

cen, sino también por su actividad calorífica, por la propiedad que tienen de calentar los cuerpos, elevando su temperatura. Pero los grados de esta propiedad no crecen al par de los de la intensidad luminosa, sino que aumentan conforme va disminuyendo la refrangibilidad. Además, lejos de quedar limitada esta actividad calorífica á las radiaciones luminosas, traspasa sus límites á una y otra parte, y llega á su máximo fuera del espectro, más allá del rojo. En una palabra, cuando á causa de una disminución suficiente de refrangibilidad han cesado las radiaciones de impresionar nuestra retina, ejercen todavía su acción en los cuerpos, siendo entonces esta acción exclusivamente calorífica.

Hay aún otra propiedad que caracteriza á las radiaciones solares, propiedad que se llama química, porque consiste en combinaciones ó descomposiciones de ciertas sustancias, calificadas por esto de *impresionables*. Sólo que la intensidad de esta actividad especial, variable con la refrangibilidad, lo es también cuando se expone á los rayos solares tal ó cual sustancia particular. Generalmente se reconoce que las radiaciones luminosas son también químicas, que siguen á corta diferencia la misma ley de variación de intensidad. Pero hacia la parte menos refrangible del espectro hay radiaciones oscuras casi exclusivamente químicas.

Esta composición compleja de la radiación solar, esta triple propiedad calorífica, luminosa y química de los rayos desigualmente refrangibles, ¿consiste en que hay en realidad rayos de tres distintas clases, produciendo los unos calor, los otros luz y los otros actividad química, ó las mismas radiaciones elementales son las que ocasionan estos tres efectos?

Los físicos admiten esta última hipótesis. En breve veremos las nuevas razones en que se apoyan para admitir la identidad de las tres radiaciones; pero desde luego podemos indicar que es imposible distinguir las por su refrangibilidad, puesto que todas siguen la ley de Descartes, y que allí donde el análisis espectral marca un vacío ó una raya oscura en el espectro luminoso, lo hay también para los espectros calorífico ó químico.

CAPITULO X

MANANTIALES DE LUZ.—ORIGEN Y TRANSFORMACIONES DE LAS RADIACIONES

I

LA INCANDESCENCIA.—INCANDESCENCIA DE LOS SÓLIDOS Y DE LOS LÍQUIDOS

Todos los cuerpos, sólidos, líquidos y gaseosos, elevados á un alto grado de temperatura, se vuelven luminosos en la obscuridad, hallándose entonces en estado de *incandescencia*. Este fenómeno va acompañado con frecuencia de combinaciones químicas que resultan principalmente entre uno ó muchos elementos del cuerpo y el oxígeno del aire, habiendo entonces combustión. Diariamente presenciamos ejemplos de casos de este género. El fuego no es otra cosa sino la incandescencia de un cuerpo, es decir, el desprendimiento de luz y calor del seno de una masa de materias orgánicas ó minerales, cuya temperatura se ha elevado hasta cierto grado. Además de las partes sólidas, convertidas en luminosas, como brasas de leña ó de carbón, de hulla ó de cok, el fuego contiene llamas más ó menos vivas, esto es, gases incandescentes.

Pero hay que distinguir entre la incandescencia simple de los sólidos y aun de los líquidos, que puede presentarse sin que haya combustión ó cuando la combustión propiamente dicha ha cesado, y la incandescencia producida por las combinaciones químicas. La mayoría de los metales se enrojece al fuego; pero unos, antes de tornarse luminosos, cambian de estado y se funden, al paso que el metal líquido se vuelve rojo á su vez, sin que haya habido combustión. Las piedras, el vidrio, la tierra, etc., se enrojecen del mismo modo.

En cambio tenemos un ejemplo de un metal hecho incandescente por la combustión, inflamando una espiral de acero en una campana llena de oxígeno y de la cual brotan chispas brillantes (fig. 526). Una combinación química, la del oxígeno con el hierro, es la que produce en este caso la elevación de temperatura.

Lo contrario sucede con la madera y otras sustancias orgánicas y vegetales, que se descomponen ardiendo y desprenden gases que arden también en forma de llamas más ó menos vivas y coloreadas. El carbón vegetal y el cok arden casi sin llama; verdad es que estos cuerpos han sufrido ya una combustión parcial.

