayor que el sen a. Para esto, hay que cruzar el límite entre las zonas en un punto M, que se encuentre a un kilómetro de distancia del punto E. Efectivamente,

en este caso  $\text{sen } b = 6/\sqrt{3^2+6^2}$ , y  $\text{sen } a = 1/\sqrt{1+2^2}$ , y la relación

$$\text{sen } b/\text{sen } a = 6/\sqrt{45} : 1/\sqrt{5} = 1/\sqrt{5} = 2,$$

es decir, igual a la relación entre las velocidades.

Y, ¿cuál será en este caso la longitud total del camino “reducida al prado”?

Calculémosla:  $AM = \sqrt{2^2+1^2}$  lo que corresponde a 2,47 km de camino por el prado.  $MC = \sqrt{3^2+6^2} = 6,49$  km. Por consiguiente, la longitud total del camino “reducida al prado” será igual a  $2,47 + 6,49 = 8,96$ , es decir, 3,08 km más corto que el camino en línea recta, el cual, como ya sabemos, corresponde a 12,04 km.

Vemos claramente las ventajas que proporciona, en estas condiciones, el camino en línea quebrada. El rayo de luz elige, precisamente, este camino más rápido, porque la ley de la refracción de la luz satisface rigurosamente las condiciones de la solución matemática del problema, es decir, la relación entre el seno del ángulo de refracción y el seno del ángulo de incidencia, es igual a la relación entre la velocidad de la luz en el nuevo medio y la velocidad de la luz en el medio de que procede; por otra parte, esta relación es igual al índice de refracción de la luz entre dichos medios.

Uniéndolo en una regla las peculiaridades de la reflexión y de la refracción, podemos decir, que el rayo de luz sigue en todos los casos el camino más rápido, o sea, sigue la regla que los físicos llaman “principio de la llegada más rápida” (principio de Fermat).

Si el medio no es homogéneo y su capacidad de refracción varía paulatinamente, como ocurre, por ejemplo, con nuestra atmósfera, también se cumple el “principio de la llegada más rápida”. Esto explica la pequeña desviación que los rayos de los cuerpos celestes experimentan al atravesar la atmósfera, y que en el lenguaje de los astrónomos recibe el nombre de “refracción atmosférica”. En la atmósfera, cuya densidad aumenta paulatinamente hacia abajo, el rayo de luz se desvía de tal manera, que su parte cóncava mira hacia la Tierra. En este caso, el rayo permanece más tiempo en las capas superiores, que retrasan menos su marcha, y menos tiempo en las capas infe-

riores “lentas”, y, en definitiva, llega a su objetivo antes que si siguiera exactamente el camino en línea recta.

El “principio de la llegada más rápida” (principio de Fermat) no se cumple solamente en los fenómenos de la propagación de la luz, sino también en los de propagación del sonido y de todos los movimientos ondulatorios, cualquiera que sea la naturaleza de sus ondas. El lector querrá saber seguramente, cómo se explica esta peculiaridad de los movimientos ondulatorios. Para satisfacer esta curiosidad, incluyo a continuación una idea referente a este particular, expresada por el eminente físico contemporáneo Schrödinger<sup>1</sup>. Partía del ejemplo, ya conocido, de los soldados marchando en formación, y consideraba el caso de la propagación de un rayo de luz en un medio cuya densidad cambia paulatinamente.

“Supongamos - escribía - que para conservar rigurosamente la rectitud del frente, los soldados van unidos entre sí por una barra larga, que cada uno sostiene fuertemente en sus manos. La orden dada es la siguiente: ¡Corred todos, 10 más velozmente que podáis! Si el carácter del terreno varía paulatinamente de un punto a otro, veremos, que al principio, por ejemplo, se moverá más de prisa el ala derecha, mientras que después, la izquierda, produciéndose un giro espontáneo del frente. Al ocurrir esto, nos daremos cuenta de que, el camino recorrido no es rectilíneo, sino curvado. Pero, que este camino coincide rigurosamente con el más corto, en el sentido del tiempo de llegada al punto dado, en las condiciones de terreno dadas, está bastante claro, puesto que cada soldado procuró correr lo más velozmente posible”.

