

Las Sombras de los cuerpos (segun lo observó Buffon, *Memorias de la Academia de las Ciencias año de 1743. pág. 157.*), que por su esencia deben ser negras, pues no son mas que la privacion de la luz, siempre son coloridas al salir y al ponerse el Sol. Las que caen sobre fondo blanco, como sobre una pared blanca, por lo regular son azules, y muchas veces de un azul tan vivo como el celeste; siendo fácil hacer el experimento, pues basta mirar la *Sombra* de uno de nuestros dedos al salir ó al ponerse el Sol sobre un papel blanco para ver esta sombra azul.

Hace mucho tiempo que se conoce este fenómeno que se halla muy bien explicado en la Obra de un sabio y diestro Pintor Italiano (*Leonardo de Vinci, Tratado de la Pintura*, impreso la primera vez en Paris en 1651, en Italiano y Frances, y de que se hizo una edicion francesa en dozavo en 1716). En el título de su capítulo 328 se lee: *por que á la tardecita, las Sombras de los cuerpos producidas sobre una pared blanca son azules*; y lo explica con razones que parecen muy plausibles. Estas son sus propias palabras: „Las Sombras de los cuerpos que vienen de lo encarnado del Sol que se pone, y que está cerca del horizonte, siempre serán azuladas; lo qual sucede así, porque la superficie de todo cuerpo opaco participa del color del cuerpo que le ilumina; luego estando la blancura de la pared enteramente privada de color, toma el tinte de su objeto, es decir, del Sol y del Cielo; y como el Sol á la tardecita es de color roxizo, el Cielo parece azul; y los lugares en que se halla la *Sombra* no son vistos por el Sol (pues ningun cuerpo luminoso vió jamas la *Sombra* del cuerpo que ilumina); como los lugares de esta pared en que no da el Sol son vistos por el Cielo, la *Sombra* derivada del Cielo que hará su proyeccion en la pared blanca, será de color azulado; y el campo de esta *Sombra* iluminado por el Sol, cuyo color es roxizo, participará de este color roxo.” Es decir, la pared blanca se tiñe sensiblemente de la luz azulada del Cielo, y este color solo aparece en el lugar de la
Som-

Sombra; porque en lo demas es iluminada por una luz mas fuerte, que impide que aparezca el azul.

Ahora vamos á establecer las leyes de la proyeccion de las Sombras por los cuerpos opacos, de las quales ya hemos anunciado algunas.

LEYES DE LA PROYECCION DE LAS SOMBRAS
POR LOS CUERPOS OPACOS.

1º Todo cuerpo opaco arroja una *Sombra* en la misma direccion que los rayos de luz, es decir, hácia la parte opuesta á la luz: por esta razon, á medida que mudan de lugar el cuerpo luminoso ó el cuerpo opaco, tambien muda la *Sombra*.

2º Todo cuerpo opaco arroja tantas Sombras diferentes, quantos cuerpos luminosos hay que le iluminen.

3º Quanta mas luz arroja un cuerpo luminoso, tanto mas densa es la *Sombra*: luego la densidad de la *Sombra* se mide por los grados de luz de que está privado este espacio. No es esto decir que la *Sombra*, que es una privacion de luz, sea mas fuerte para un cuerpo que para otro; sino que quanto mas iluminadas estan las inmediaciones de la *Sombra*, tanto mas densa se la juzga por comparacion.

4º Si una esfera luminosa es igual á otra opaca á la que ilumina, la *Sombra* que derrame esta última será un cilindro, y por consiguiente siempre será de la misma magnitud, á qualquiera distancia que se halle colocado el cuerpo luminoso: de suerte que do quiera que se corte esta *Sombra*, el plano de la seccion será un círculo igual á un círculo máximo de la esfera opaca.

5º Si la esfera luminosa es mayor que la opaca, la *Sombra* formará un cono: luego cortando á la *Sombra* por un plano paralelo á la base, el plano de la seccion será un círculo, y este círculo será tanto menor quanto mas diste de la base.

6º Si la esfera luminosa es menor que la opaca, la
Som-

Sombra será un cono truncado; y por consiguiente, siempre se volverá mas y mas grande: luego, cortándola por un plano paralelo á la base, este plano será un círculo tanto menor, quanto mas cerca esté de la base; pero este círculo siempre será mayor que un círculo máximo de la esfera opaca.

