

LOS PECES ELÉCTRICOS.



HISTORIA.—Hace mucho tiempo que los pescadores tienen noticia de la existencia de unos peces que producen por su contacto una fuerte conmocion; pero la naturaleza de ésta no era conocida. Platon y Aristóteles ¹ dicen que unos peces que llaman *Nάρχη*, entorpecen por medio de sus venenos á los pescados que desean tomar ó á los pescadores que intentan apresarlos. Claudio se ocupa tambien de un pez el cual trasmite á la mano un frío muy intenso desde que se siente atado al sedal. Los nombres que se les han dado á estos peces han sido tomados de los efectos que originan por sus descargas. En el lenguaje científico se les llama *Torpedo*, porque la conmocion que produce la torpila, causa cierto entorpecimiento ó estupor. En las costas del Mediterráneo se les llama *tembla*, y en la América del Sur, *temblador*; en otros países llevan los nombres de *pescas-*

¹ Citados por M. Milne-Edwards, *Leçon sur la physiologie et l'anatomie*, etc., t. XIII, p. 326.

dos mágicos y amfish. Los Arabes llaman *Raad* al siluro del Nilo, lo cual significa temblor (ó quizás trueno).¹

El primero que estudió y descubrió el órgano eléctrico de las torpilas fué Redi. Despues de él, su alumno Lorenzini,² hizo interesantes observaciones, las cuales permanecieron por mucho tiempo casi ignoradas. Estos autores descubrieron los órganos eléctricos, y segun ellos, son dos cuerpos semi-lunares (*due corpi ó muscoli che si siano di figura falcate*). En la descripción de Lorenzini se encuentra un hecho, el cual se ha puesto en duda, á saber: que si se coloca á una torpila entre algunos pescados muertos, ésta les revive al tocarlos. Godino, que refiere esta historia, agrega aún que las torpilas, segun los Etiopes, pueden ahuyentar á los espíritus (1615).

Estas nociones anatómicas no sirvieron para llegar al conocimiento de la naturaleza de la descarga en la torpila. Redi y Lorenzini la consideran como producida por la emision de corpúsculos estupefactivos. Berrelli compara dicha descarga, y con razon, al choque que produce el codo contra una mesa, y supone que el temblor del animal se comunica al hombre. Kæmpfer³ parece que tuvo mejor idea de este fenómeno. Compara el efecto de la torpila al del relámpago, agregando, que se puede evitar el choque reteniendo la respiracion (1712). Adanson, en su Historia natural del Senegal, y Muschembrock, Allemand, Vander Lott y Bancroft,⁴ se sorprenden al ver que los fenómenos producidos por diversas Gymnotas y Malapteruros, son idénticos á los de la electricidad; pero todas las opiniones emitidas hasta á fines del siglo XVIII no fueron más que vanas presunciones.

Wahsh fué el primero que dió la demostracion científica de la identidad entre la conmocion de la torpila y la conmocion eléctrica.⁵ Este sabio hizo sus experiencias en la Rochelle, ante los miembros de la Academia de ese lugar y de Seignette, secretario general, haciendo uso de torpilas pescadas cerca de la isla de Ré. Escogiendo para la torpila los mismos conductores que para la botella de Leyde, y haciendo pasar la descarga por el cuerpo de diversas personas, produjo los mismos efectos que se obtienen por la descarga de una batería eléctrica. Todos los cuerpos que interceptan la accion de la electricidad, debilitan la accion de la torpila, y recíprocamente, todos los cuerpos que facilitan el paso de la electricidad, son conductores para la accion de la torpila.

1 Citamos aún, entre los varios nombres vulgares, las palabras de diferentes patueses: *Tremblard*, *Tremblant*, *Trembleux*, *Endormidocyda*, *Dourmiglouia* y *Tremoulina*.

2 M. Franz Boll ha dado á conocer últimamente las experiencias de Lorenzini, *Ein historischer Beitrag zur Kenntniss von Torpedo*.—*Archiv für Anatomie und Physiologie*, 1874, p. 132.