### Los Nuevos Robinsones

Indudablemente todos recordamos cómo los protagonistas de la novela de Julio Verne “La Isla Misteriosa”, abandonados en su deshabitada tierra, encendieron fuego sin tener cerillas ni eslabón. A Robinson lo ayudó el rayo, incendiando un árbol, pero a los nuevos Robinsones de Julio Verne no fue la casualidad, sino el ingenio de un experto ingeniero y el sólido conocimiento de las leyes de la Física. Recordemos cómo se sorprendió el ingenuo marinero Pencroff, cuando al regresar de la caza, encontró al ingeniero y al periodista junto a la hoguera.

“- Pero, ¿quién ha encendido esta lumbre? - preguntó el marino.

- El Sol - respondió Spilett.

El periodista no bromeaba. Fue, efectivamente, el Sol el que hizo arder este fuego del que tanto se admiraba el marino. Pero a éste le parecía mentira lo que veían sus ojos, y era tanta su admiración, que no pudo dejar de interrogar al ingeniero.

- Ah, ¿tenía usted un cristal de aumento? - le preguntó Harbert al ingeniero.

- No, pero lo he hecho.

Dijo esto, y acto seguido se lo mostró. Estaba hecho de dos vidrios, que el ingeniero había quitado de su reloj y del de Spilett. Había unido sus bordes con arcilla, después de llenar de agua la cavidad que entre ellos quedaba, y de esta manera consiguió una lente en forma de lenteja; valiéndose de la cual, había hecho arder un puñado de musgo seco, concentrando sobre él los rayos del Sol”.

El lector querrá saber, para qué es necesario llenar de agua el espacio entre los dos vidrios de reloj y quizá se haga la pregunta: ¿Acaso no puede concentrar los rayos una lente biconvexa llena de aire?

No, no puede. El vidrio de reloj está limitado por dos superficies paralelas (concéntricas), una exterior y otra interior, y, como sabemos por la Física, los rayos, al atravesar un medio limitado por superficies de este tipo, no cambian casi de dirección. Tampoco se desvían al pasar por el

<sup>1</sup> En la disertación leída en Estocolmo con motivo de la recepción del premio Nobel (en 1933).

segundo vidrio, y, por lo tanto, no se concentran en el foco. Para que los rayos se concentren en un punto hay que llenar el espacio que queda entre los vidrios de una sustancia transparente cualquiera, que refracte los rayos de luz más que el aire. Esto es lo que hizo el ingeniero de la novela de Julio Verne.

Una botella o jarra cualquiera, siempre que tenga forma esférica y esté llena de agua, también puede hacer las veces de lente y encender fuego. Esta propiedad era conocida ya en la antigüedad, y ya entonces se dieron cuenta de que, al ocurrir esto, el agua seguía estando fría. Se han dado casos, en que una jarra de agua, puesta en una ventana abierta, ha incendiado cortinas y manteles o carbonizado una mesa. Aquellas enormes botellas esféricas, llenas de agua coloreada, que adornaban tradicionalmente los escaparates de las farmacias, pudieron ocasionar verdaderas catástrofes, haciendo arder las sustancias inflamables que se encontraban cerca de ellas.

Un pequeño matraz esférico, lleno de agua, es suficiente para hacer hervir el agua que cabe en un vidrio de reloj. Para esto basta un matraz de 12 centímetros de diámetro. Cuando el diámetro es de 15 cm, en el foco<sup>2</sup> se obtiene una temperatura de 120°C. Encender un cigarro, valiéndose de un matraz con agua, es algo tan fácil como hacerlo con la lente de vidrio, de la cual decía Lomonosov en su poesía “A la utilidad del vidrio”:

Imitando no poco a Prometeo,  
Hacemos llamas de Sol con un cristal,  
Y reprobando la ruindad falsaria,  
Fuego del cielo usamos al fumar.

Debemos advertir sin embargo, que el efecto que producen las lentes de agua es considerablemente menor que el de las de vidrio. Esto se debe, en primer lugar, a que la refracción de la luz es mucho menor en el agua que en el vidrio, y en segundo, a que el agua absorbe una gran cantidad de rayos infrarrojos, los cuales juegan un papel importante en el calentamiento de los cuerpos.

Es interesante el hecho de que los antiguos griegos, más de mil años antes de que se inventaran los anteojos y catalejos, sabían ya que las lentes podían producir el fuego. De esto nos habla Aristófanes en su célebre comedia “Las Nubes”. En ella, Sócrates le plantea a Estreptíades el siguiente problema:

*Sócrates:* “Si alguien escribiese que tienes la obligación de pagar cinco talentos, ¿qué harías para destruir esta escritura?”