7º Para hallar la longitud de la *Sombra* ó el exe del cono de la *Sombra* de una esfera opaca iluminada por una esfera mayor, siendo los semi-diámetros de las dos como *CG* y *IM* (*Lam. LXXXV. fig. 12.*), y dadas las distancias entre sus centros *GM*, de este modo se ha de proceder.

Tírese la línea *FM* paralela á *CH*, y se tendrá *IM = CF*; por consiguiente *FG* será la diferencia de los semi-diámetros *GC* y *IM*: y como *FG*, que es la diferencia de los semi-diámetros, es á *GM* que es la distancia de los centros, del mismo modo *CF*, que es el semi-diámetro de la esfera opaca, es á *MH*, que es la distancia del vértice del cono de la *Sombra* al centro de la esfera opaca: luego si la razon de *PM* á *MH* es muy pequeña, de suerte que *MH* y *PMH* no se diferencien considerablemente, *MH* podrá tomarse por el exe del cono de la *Sombra*; si no debe substraerse la parte *PM*. Para hallarla búsquese el valor del arco *LK*, porque substrayéndola de un arco de círculo, quedará el arco *IQ*, que es la medida del ángulo *IMP*. Este arco *LK* se hallará facilmente porque es la medida del ángulo *LMK*, el qual es igual al ángulo *MIH*: es así que este ángulo *MHI* es uno de los ángulos del triángulo rectángulo *MHI*, cuyos lados *MI* y *MH* son conocidos; luego se hallará facilmente el ángulo *MHI*. Supuesto, pues, que en el triángulo *MIP*, que es rectángulo en *P*, ademas del ángulo *IMQ*, tenemos el lado *IM*, es facil hallar por la Trigonometría el lado *MP*. Por exemplo, si el semi-diámetro de la Tierra *MI = 1*, y el semi-diámetro del Sol se supone de 15 minutos, se inferirá que el ángulo *MIP* ó *KML* solo es de 16¹: porque á causa de la pequeñez del

del globo *M* con respecto al globo del Sol *G*, y de la gran distancia *GM* del Sol, el ángulo *GMF* ó *KML* es poco mas ó menos igual al semi-diámetro del Sol: de donde se sigue que *MP* no es mas que la 228 parte poco mas ó menos de *MI* ó de 1, es decir, en razon del seno de 15¹ al seno total, ó con corta diferencia, como 15¹ á 57 grados, luego como *MH* contiene tambien unas 228 veces *MI*, se sigue que puede despreciarse *PM* con respecto á *MH*, y tomar *MH* ó 228 semi-diámetros de la tierra para la longitud del exe del cono.

La solucion anterior manifiesta que la distancia *GM* del cuerpo opaco al cuerpo luminoso siempre está en razon constante con la longitud *MH* del exe del cono, pues la razon de estas dos líneas es igual á la que hay entre la diferencia *FG* de los semi-diámetros y el semi-diámetro *MI* del cuerpo opaco. De donde es facil inferir que disminuyendo la distancia *GM*, igualmente se ha de disminuir la longitud de la *Sombra*; y por consiguiente que la *Sombra* disminuirá continuamente, á medida que el cuerpo opaco se acerque al cuerpo luminoso.

8º Hallar la longitud de la *Sombra* que hace un cuerpo opaco *TS* (*fig. 13.*), dadas la altura del cuerpo luminoso, por exemplo, del Sol, sobre el horizonte (es decir, el ángulo *SUT*) y la altura del cuerpo. Supuesto que el triángulo rectángulo *STU* ó *T* es un ángulo recto, y que el ángulo *U* y el lado *TS* son dados, se hallará por la Trigonometría la longitud de la *Sombra* *UT*. (*Véase TRIANGULO.*)

Y así, supuesto que la altura del Sol es de 37º 45', y la altura de una torre de 178 pies, *TU* será 241½ pies.

9º Dadas la longitud de la *Sombra* *TU* y la altura del cuerpo opaco *TS*, hallar la altura del Sol sobre el horizonte.