¿Se vuelven luminosos todos los cuerpos á una misma temperatura? Si así es, ¿á qué temperatura empiezan á emitir bastante luz para ser luminosos en la obscuridad? Admitáse generalmente que todos los cuerpos comienzan á emitir luz entre los 500° y 600° centígrados, luz al principio débil y de color rojo oscuro. Pero Becquerel ha hecho algunos experimentos relativos á este asunto, de los cuales resulta que “sin incurrir en gran error se puede adoptar un término comprendido entre los 480° y 490° como límite en el que empiezan los cuerpos sólidos á emitir algún indicio de luz en la obscuridad por la acción del calor, ó bien en números redondos el de 500°, que es el término generalmente admitido como el límite en que las sustancias empiezan á hacerse visibles en un recinto escasamente alumbrado.” El mismo límite de temperatura, ó sea el de 500°, es el que marca la incandescencia de los cuerpos muy poco luminosos, por ejemplo la de los gases y las llamas, de que hablaremos en el artículo siguiente.

Si se eleva más y más la temperatura sobre el referido límite de 500°, la intensidad de la luz emitida va aumentando, y su color cambia tornándose cada vez más blanco, lo que equivale á decir que se compone de rayos más refrangibles; “de suerte, dice Becquerel, que á una temperatura que no exceda mucho de la de fusión del oro, la luz emitida es ostensiblemente blanca y da rayos comprendidos entre los límites de refrangibilidad de las rayas oscuras A y H que terminan los dos extremos visibles del espectro solar.”

Véase, por lo que atañe al platino, á qué temperaturas se obtienen las diversas tintas que se suceden desde el rojo oscuro hasta el blanco más intenso, y que se han determinado, con sólo una diferencia de 50°, con el pirómetro de Pouillet:

Rojo naciente..	525°	Anaranjado oscuro..	1100°
Rojo oscuro..	700	Anaranjado claro..	1200
Cereza naciente..	800	Blanco..	1300
Cereza..	900	Blanco mate..	1400
Cereza claro..	1000	Blanco deslumbrador..	1500

De los experimentos hechos por Becquerel resulta que cierto número de cuerpos opacos, los metales inoxidables como el platino y el paladio, el carbón, el asbesto y la cal, tienen casi la misma potencia de radiación á medida que la temperatura se eleva; los metales oxidables, como el cobre, están dotados hasta sus puntos de fusión de

menor radiación, lo cual consiste sin duda en la capa de óxido que los rodea; pero, llegados al punto de fusión, la intensidad de su luz es casi igual á la del platino. En cambio, la plata incandescente da siempre una luz más viva y blanca que la de este último metal.

Los físicos Draper, Zoellner y Becquerel han tratado de valuar la intensidad de la luz emitida por el platino ó cualquier otro cuerpo incandescente á temperaturas cada vez más elevadas, y de sus experimentos resulta que dicha intensidad crece con rapidez suma. "Representando por la unidad, dice E. Becquerel, la intensidad de la luz emitida en el momento de la fusión de la plata (916°) por un cuerpo como el platino ó un fragmento de magnesia ó de cal puesto á su lado, á 600° no hay más que unas 3 milésimas de esta intensidad luminosa, á 700° 2 céntimos, á 800° un octavo, y á 900° los tres cuartos. Tomando por punto de comparación la fusión del oro (1037°), la

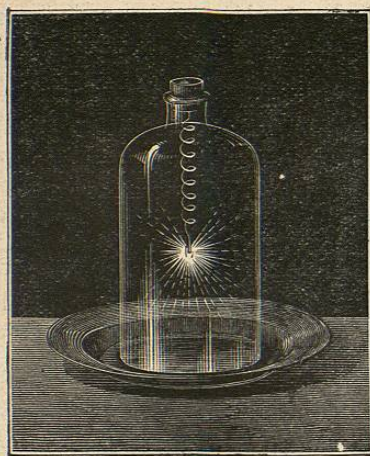


Fig. 526.—Combustión del hierro en el oxígeno

intensidad luminosa por radiación sería más de 8 veces mayor que refiriéndola á la fusión de la plata, y 69 veces refiriéndola á la del cobre: á $1,200^{\circ}$ esta intensidad sería 147 veces mayor; á $1,500^{\circ}$, en esta hipótesis, cerca de 29,000 veces, y á $2,000^{\circ}$, límite de las observaciones con el carbón polar positivo de una pila, 191 millones de veces; pero estos dos últimos números suponen que la ley de crecimiento de la intensidad luminosa sigue siendo la misma más allá de $1,200^{\circ}$, lo cual no está probado.,