*Estreptíades.* He pensado cómo destruir esa escritura, y se trata de un procedimiento, que tú mismo reconocerás que es ingenioso. ¿Has visto en las boticas esa maravillosa piedra transparente, con la cual prenden el fuego?

*Sócrates.* ¿El cristal encendedor?

*Estreptíades.* Ese mismo.

*Sócrates.* ¿Y, qué más?

*Estreptíades.* Mientras el notario esté escribiendo, yo me pondré detrás de él, dirigiré los rayos del Sol hacia la escritura y derretiré todas las palabras ... »

Debemos recordar, que los griegos de la época de Aristófanes escribían sobre tablillas enceradas, las cuales podían fundirse fácilmente con el calor.

<sup>2</sup> En este caso, el foco se encuentra muy cerca del matraz.

### ¿Como Hacer Fuego Con el Hielo?

Para hacer lentes biconvexas y, por consiguiente, para encender fuego, puede emplearse también el hielo, siempre que su transparencia sea suficiente. En este caso, al refractar los rayos de luz, el hielo ni se calienta ni se funde. El índice de refracción del hielo es poco menor que el del agua, y si, como hemos visto, se puede encender fuego valiéndose de una esfera llena de agua, también se puede conseguir esto empleando lentes de hielo.



*Fig. 113. “El doctor hizo pasar los rayos por la lente, y los concentró en la yesca”.*

Estas lentes de hielo prestaron un buen servicio a los protagonistas de la novela de Julio Verne “Aventuras del capitán Hatteras”. En ella, el doctor Clawbonny hace arder la hoguera por este procedimiento, cuando los expedicionarios perdieron el eslabón y se encontraron privados de fuego con un frío de 48 grados bajo cero.

“- Esto es una desgracia - dijo Hatteras al doctor.

- Sí - respondió éste.

- No tenemos ni siquiera un catalejos, del que se pudieran quitar las lentes y encender fuego.

- Lo sé - respondió el doctor - y siento mucho que así sea, porque los rayos solares tienen fuerza suficiente para encender la yesca.

- ¿Qué hacer? Tendremos que saciar el hambre con carne de oso cruda - sugirió Hatteras.

- Sí - susurró pensativo el doctor -, en último caso. Pero, ¿por qué no?...

- ¿Qué piensa usted? - se interesó Hatteras. - Se me ha ocurrido una idea...

- ¿Una idea? - exclamó el conmaestre -. Si se le ha ocurrido a usted una idea, estamos salvados.

- No sé cómo saldrá - dudó el doctor.

- Pero, ¿qué es lo que ha pensado? - interrogó Hatteras.

- No tenemos lente, pero podemos hacerla.

- ¿Cómo? - se interesó el conmaestre.

- La puliremos de un trozo de hielo.

- ¿Es posible qué?...

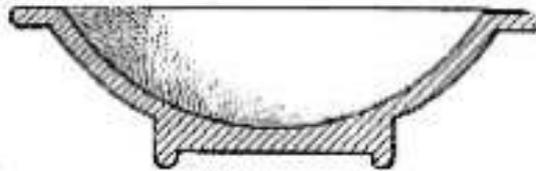
- ¿Y, por qué no? Lo único que hace falta es concentrar los rayos de Sol en un punto, y, para este fin, el hielo puede servir lo mismo que el mejor cristal. Claro que yo preferiría un trozo de hielo de agua dulce, porque sería más duro y más transparente.

- Pues, si no me equivoco - dijo el contra maestre señalando un témpano que se alzaba a unos cien pasos de ellos -, ese témpano, a juzgar por su color, es precisamente lo que usted necesita.

- Lleva usted razón. Coja un hacha. ¡Vamos, amigos!

Los tres se dirigieron hacia el témpano indicado. Efectivamente, el hielo era de agua dulce.

El doctor pidió que cortaran un trozo de hielo de un pie de diámetro y comenzó a tallarlo con el hacha. Después lo repasó con el cuchillo y finalmente lo fue puliendo, poco a poco, con la mano. Resultó una lente tan transparente como del mejor cristal. Hacía un sol bastante claro. El doctor hizo pasar los rayos por la lente, y los concentró en la yesca. Al cabo de unos segundos, ésta comenzó a arder”.