Supuesto que en el triángulo rectángulo *STU*, que es rectángulo en *T*, se han dado los lados *TU* y *TS*, se halla el ángulo *U* por la proposicion siguiente. Como la longitud

tud de la *Sombra TU* es á la altura del cuerpo opaco *TS*, del mismo modo el seno total es á la tangente de la altura del Sol sobre el horizonte: luego si *TS* es de 30 pies, y *TU* de 45, *TUS* será $33^{\circ} 41'$.

10.º Si la altura del cuerpo luminoso, por exemplo, del Sol sobre el horizonte *TUS*, es de 45° , la longitud de la *Sombra TU* es igual á la altura del cuerpo opaco; porque entonces siendo el ángulo *U* de 45° , el ángulo *TUS* tambien es de 45° , y por consiguiente los lados *TS*, *TU*, opuestos á estos ángulos, son iguales.

11.º Las longitudes de las *Sombras TZ* y *TU* del mismo cuerpo opaco *TS*, á diferentes alturas del cuerpo luminoso, son como las co-tangentes de estas alturas, ó, lo que viene á ser lo mismo, como las tangentes de los ángulos *TSU*, complementos de las alturas *SUT*.

Luego como la co-tangente de un ángulo mayor es menor que la de un ángulo menor, quanto mas alto está el cuerpo luminoso, es decir, quanto mayor es el ángulo *SUT*, tanto mas disminuye la *Sombra*, por cuya razon las *Sombras* á medio dia son mas largas en invierno que en verano.

12.º Para medir la altura de qualquiera objeto, por exemplo, de una torre *AB* (*fig. 14.*) por medio de su *Sombra* arrojada sobre un plano horizontal, clávese un palo en la extremidad de la *Sombra* de la torre *C*, y médase la longitud de la *Sombra AC*: clávese en tierra otro palo cuya altura *DE* sea conocida, y médase la longitud de su *Sombra EF*; hecho esto dígase como *EF* es á *AC*, del mismo modo *DE* es á *AB*: luego si *AC* es 30 metros, *EF* 2 metros, y *ED* 3 metros; *AB* será 45 metros.

13.º La *Sombra* recta es á la altura del cuerpo opaco, como el coseno de la altura del cuerpo luminoso es al seno de esta misma altura.

14.º Quedando una misma la altura del cuerpo luminoso, el cuerpo opaco *AC* (*fig. 15.*) será á la *Sombra* versa *AD*, como la *Sombra* recta *EB* es al cuerpo opaco *DB*.

Lue-

Luego, 1.º, el cuerpo opaco es á la *Sombra* versa como el coseno de la altura del cuerpo luminoso es á su seno; por consiguiente la *Sombra* versa *AD* es al cuerpo opaco *AC* como el seno de la altura del cuerpo luminoso es á su coseno. 2.º Si $DB = AC$, entonces *DB* será una media proporcional entre *EB* y *AD*, es decir, la longitud del cuerpo opaco será media proporcional entre su *Sombra* recta y su *Sombra* versa. 3.º Quando el ángulo *C* es de 45° , el seno y el coseno son iguales, y por consiguiente la *Sombra* versa es igual á la longitud del cuerpo opaco.

Para hallar la *Sombra* de un cuerpo irregular qualquiera expuesto á un cuerpo luminoso de qualquiera figura, debe suponerse en cada punta del cuerpo luminoso una especie de pirámide ó cono de rayos que vienen á rozarse con el cuerpo, de modo que haya tantas pirámides quantos son los puntos en el cuerpo luminoso; y la *Sombra* perfecta del cuerpo se contendrá en el espacio ó porcion de espacio que sea comun á todas estas pirámides, pues claro está que este espacio no recibirá ningun rayo de luz. Todas las demas porciones de espacios que no reciban rayos de algunos puntos, pero que los reciban de otros, se hallarán en la penumbra; y esta será mas ó menos densa en diferentes lugares, segun caygan en estos lugares rayos de un número mayor ó menor de puntos del cuerpo luminoso. (*Véase* PENUMBRA.)

La teoría de las *Sombras* de los cuerpos y de su penumbra es muy útil en la Astronomía para el cálculo de los eclipses.