Circunscribiendo al límite de los experimentos los resultados obtenidos de tal suerte, tenemos que la luz emitida por un cuerpo sólido incandescente es 45,900 veces más intensa á los $1,200^{\circ}$ de temperatura que á los 600° , siendo esta última la del rojo obscuro.

La luz emitida por un sólido ó un líquido incandescente goza de una propiedad característica puesta en evidencia por Arago, y de la que trataremos en otro capítulo; presenta indicios de polarización bajo un ángulo suficientemente pequeño. "Se ha creído largo tiempo, dice, que la luz que emana de todo cuerpo incandescente llega al ojo en estado de luz natural, cuando en su camino no se ha reflejado parcialmente, ni refractado en demasía; lo cual es un error, porque yo he reconocido que la luz que emana, bajo un ángulo suficientemente pequeño, de la superficie de un cuerpo sólido ó de un líquido incandescente, aun cuando esta superficie no sea enteramente lisa, presenta indicios evidentes de polarización, de modo que al penetrar en el antejo polariscópico se descompone en dos haces coloreados. Por el contrario, la luz que emana de una substancia gaseosa inflamada, de un gas parecido al que alumbrá nuestras calles, se halla siempre en su estado natural, cualquiera que sea su ángulo de emisión.,

Otro carácter distintivo de la luz de los sólidos y de los líquidos incandescentes consiste en que se componen de rayos que tienen, en los límites extremos de su refrangibilidad, todas las longitudes de onda; en otros términos, su espectro es continuo; no contiene rayas oscuras, ni rayas ó bandas brillantes (1).

(1) Anteriormente hemos visto que hay una ó dos excepciones, el erbio por ejemplo, cuya luz da un espectro discontinuo de rayas brillantes como los de los vapores metálicos.

II

INCANDESCENCIA DE LOS GASES

Un chorro de gas hidrógeno puro que arda en el aire, ó también en el oxígeno, da una luz de escasa intensidad, por más que su temperatura sea muy elevada; pero si se introduce en él un alambre de platino, un fragmento de cal ó de magnesia, desarróllase al punto una luz deslumbradora, originada por la incandescencia de las materias sólidas metálicas ó refractarias, elevadas por el gas á un excesivo grado de temperatura.

Aun cuando los gases se tornan luminosos como los cuerpos líquidos ó sólidos

á los 500° próximamente de temperatura, tienen por lo regular una potencia de radiación más débil que dichos cuerpos; la elevación de temperatura aumenta en corta proporción su energía lumínica, de suerte que la llama que puede convenir perfectamente como foco de calor, apenas es sensible como foco de luz. Tal es la llama del mechero de Bunsen, alimentada por el gas del alumbrado mezclado con aire; esta llama es tan caliente como poco luminosa.

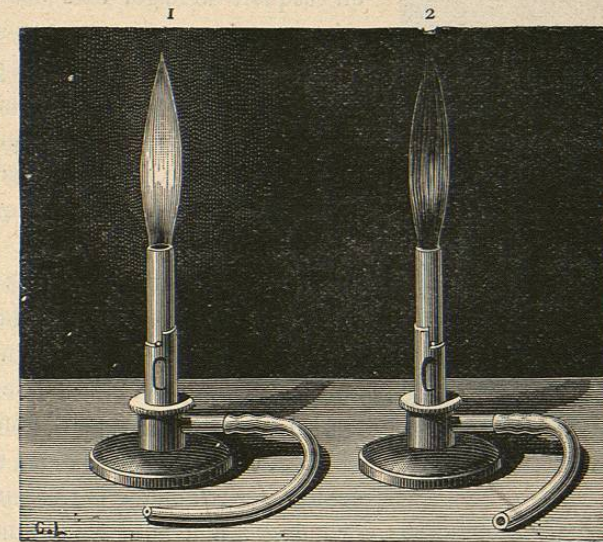


Fig. 527.—Llama de hidrógeno carbonado: 1, luminosa y poco caliente; 2, muy caliente y poco luminosa