*Fig. 114. Vasija para hacer lentes de hielo.*

Esta narración de Julio Verne no es fantástica en su totalidad. En Inglaterra se hicieron, en 1763, los primeros intentos satisfactorios de encender un trozo de madera valiéndose de una lente de hielo de gran tamaño. Desde entonces, estos experimentos se han repetido con éxito. Claro que es difícil hacer una lente transparente con unas herramientas tan rudimentarias como un hacha, un cuchillo y una “simple mano” (¡A 48 grados de frío!). Pero la lente de hielo se puede hacer por un procedimiento más sencillo, que consiste en echar agua en una vasija de forma a propósito y dejarla que se hiele. Después, se calienta ligeramente la vasija y se extrae la lente acabada.

### **Con Ayuda de Los Rayos Solares**

En aquellos países en que hay nieve en invierno, se puede hacer fácilmente otro experimento. Un día de Sol se toman dos trozos de tela, uno de color claro y otro negro, cuyas dimensiones sean iguales, y se colocan sobre la nieve. Al cabo de una o dos horas podremos observar que el trozo negro se ha hundido en la nieve, mientras que el claro continúa al mismo nivel. No es difícil hallar la causa de esta diferencia. Se trata simplemente de que la nieve se funde más intensamente debajo de la tela negra, porque ésta absorbe una gran parte de los rayos solares que caen sobre ella; mientras que la tela clara, por el contrario, dispersa la mayor parte de estos rayos y se calienta mucho menos que la negra.

El primero en hacer este experimento fue Benjamín Franklin, insigne luchador por la independencia de los Estados Unidos de América del Norte, que se inmortalizó como físico con la invención del pararrayos. “Cogí a un sastre varios trozos de tela cuadrados - escribía Franklin -. Entre ellos los había de color negro, azul oscuro, azul claro, verde, púrpuro, rojo, blanco y de otros colores y tonalidades. Una mañana de claro sol, puse todos estos trozos de tela sobre la nieve. Al cabo de unas horas, el trozo negro, que se había calentado más que los otros, era tanto lo que se había hundido, que los rayos de sol no llegaban ya a él; el azul oscuro se había hundido casi tanto como el negro; el azul claro, bastante menos, y los demás colores, cuanto más claros, menos se hundieron. El blanco se quedó en la superficie, es decir, no se hundió en absoluto”.

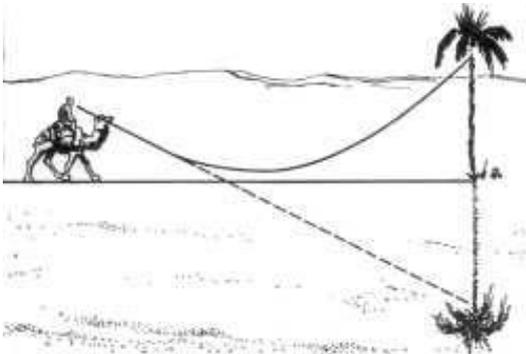
“¿Para qué serviría la teoría si de ella no se pudieran obtener beneficios prácticos? - exclamaba él a este propósito y continuaba -: ¿A caso no podemos deducir de este experimento que los trajes negros son menos apropiados que los blancos para los climas templados y de mucho sol? Naturalmente, puesto que con ellos nuestro cuerpo se calienta más al sol, y si además hacemos movi-

mientos, que de por sí contribuyen a calentarnos, el calor será excesivo. ¿No deberían ser los sombreros de verano de color blanco, para evitar así ese calor que llega a producir la insolación a ciertas personas? Es más, si se pintaran las paredes de negro, ¿no podrían acaso absorber durante el día tanto calor, que por la noche se conservasen, hasta cierto punto, templadas y pudieran evitar que se helasen las frutas? ¿Es que no puede un observador atento tropezarse con otras particularidades más o menos importantes?”