Las *Sombras* rectas y las *Sombras* versas son de alguna utilidad en la medicion de tierras, pues por su medio pueden medirse con bastante comodidad las alturas, ya accesibles, ya inaccesibles. Empléanse las *Sombras* rectas quando la *Sombra* no excede á la altura; y las *Sombras* versas quando la *Sombra* es mayor que la altura. Para esto se ha ideado un instrumento llamado *línea de las Sombras*, por cuyo medio se determinan las relaciones de las *Sombras*

Hhh 2

bras

bras rectas y de las Sombras versas de qualquiera objeto en su altura.

Finalmente, no es inútil observar que quanto se demuestra, así en la Optica como en la Perspectiva, sobre las Sombras de los cuerpos, es exácto á la verdad en quanto á la parte matemática; pero tratando esta materia físicamente, la cosa es muy diferente. La explicacion de los efectos de la Naturaleza depende casi siempre de una Geometría tan complicada, que rara vez sucede que estos efectos concuerden con lo que esperábamos por nuestros cálculos: luego en las materias físicas, y por consiguiente en el asunto de que tratamos, es indispensable unir la experiencia á la teoría, ora para confirmar esta alguna vez, ora para ver quanto se aparta, á fin de determinar, si es posible, la causa de esta diferencia.

Así hallamos, por exemplo, especulativamente, que la Sombra de la Tierra debe extenderse hasta 110 de sus diámetros; y como la Luna solo dista de ella unos 30 diámetros, se seguiria de aquí, que quando cayese toda entera, ó en parte dentro de la Sombra de la Tierra, todo este astro ó su parte eclipsada deberia desaparecer enteramente, como quando la Luna es nueva; pues entonces la Luna entera ó su parte eclipsada no recibiria ninguno de los rayos del Sol. Sin embargo de esto jamas desaparece; y solo se presenta roxiza y pálida, aun en lo mas fuerte del eclipse; lo qual prueba que solo se halla dentro de la penumbra, y por consiguiente que la Sombra de la Tierra no se extiende sino hasta 110 de sus diámetros. Queriendo el difunto *Maraldi* aclarar este fenómeno hizo experimentos con el Sol de lleno por medio de los cilindros y de los globos, á fin de averiguar hasta donde se extiende su Sombra verdadera (*Véanse las Memorias de la Academia 1723*); y halló que esta Sombra que deberia extenderse á unos 110 diámetros del cilindro ó del globo, no se extiende, quedando siempre igualmente negra, sino á una distancia de unos 41 diámetros; cuya distancia se vuelve mayor quando el Sol

es menos luminoso. Mas allá de la distancia de 41 diámetros, el medio degenera en penumbra, quedando solo de la Sombra total dos rayas negras y estrechas, que por una y otra parte terminan la penumbra, segun la longitud. Estas dos rayas son de la negrura que pertenece á la Sombra verdadera; el espacio que ocupa la falsa penumbra y estas dos rayas perteneceria á la Sombra verdadera, porque tiene la anchura que conviene á esta; la anchura de la falsa penumbra disminuye y se aclara á medida que nos acercamos, guardando siempre las dos rayas negras una misma anchura. Finalmente, á la distancia de unos 110 diámetros, desaparece la falsa penumbra; las dos rayas negras se confunden en una; despues de lo qual la Sombra verdadera desaparece enteramente, y no se ve mas que la penumbra: es de observar que la verdadera penumbra, que en la teoría ha de rodear y encerrar á la Sombra verdadera, acompaña por ambos lados á las dos rayas negras de la Sombra.

Quando se recibe la Sombra bastante cerca del cilindro, y todavía no ha degenerado en falsa penumbra; se ven al rededor de la verdadera penumbra por ambos lados y afuera, dos rayas de una luz mas brillante, que es la misma que viene directamente del Sol; y estas dos rayas se debilitan alejándose.

Maraldi, para explicar este fenómeno, pretende que los rayos de luz que rozan y tocan al cuerpo opaco, y que deberian encerrar á la Sombra, no continúan su camino en línea recta despues de haber rozado con el cuerpo, sino que se quiebran y doblan hácia el cuerpo; de modo que entran en el espacio en que no debiera haber luz alguna, si los rayos continuasen su camino en línea recta. Compara los rayos de luz á un fluido que encuentra un obstáculo en su curso, como el agua de un rio, que da contra el pilar de un puente, y que gira en parte al rededor de este pilar, de modo que entra en el espacio en que no deberia entrar, si siguiera la direccion de las dos tangentes del pilar. Segun *Maraldi* los rayos de luz giran del mismo modo al rededor