La llama del óxido de carbono es también, como la del hidrógeno, de escasa intensidad, y su tinta ligeramente azulada. La del soplete de gas oxi-hidrógeno, cuya temperatura llega á $2,500^{\circ}$, apenas es visible á la luz del día.

E. Becquerel atribuye á la transparencia de las llamas ó de los gases incandescentes su reducida potencia iluminadora, cuando no contienen ningún cuerpo sólido en suspensión. "La llama que resulta de la combustión del hidrógeno puro es muy poco luminosa, porque sólo da lugar á la producción de un cuerpo transparente, es decir, al vapor de agua; pero si en el interior de esta llama se introduce un cuerpo opaco, como platino, cal ó magnesia, al punto se caldea este cuerpo sólido y da una luz vivísima. Si se mezcla el hidrógeno con gas carbonado, la llama que esta mezcla produce en el aire se torna lumínica á causa de la presencia de partículas carbonosas que proceden de la descomposición del gas y que arden al mismo tiempo que él.,

De todos estos hechos y de su interpretación se deduce la explicación de la potencia lumínica de las llamas, dada por primera vez por Davy. Adúcese también en apoyo de esta teoría una serie de experimentos de los cuales vamos á indicar los más notables.

Si antes de inflamar el hidrógeno puro se hace pasar este gas por la bencina, que es un carburo de hidrógeno muy volátil, resulta, en lugar de una llama apenas visible, otra brillantísima; al atravesar el gas el líquido carburado, ha arrastrado consigo par-

tículas en estado de vapor, que descompuestas por la elevada temperatura se precipitan y vuelven incandescentes.

El análisis de la llama de una bujía es una prueba de la misma verdad. En el centro hay un cono C, relativamente obscuro y de baja temperatura, toda vez que se puede introducir en él un grano de pólvora sin que arda; este núcleo está formado de vapor de ácido esteárico. Alrededor de este cono hay una envoltura A que forma la parte más luminosa de la llama, y donde la actividad de la combustión descompone los car-

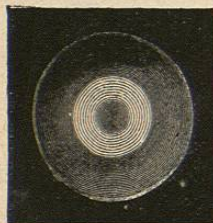


Fig. 528.—Estructura de la llama de una bujía y corte de la misma llama

buos hidrogenados, precipitando en estado de tenue polvo el carbono cuya alta temperatura determina la incandescencia. El hidrógeno rodea en seguida dicha envoltura con otra B, oscura, pero muy caliente, y por último en D, en la base de la llama, hay un casquete de fulgor azul obscuro, que se atribuye á la reacción de un exceso de aire puro sobre el gas hidrocarbonado.

Poniendo sobre la llama un pedazo de tela metálica, se nota directamente la presencia del carbón en la parte luminosa por el depósito de negro de humo que se forma en la tela en la zona correspondiente. Obtiénese análogo resultado acercando á la llama un trozo de porcelana blanca, en el cual se forma un depósito de hollín.

Lo propio ocurre con el gas del alumbrado; pero si este gas se mezcla con aire antes de la combustión—como en el mechero de Bunsen,—arde casi sin dar luz, y por consiguiente, en la tela metálica ó en el trozo de porcelana no aparece entonces ningún depósito de negro de humo ó de hollín.

Esta teoría de Davy, hasta el presente por todos admitida, explica perfectamente la radiación de las llamas en que, precipitándose á una alta temperatura, ciertas partículas sólidas se vuelven incandescentes. La viva luz del fósforo, del zinc y del magnesio tiene también así su explicación; lo propio acontece con la luz del arco voltaico, que resulta de la radiación del carbono producida, no ya por una combinación química, sino por la extraordinaria intensidad de calor que el paso de la electricidad desarrolla entre los electrodos.