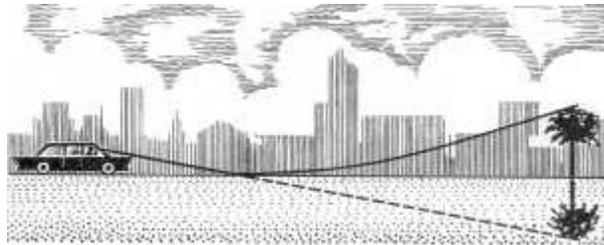
Una idea de la importancia de estas deducciones y de la utilidad de su empleo, nos la ofrece el ejemplo de la expedición alemana al polo sur, efectuada en el año 1903, con el buque “Gauss”. Este buque fue aprisionado por los hielos y ninguno de los procedimientos ordinarios empleados para su liberación dio resultado. Las materias explosivas y las sierras que se pusieron en juego, sirvieron para apartar unos cuantos centenares de metros cúbicos de hielo, pero no para liberar al navío. Entonces, los expedicionarios recurrieron a la ayuda de los rayos solares. Trazaron sobre el hielo una franja oscura de ceniza y carbón, de 2 km de largo y unos 10 m de ancho, la cual conducía desde el barco hasta la más próxima de las grietas que había en el hielo. Era verano, y en el polo hacía unos días despejados y largos, durante los cuales, los rayos solares consiguieron lo que fue imposible para la dinamita y las sierras. El hielo, al fundirse, se rompió a lo largo de la franja recubierta y el buque quedó liberado.

### Lo Viejo y lo Nuevo del Espejismo

Lo más probable es que todos sepan la causa física del espejismo ordinario. Las arenas del desierto, caldeadas por el calor, adquieren propiedades semejantes a las de un espejo, porque la capa de aire caliente que linda con ellas es menos densa que las superiores.



*Fig. 115. ¿Cómo se produce el espejismo en el desierto? Este dibujo, que generalmente reproducen los libros de texto, representa el camino que sigue un rayo de luz, cuyo ángulo de inclinación con respecto a la tierra está muy aumentado.*



*Fig. 116. El espejismo en una carretera alquitranada.*

Todo rayo de luz oblicuo, procedente de cualquier objeto bastante alejado, al encontrarse con esta capa de aire se desvía, de forma, que al seguir adelante vuelve a alejarse del suelo y llega a los ojos del observador lo mismo que si se hubiera reflejado en un espejo formando un gran ángulo de incidencia. Esto hace, que el observador sienta la impresión de que ante él se abre en el desierto una extensión de agua, en la cual se reflejan los objetos que hay en sus orillas (fig. 115).

Mejor sería decir, que la capa de aire caliente que linda con el suelo caldeado, refleja los rayos de luz, no como un espejo, sino como lo hace la superficie del agua cuando se mira desde abajo, es

decir, desde dentro del agua. En este caso no se produce una reflexión ordinaria, sino lo que se llama en física una “reflexión interna”. Para que así ocurra, el rayo de luz tiene que entrar en esta capa de aire muy oblicuamente (mucho más de lo que se ve en la reproducción simplificada de la fig. 115); de lo contrario, no superaría el “ángulo máximo” de incidencia del rayo y no se produciría la “reflexión interna”.

Señalemos de pasada uno de los puntos de esta teoría que puede parecer raro. La explicación que acabamos de dar exige que las capas de aire están dispuestas de tal manera, que las más densas se encuentren encima de las de menos densidad. Sabemos sin embargo, que el aire denso, y por consiguiente el más pesado, tiende siempre a descender y a desplazar hacia arriba a la capa de aire más ligera, que se encuentra debajo. ¿Cómo puede entonces producirse la disposición de las capas, densas y enrarecidas del aire, que hace falta para que se dé el espejismo?

La explicación está en que esta disposición de las capas no se produce en un aire inmóvil, sino en un aire que está en movimiento. La capa de aire que calienta el suelo no permanece sobre él, sino que es desplazada constantemente hacia arriba y sustituida por otra capa nueva, la cual se calienta casi en el acto. Este cambio ininterrumpido da lugar a que, junto a la arena caldeada se encuentra siempre una capa de aire enrarecido, que, aunque no siempre sea la misma, es la que influye en la marcha de los rayos.

Este tipo de espejismo, que acabamos de examinar, se conoce desde la más remota antigüedad. La meteorología moderna lo designa con el nombre de “espejismo inferior” (para diferenciarlo del “superior”, que es el que produce la reflexión de los rayos de luz en las capas de aire enrarecido de las altas regiones de la atmósfera). La mayoría de las personas están convencidas de que este espejismo clásico se observa exclusivamente en el aire tórrido de los desiertos del sur y de que no puede producirse en otras latitudes más al norte. No obstante, el espejismo inferior puede observarse frecuentemente en nuestras latitudes. Fenómenos semejantes se producen asiduamente en las carreteras asfaltadas o alquitranadas, las cuales, debido a su color oscuro, se calientan mucho al sol. Cuando esto ocurre, desde lejos parece que la superficie mate de estas carreteras está húmeda y que refleja los objetos distantes. El camino que siguen los rayos de luz, en este espejismo, se muestra en la fig. 116. Cuando uno es un poco observador, estos fenómenos se suelen ver más a menudo de lo que en general se piensa.