de los cilindros y de los globos; de lo que resulta, 1.^o que la *Sombra* real ó el espacio enteramente privado de luz se extiende mucho menos que á la distancia de 110 diámetros: 2.^o que los dos bordes ó arcos del cilindro al rededor de los quales giran los rayos, como de ningun modo son iluminados, deben arrojar siempre una *Sombra* verdadera; y he aquí las dos rayas negras que encierran la falsa penumbra, y cuya anchura nada puede variar. Como estos bordes son superficies físicas que, por sus desigualdades causan reflexiones en los rayos; estos rayos reflexos que caen fuera de la verdadera penumbra, juntándose con la luz directa que tambien cae en ella, forman una luz mas resplandeciente que la luz directa. Esta luz se debilita alejándose, porque una misma cantidad de rayos ocupa siempre mayor extension, pues los rayos que han caído paralelos sobre el cilindro van apartándose despues de la reflexion.

Empleando globos en lugar de cilindros, la *Sombra* desaparece mucho antes, á saber á 15 ó 16 diámetros; en cuyo caso se muda en una falsa penumbra, rodeada de un anillo negro circular, despues de un anillo de verdadera penumbra, y en seguida de otro anillo de luz muy resplandeciente. La falsa penumbra desaparece á 110 diámetros, y el anillo que la rodea se muda en una mancha negra y obscura: mas allá de esta distancia, no se ve mas que la penumbra; y *Maraldi* cree que la razon por que la *Sombra* desaparece mucho antes con globos que con cilindros, es porque la figura de los globos es mas á propósito para hacer que giren los rayos de luz, que la figura del cilindro.

Luego la *Sombra* de la Tierra solo se extiende á 15 ó 16 diámetros; y así no es de extrañar que la Luna no se obscurezca totalmente en los eclipses: es así que hemos visto que la falsa penumbra siempre está rodeada de un anillo negro, hasta la distancia de 110 diámetros: luego, segun este experimento, parece deberia seguirse que la Luna deberia parecer totalmente obscurecida al principio y al fin del

del eclipse; lo qual se opone á las observaciones.

Maraldi, para explicar este hecho, dice que la atmósfera de la Tierra ha de tener su *Sombra* en el lugar en que deberia hallarse el anillo negro; y como esta *Sombra* es muy clara, á causa de la gran cantidad de rayos que dexa pasar la atmósfera, debe, segun él, iluminar al anillo obscuro, y volverlo casi tan luminoso como la falsa penumbra. Pero, atendida esta explicacion, la pretendida claridad del anillo negro deberia ser tanto menor quanto mayor fuese la distancia; y sin embargo las observaciones y la teoría prueban que la penumbra es tanto mas clara quanto mayor es la distancia. *Maraldi* no se desentiende de esta objecion; y para responder á ella cree debe esperar observaciones mas decisivas acerca de la diferente obscuridad de la Luna eclipsada. Sea de esto lo que se fuere, y sea qual fuere la *Sombra* de la Tierra, las experiencias que acabamos de referir no son menos ciertas y curiosas.

El *P. Grimaldi* fue el primero que observó que introduciendo la luz del Sol por un agujero hecho en la ventana de un quarto obscuro, la *Sombra* de los cuerpos delgados y cilíndricos, como un pelo, una aguja &c. expuestos á esta luz, era mucho mayor de lo que deberia ser, si los rayos que rozan con este cuerpo y deben terminar su *Sombra*, siguieran exáctamente la línea recta; fenómeno que despues observó *Newton*. El *P. Grimaldi* lo atribuye á una difraccion de los rayos; es decir, pretende que los dos rayos extremos que encuentran al cuerpo y son subtangentes no siguen esta direccion de las tangentes, sino que se apartan afuera, como si huyeran de los bordes que han encontrado; cuya explicacion adoptó *Newton*, habiendo manifestado que se conciliaba con su sistema general de la atraccion; pero *Maraldi*, despues de haber repetido estos experimentos, creyó debia dar otra que puede verse en las *Memorias de la Academia de 1723*. Aquí nos contentaremos con decir que estos experimentos y la explicacion que da, dicen mucha relacion con lo que hemos referido