Sin embargo, los recientes experimentos del químico inglés Frankland parecen probar que la teoría de Davy no basta para explicar la potencia lumínica de las llamas; á lo menos, dichos experimentos prueban que los gases incandescentes pueden adquirir una facultad de radiación considerable sin que haya partículas sólidas en suspensión, y que basta para ello que la presión aumente. Por ejemplo, una mezcla de oxígeno y de hidrógeno metida en burbujas de jabón da cuando se la inflama una fuerte explosión, pero también una luz muy débil. El mismo experimento hecho en una vasija resistente en que no puede efectuarse la expansión producida por la combustión, da una luz muy viva. Se obtienen análogos resultados con el hidrógeno y el cloro, con el óxido de carbono y el oxígeno.

Otro experimento de Frankland, en contradicción con la teoría de Davy, es el siguiente: el arsénico metálico arde en el oxígeno con luz blanca muy intensa, cuya temperatura no excede de 218°; luego la radiación no dimana de partículas sólidas, pues éstas no se hacen incandescentes sino á los 500°. Sin embargo, el espectro de la luz es

continuo. Iguales resultados le dieron el bisulfuro de carbono quemado en el oxígeno, y el bióxido de nitrógeno en el vapor de bisulfuro de carbono.

El experimento siguiente patentiza plenamente la influencia del aumento de presión en la potencia lumínica de los gases. El hábil químico citado ha hecho arder en oxígeno chorros de hidrógeno y de óxido de carbono, aumentando gradualmente la presión hasta 20 atmósferas. “A dos atmósferas, el poder luminoso, débil al principio, crece ostensiblemente; á diez, la luz emitida por un chorro de una pulgada de longitud es muy suficiente para que se pueda leer un periódico á dos pies de distancia de la llama, y sin que detrás de ésta haya ningún reflector. Examinado el espectro de esta llama con el espectroscopio, es brillante y perfectamente continuo desde el rojo hasta el morado.”

Aunque Frankland no niega en absoluto que la temperatura influya en el poder luminoso de la llama, cree que este poder resulta principalmente de la densidad de los cuerpos, que crece con el aumento de presión. “Puede decirse que los grados relativos de brillo luminoso son casi proporcionales á las densidades relativas de los diferentes productos de la combustión.”

Sainte-Claire Deville, participando hasta cierto punto de las opiniones del químico inglés, cuyos experimentos estima en alto grado interesantes, las interpreta de distinto modo. En su concepto, el principal efecto del aumento de presión debe ser el de elevar la temperatura de la combustión, y distingue las llamas en *brillantes é iluminadoras*.

Una luz monocromática puede ser brillante, para lo cual basta sean de gran intensidad los rayos que de ella emanan. Una luz es iluminadora cuando posee el mayor número posible de rayos de varias refrangibilidades, como la luz del Sol, y cuando, como ésta, es lo más blanca posible. Por otra parte, los experimentos de Fizeau, Wolf y Diacon prueban que, conforme se eleva la temperatura de una llama monocromática como la del sodio, que es amarilla, ó la del litio, que es roja, el número de rayas brillantes de su espectro va creciendo. Estas dos luces se vuelven blancas y acaban por contener rayas brillantes de todo género de refrangibilidad: si el metal arde á elevada temperatura, entonces se tornan iluminadoras.

En resumen, según Sainte-Claire Deville, el brillo de una llama depende á la vez del número y disposición de las rayas específicas que las substancias en ella existentes puedan dar en el análisis espectral, de la temperatura á que se pongan estos elementos, y por último de su densidad.

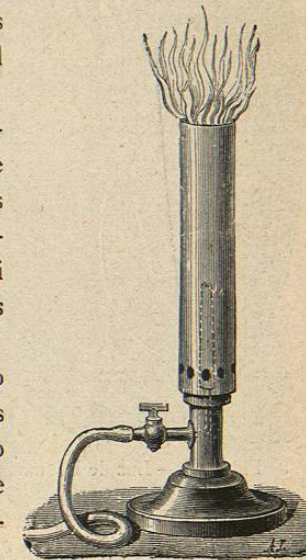


Fig. 529.—Mechero de Bunsen

III

LUCES ARTIFICIALES DE GRAN INTENSIDAD. — LUZ DRUMMOND; LUZ DE MAGNESIO.
INTENSIDAD LUMINOSA DEL ARCO VOLTAICO

Ninguna de cuantas luces se pueden producir artificialmente puede competir en intensidad intrínseca—prescindiendo de la absoluta ó total que es indiscutible—con la luz solar. Sin embargo, mediante los procedimientos antes indicados se obtienen luces deslumbradoras.