Hay otro tipo de espejismo, el espejismo lateral, cuya existencia ni se sospecha por lo general. Se trata del reflejo producido por las paredes verticales calientes. A este tipo corresponde el caso que nos refiere un autor francés. Cuando se acercaba a un fuerte, se dio cuenta de que una de sus paredes de hormigón comenzó a brillar de improviso, lo mismo que un espejo, y a reflejar el paisaje, el suelo y el cielo. Después de dar varios pasos, observó esta misma transformación en otra de las paredes del fuerte. Daba la impresión de que aquella superficie gris y desigual se convertía instantáneamente en lisa y pulida. Hacía un día muy caluroso y las paredes debían estar muy caldeadas; en esto consistía el secreto del espejismo de las paredes. En la fig. 117 se muestra la disposición de las paredes del fuerte (F Y F') y los lugares en que se encontraba el observador (A a A'). Después resultó, que el espejismo se observaba cada vez que los rayos solares calentaban suficientemente la pared. Hasta se consiguió fotografiar este fenómeno.

En la fig. 118 se ve (a la izquierda) la pared F del fuerte, primeramente mate, y después brillante (a la derecha) como un espejo (fotografiada desde el punto A'). En la foto de la izquierda se distingue el hormigón gris y ordinario, en el cual no pueden reflejarse las figuras de los dos soldados que junto a la pared se encuentran.

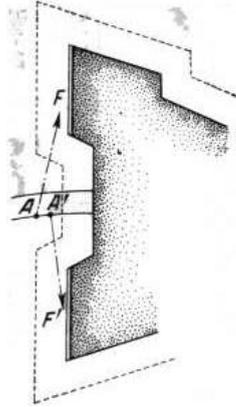


Fig. 117. Plano del fuerte en que se observó el espejismo. La pared F parecía un espejo desde el punto A y la pared F' daba la misma sensación desde el punto A'.

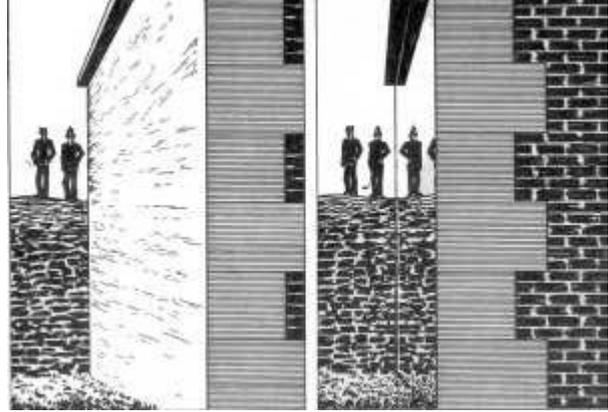


Fig. 118. La pared gris e irregular del fuerte (a la izquierda) se transformaba de repente en una superficie pulida, que reflejaba las imágenes (a la derecha).

En la de la derecha, se ve esta misma pared cuando la mayor parte de ella adquirió propiedades semejantes a las del espejo y reproduce simétricamente la imagen del soldado más próximo a ella. Está claro, que donde se reflejan los rayos de luz no es en la superficie de la pared, sino en la capa de aire caliente contigua a ella.

En los días calurosos de verano deberíamos prestar más atención a las paredes caldeadas de los grandes edificios y procurar descubrir si se produce en ellas el fenómeno del espejismo. Indudablemente, los casos de espejismo se observarían con mucha más frecuencia si prestáramos a ellos más atención.

### El “Rayo Verde”

“¿Ha presenciado usted alguna vez la puesta del Sol en el mar? Sí, indudablemente. ¿Y siguió al Sol hasta ese momento en que la parte superior de su disco toca la línea del horizonte y luego desaparece? Probablemente también. Pero, ¿se dio cuenta de un fenómeno que suele ocurrir en el momento en que el astro radiante lanza su último rayo, cuando el cielo está completamente despejado y transparente? Puede que no. Pues, no pierda la ocasión de presenciar este fenómeno. Sus ojos percibirán, no un rayo rojo, sino un rayo de maravilloso color verde, de un color, que no hay pintor que pueda reproducirlo en su paleta y que la propia naturaleza no ha repetido ni en los diversos tonos de las plantas, ni en el color más transparente de los mares”.