acer-

acerca de los globos y de los cilindros, y con la explicacion que este mismo autor da de ellos. (*Vease DIFRACCION.*) Hasta aquí hemos supuesto que los puntos que se hallan dentro de la *Sombra* de un cuerpo estan absolutamente privados de luz; lo qual es cierto matemáticamente, considerando solo un cuerpo aislado; pero no sucede así en la Naturaleza: hablando físicamente puede considerarse la *Sombra*, como una luz menor; en cuyo caso no es una nada como las tinieblas. Ciertas leyes invariables, tan antiguas como el mundo, hacen que la luz resalte de un cuerpo sobre otro, desde este sucesivamente sobre un tercero, continuando despues sobre otros, como por otras tantas cascadas; pero siempre con nuevas degradaciones desde una caída á otra. Sin ese auxilio de estas sabias leyes, todo lo que no se halla inmediatamente y sin obstáculo debaxo del Sol se hallaria en una perfecta noche; el tránsito del lado de los objetos que está iluminado al que no dé el Sol, seria en toda la Naturaleza como el paso de fuera de la Tierra al interior de los subterráneos y cavernas; pero, por un efecto de los poderosos resortes que Dios hace que jueguen en cada substancia ligera, empuja á todos los cuerpos á que llega, y es repelida por ellos, tanto por su resorte, como por la resistencia que allí experimenta; ella salta de encima de los cuerpos que ha herido é iluminado con su impresion directa; desde estos llega á los inmediatos; y sin embargo de que pasa de este modo de unos á otros con una nueva pérdida, nos manifiesta tambien á los que no estaban vueltos hácia el Sol.

* **SOMNAMBULO.** Dase este nombre á personas que se levantan soñando y hacen, durmiendo, cosas que algunas veces no se atreverian á executar estando muy despiertas.

Entre los innumerables exemplos que se oyen y leen sobre este punto, insertaremos el siguiente que podrá gustar á nuestros lectores, y se ha extractado del Diccionario Enciclopédico. El Arzobispo de Burdeos, dice el Autor de este Artículo, me contó que hallándose en el Seminario co-

no-

noció á un jóven eclesiástico que era *Somnábulo*: deseoso de conocer la naturaleza de esta enfermedad, iba todas las noches á su quarto, despues que se habia dormido; habiendo visto entre otras cosas que el eclesiástico se levantaba, tomaba papel, componia y escribia sermones: despues que habia escrito una cara, lo volvía á leer de arriba abaxo, si así puede llamarse esta accion sin el auxilio de la vista: quando le disgustaba alguna cosa, la borraba, y ponía encima las correcciones con mucha exáctitud. Vi el principio de un sermon que escribió durmiendo; parecióme muy bien hecho, y escrito con bastante correccion; pero noté una enmienda que no me asombró poco: habiendo puesto en un lugar *ce divin enfant*, creyó al volverlo á leer que debia substituir la palabra *adorable* á *divin*; para lo qual borró esta última voz, y exáctamente colocó encima la primera: notó despues que el *ce* que estaba bien colocado antes de *divin*, no iba bien con *adorable*; añadió con mucha destreza una *t* al lado de las letras anteriores, y se leía *cet adorable enfant*. La misma persona, testigo ocular de estos hechos, para asegurarse de si este *Somnábulo* veia, le puso un carton debaxo de la barba; de modo que no pudiese ver el papel que estaba sobre la mesa; pero siguió escribiendo sin advertirlo. Queriendo despues averiguar de qué modo juzgaba de la presencia de los objetos que le estaban á la vista, le quitó el papel en que escribia, y le substituyó otro diferentes veces; pero siempre lo conoció, porque eran de magnitud desigual; pues habiendo hallado un papel perfectamente semejante, le tomó por el suyo, é hizo las enmiendas en los lugares correspondientes al que se le habia quitado, por cuya estratagemata ingeniosa pudieron juntarse algunos de sus escritos nocturnos. Lo que mas asombró fue la música que escribió en estas circunstancias, sirviéndole de regla una caña con la que tiraba á iguales distancias las cinco líneas que se requieren: ponía la llave en sus debidos lugares, los bemoles y los sostenidos: señalaba las notas que primero hacia blancas; y

Tomo VIII.

Iii

des-