Tal es la de Drummond, que resulta de la incandescencia de un cilindro de cal en la llama de una corriente de gas oxhídrico, es decir, de una mezcla de gas oxígeno y de gas hidrógeno. En vez del cilindro de cal se puede poner un trozo de magnesia. Tan

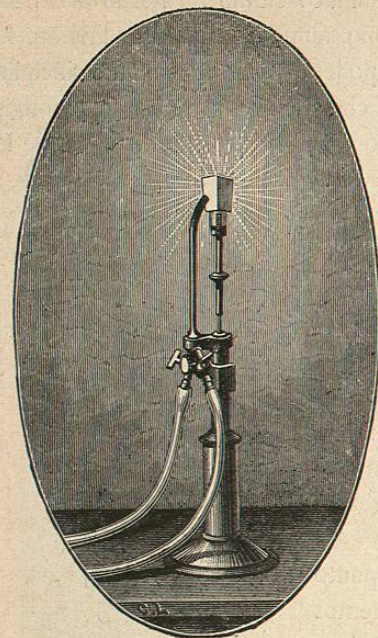


Fig. 530.—Luz de Drummond

luego como la llama de la corriente gaseosa ha caldeado una porción suficiente del fragmento sólido, la luz es deslumbradora. Becquerel ha valuado la cantidad de luz producida por un aparato que consumía 3 1/2 litros de gas por minuto, y la ha considerado equivalente á 20 mecheros Carcel, es decir, á 160 ó 180 bujías. Pues tan intensa luz, proyectada sobre el disco solar, parece una mancha negra.

La luz oxhídrica es rica en rayos amarillos y rojos, y contiene los azules y morados en menor proporción que los focos de que vamos á hablar.

Un alambre de magnesio que arda en el aire ó en el oxígeno da una luz vivísima y de extraordinaria blancura, que contiene en abundancia los rayos más refrangibles, los más activos bajo el punto de vista químico. Así es que se han ideado lámparas que queman el magnesio de un modo continuo, á cuyo efecto hay en ellas un mecanismo de relojería que desarrolla el alambre á medida que se va consumiéndolo.

Se emplea para sustituir en ciertos casos á la luz solar, especialmente para sacar fotografías en los subterráneos, en las cuevas y en las minas.

Un alambre de magnesio de tres milímetros de diámetro que se haga arder al aire libre tiene una potencia luminosa comparable á la de 74 bujías; Bunsen ha averiguado que un decigramo de magnesio que arda en el oxígeno da una luz equivalente á la de 110 bujías, aunque la superficie incandescente del metal sea siete veces menor que la llama de una bujía. Por consiguiente, el brillo intrínseco de la luz que produce el magnesio es por lo menos 700 veces igual al de una bujía.

Finalmente, según los experimentos de Becquerel, el arco voltaico producido por una pila de ácido nítrico de 100 pares da una luz cuya potencia lumínica equivale á la de 1,000 bujías. Poniendo semejante foco de luz á un metro de una pantalla, la superficie de ésta estaría unas 75 veces menos alumbrada que por el Sol en el zenit, y unas 60 menos que por el mismo astro á 30 grados sobre el horizonte. Pero se ha conseguido aumentar mucho esta intensidad luminosa, y tanto que, comparando Fizeau y Foucault el brillo del arco voltaico con la luz del Sol en un día despejado del mes de abril, han visto que era