Un comentario como éste, publicado en un periódico inglés, entusiasmó de tal forma a la joven protagonista de la novela de Julio Verne “El Rayo Verde”, que resolvió emprender una serie de viajes con el único fin de ver con sus propios ojos el mencionado rayo. La joven escocesa no consiguió, según la narración del novelista, observar este bello fenómeno de la naturaleza. No obstante, el rayo verde existe. El rayo verde no es una simple leyenda, a pesar de que con él guarden relación muchas historias legendarias. El rayo verde es un fenómeno que puede admirar todo aquel que tenga afición a la naturaleza, siempre que lo busque con suficiente paciencia.

¿Por qué se produce el rayo verde?

Para comprender la causa de este fenómeno hay que recordar cómo vemos los objetos cuando los miramos a través de un prisma de cristal. Hagamos, por ejemplo, el siguiente experimento: cojamos un prisma de cristal y, teniéndolo delante del ojo horizontalmente, con la parte ancha hacia abajo, miremos a través de él una hoja de papel blanco clavada en la pared. Notaremos, en primer

lugar, que dicha hoja sube a una altura mucho mayor que la que ocupa en realidad, y, en segundo lugar, que tiene en su parte superior un borde violáceo azulado y en la parte inferior otro borde amarillo rojizo. La elevación depende de la refracción de la luz y los bordes coloreados, de la dispersión que produce el cristal, es decir, de la propiedad que tiene éste de refractar distintamente los rayos de colores distintos. Los rayos violeta y azules se refractan más que los restantes, por lo cual, el borde que vemos en la parte superior es violáceo azulado; los rayos rojos, por el contrario, son los que menos se refractan, por cuya razón vemos nuestra hoja de papel con un borde rojo en su parte inferior.

Para en adelante comprender mejor, es conveniente detenernos un poco en el origen de estos bordes coloreados. El prisma descompone la luz blanca, procedente del papel, en todos los colores del espectro, produciendo una multitud de imágenes de dicha hoja de papel, situadas en el orden correspondiente a la refracción de los distintos colores, pero superpuestas parcialmente unas a otras. De la acción simultánea de estas imágenes coloreadas superpuestas, nuestro ojo recibe la sensación del color blanco (suma de los colores del espectro), pero por arriba y por abajo sobresalen los bordes de los colores que no se mezclan. Goethe, el insigne poeta y naturalista alemán del siglo XVIII, que hizo este experimento, pero que no comprendió su sentido, pensó, que acababa de descubrir la falsedad de la teoría de Newton sobre los colores, y escribió su propia “Ciencia de los Colores”, la cual está basada casi totalmente en ideas falsas. Es de suponer que nuestros lectores no repetirán los errores de este gran poeta y no esperarán que el prisma pinte para ellos, con nuevos colores, todos los objetos que les rodean.



*Fig. 119. Una larga observación del “rayo verde”. El observador divisó el “rayo verde”, detrás de una cordillera, durante 5 minutos. Arriba a la derecha: el “rayo verde” observado con antejo de larga vista. El disco solar tiene contornos irregulares. En la posición 1, el brillo del Sol ciega los ojos e impide distinguir el margen verde. En la posición 2, cuando el disco solar desaparece casi por completo, el “rayo verde” se hace perceptible a simple vista.*

La atmósfera terrestre viene a ser para nuestros ojos algo así como un enorme prisma de aire, cuya base está dirigida hacia abajo. Cuando miramos al Sol en el horizonte, lo hacemos a través de este prisma gaseoso. El disco toma por su parte superior un borde de color azul y verde, y por la inferior otro, de color rojo y amarillo. Mientras el Sol se encuentra sobre el horizonte, la claridad de la luz del disco es tan intensa, que apaga estas zonas coloreadas e impide que las veamos.