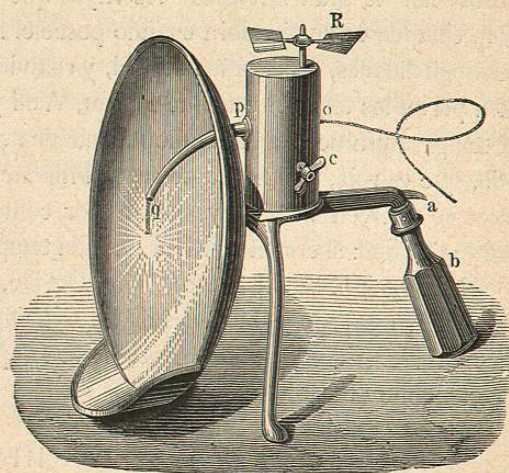


Fig. 531.—Lámpara de magnesio

solamente dos veces y media menor que la del astro radiante. La luz producida así era la del carbón positivo atravesado por la corriente de una pila formada por tres series de cuarenta y seis pares Bunsen.

IV

FOSFORESCENCIA

La incandescencia, es decir, la radiación luminosa desarrollada por una temperatura muy alta, acompañada ó no de combinaciones químicas, no es el único modo de producción de la luz. Los cuerpos pueden adquirir luminosidad y ser visibles en la obscuridad en ciertas circunstancias que vamos á estudiar ahora.

En 1677, un alquimista de Hamburgo llamado Brandt descubrió, por un procedimiento que al principio guardó secreto (1), un nuevo cuerpo dotado, entre otras propiedades singulares, de la facultad de emitir, cuando se le pone al aire, una leve huma-

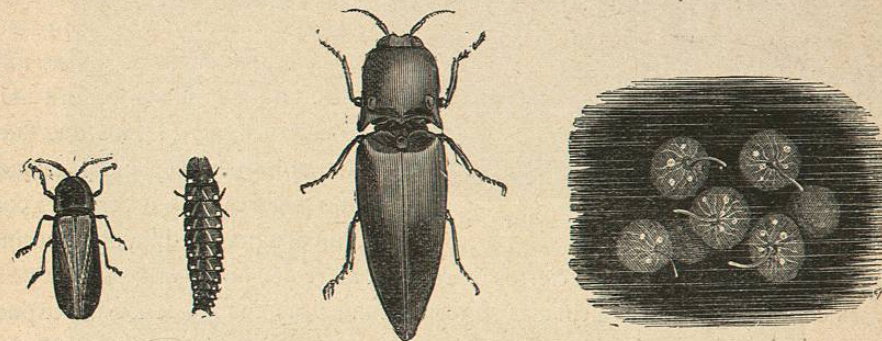


Fig. 532.—Lampiris ó gusano de luz: 1, insecto macho; 2, hembra

Fig. 533.—Piróforo noctiluco

Fig. 534.—Noctiluco miliar

reda que se renueva continuamente: este vapor es luminoso en la obscuridad, por cuya razón se aplicó el nombre de *fósforo* (de *fos*, luz, y *foros*, que lleva) á dicha substancia, que es uno de los sesenta y seis cuerpos simples conocidos en la actualidad. Si se trazan con un cilindro de fósforo algunos signos en una pared, aparecen como rastros luminosos en la obscuridad, y no cesan de lucir hasta que ha desaparecido por completo la materia fosforada, ya sea por combustión lenta ó por evaporación.

Mucho antes de que se descubriera este cuerpo, dábase el nombre de fósforos á todas las substancias que, como ésta, emiten luz sin calor perceptible. Tales son las ramas que la humedad hace entrar en descomposición, los peces de mar muertos, pero no putrefactos, cuyo fulgor se comunica al agua del mar cuando se los agita algún tiempo, y por último un gran número de substancias minerales, cuando se las golpea ó frota ó se las expone á los rayos solares.

Los físicos dan el nombre de *fosforescencia* á esta emisión de luz, espontánea ó artificial.

La fosforescencia no es peculiar de las materias inorgánicas ó privadas de vida. Cuando nos paseamos por el campo en una calurosa noche de junio ó julio, no es raro divisar sobre la hierba ó entre las malezas una porción de lucecitas que brillan como

(1) Pocos años después que Brandt, Kunckel halló el medio de obtener el fósforo. Un siglo después, en 1769, Scheele demostró que los huesos del hombre y de los animales lo contienen en abundancia.