Pero en el momento de la salida y de la puesta del Sol, cuando casi todo el disco está oculto tras el horizonte, podemos ver el borde azul de su parte superior. Este borde es en realidad bicolor: su parte más alta está formada por una franja azul, y la más baja, por una celeste, resultado de la mezcla de rayos azules y verdes. Cuando el aire próximo al horizonte está completamente limpio y transparente, vemos el borde azul, o "rayo azul". Pero con frecuencia, los rayos azules se dispersan en la atmósfera y queda solamente un borde verde; éste es precisamente el fenómeno del "rayo verde". En la mayoría de los casos, la atmósfera está turbia, y dispersa, además de los rayos azules, los verdes. En este caso no se observa ningún borde y el Sol, al ponerse, semeja una esfera purpúrea.

El astrónomo soviético G. Tijov, que consagró al "rayo verde" una investigación especial, nos comunica algunos indicios de la visibilidad de este fenómeno. "Si el Sol tiene color rojo al ponerse y es fácil de contemplar a simple vista, puede decirse con toda seguridad que no habrá rayo verde". La causa es comprensible, porque el color rojo del disco solar indica que en la atmósfera se produce una gran dispersión de los rayos azules y verdes, es decir, de los que forman el borde superior del disco. "Por el contrario - continúa el astrónomo -, si el ordinario color blanquecino amarillento del Sol cambia poco y éste se pone resplandeciente (es decir, cuando la atmósfera absorbe poca luz. - Y.P.), es muy posible que se produzca el rayo verde. Pero en este caso tiene gran importancia que el horizonte forme una línea bien definida, sin desigualdades, ni bosques próximos, ni edificios, etc. Estas condiciones se dan preferentemente en el mar; he aquí por qué el rayo verde es bien conocido por los marinos".

Quedamos, pues, en que para ver el "rayo verde" hay que observar el Sol, en el momento de salir o de ponerse, cuando el cielo está muy despejado. En los países del sur, el cielo suele ser más transparente en el horizonte, que en los del norte, por lo cual es allí donde este fenómeno se observa con más frecuencia. Pero esto no quiere decir que en las latitudes medias se produzca tan raras veces como muchos creen y seguramente influidos por la novela de Julio Verne. Las búsquedas obstinadas del "rayo verde", tarde o temprano, acaban viéndose coronadas por el éxito. Se han dado casos en que este bello fenómeno se ha podido contemplar con anteojo de larga vista. Dos astrónomos alsacianos describen una observación de este tipo de la forma siguiente:

"... En el último minuto precursor de la puesta del Sol, cuando, por consiguiente, aún se veía una parte apreciable de él, su disco, cuyos límites eran ondulados y móviles, pero bien definidos, estaban rodeados de un margen verde. Mientras el Sol no se puso por completo, este margen no se distinguía a simple vista. Solamente se hizo visible en el momento en que el Sol desapareció tras el horizonte. Si un fenómeno como éste se observa con un anteojo de suficiente aumento (aproximadamente de 100 veces), se puede seguir minuciosamente todo el transcurso del mismo: el margen verde comienza a notarse, por lo menos, 10 minutos antes de ponerse el Sol; este margen limita la parte superior del disco, mientras que en la inferior se observa un margen rojo. La anchura de este margen es muy pequeña al principio (de varios segundos de arco en total), pero después va aumentando a medida que se pone el Sol. A veces llega a alcanzar hasta medio minuto de arco. Sobre este margen verde suelen verse unas prominencias del mismo color, las cuales, al ir desapareciendo paulatinamente el Sol, parece que se deslizan por su orilla hasta llegar al punto más alto. Algunas veces, estas prominencias se separan del margen, brillan varios segundos aisladas de él y luego se apagan" (fig. 119).

Generalmente, el fenómeno dura un par de segundos. Pero en circunstancias extraordinarias esta duración aumenta sensiblemente. Se ha registrado un caso en que el "rayo verde" se observó...; durante más de 5 minutos! El Sol se ocultaba detrás de una lejana montaña, cuando un observador, que caminaba de prisa, vio como el margen verde del disco solar parecía deslizarse por la pendiente de aquélla (fig. 119).

Es muy interesante la observación del “rayo verde” al salir el Sol, cuando su parte superior comienza a surgir de detrás del horizonte. Esto desmiente la versión de que el “rayo verde” no es más que una ilusión óptica, que se produce por cansancio del ojo con el brillo del Sol al ponerse. El Sol no es el único astro que lanza el “rayo verde”. Este fenómeno se ha podido observar también al ponerse Venus.