3 Citado en una carta de Walsh, en Franklin.—*OEuvres de John Hunter*, traduccion francesa, 1843, t. IV, p. 309.

4 Citados por M. Milne-Edwards, loc. cit., p. 328.

5 En sus cartas publicadas en las *OEuvres de Hunter*, traduccion francesa, t. IV, p. 502.—Su primera carta ha sido reimpressa en la *Gazette française* del 30 de Octubre de 1872.

Segun Walsh, Hunter estudió el órgano eléctrico, pero sin hacer ninguna observación fisiológica importante. Por último, John Davy, Blainville y Florian de Belluvue hicieron en 1827 simultáneamente algunas experiencias, las cuales probaron definitivamente que la conmoción de la torpila es de naturaleza eléctrica. Observaron que aparecía una chispa cuando se reunían por medio de dos hilos metálicos las superficies ventral y dorsal del animal. Además, si se hace pasar la corriente por un galvanómetro en el momento de la conmoción, se desvía la aguja imantada.

Desde esta época se han multiplicado las experiencias sobre los peces eléctricos. Los primeros experimentadores fueron Matteuci, y Faraday, en 1838, después Du Bois-Reymond, Armand Moreau, etc. Últimamente, se han adquirido interesantes hechos por las observaciones de Du Bois-Reymond, de Sachs, de Steiner y de Marcy.

ESTRUCTURA DEL APARATO ELÉCTRICO.—Bajo el punto de vista anatómico, las investigaciones de Savi, publicadas en el mismo libro donde están los estudios fisiológicos de Matteuci, han abierto un amplio campo á numerosas observaciones. M. Robin ha demostrado que en las rayas existe un aparato eléctrico análogo al de las torpilas. F. Boll, M. Schulze, M. Ciaccio y M. Ranvier han dado á conocer los caracteres microscópicos del órgano eléctrico; de tal manera que, á pesar de algunas incertidumbres, este curioso órgano es ya bastante conocido en su estructura íntima.

Los peces que poseen órganos eléctricos son desde luego, todos los del género torpila (*Torpedo osculata*, *T. noviliana*, y *T. marmorata*), y del género *Mormyrus*, las *Gymnotas*, los *Malapteruros* ó *siluros eléctricos*, que hay en el Nilo y en el Senegal.

Estos órganos son voluminosos. Segun las investigaciones de M. Steiner, si el peso del órgano es igual á 1, el del cuerpo seria 3, 6, y esto, tanto para los peces grandes como para los pequeños. Así, por ejemplo, para un *T. osculata* de 655 gramos, el peso del órgano eléctrico seria de 170; para otro de 62 gramos, el peso del mismo órgano seria de 17. Dichos órganos eléctricos son dos masas que ocupan todo el espesor del cuerpo del animal, de manera que arriba y abajo, solo están cubiertas por la piel. Estas masas se extienden desde la parte frontal de la cabeza á la abdominal; y están cubiertas con una túnica fibrosa y resistente. La sustancia del órgano es blanda y casi gomosa. Se le encuentra en masas gelatinosas entre unos tabiques prismáticos alveolares, los cuales están unidos unos á otros como las columnas de basalto. Se cuentan próximamente de 500 á 1,200

¹ *Über die Immunität des Zitterrochen*, etc. *Archiv. für Anatomie und Physiologie*, 1874, p. 687. —Segun M. Weyl (*Comptes rendus de l'Acad. de Berlin*, 1881), el peso relativo del órgano eléctrico seria menor.

prismas por órgano. Los de la periferia son un poco más pequeños, y se les puede considerar como prismas en vía de formación. Las investigaciones de M. Schas¹ han probado, sin embargo, la existencia de un aparato embrionario, colocado en la base del aparato adulto, el cual parece servir para la regeneración.

Los nervios que se distribuyen á este órgano son enormes: ningun aparato recibe en el organismo tantos y tan gruesos como el aparato eléctrico. Dichos nervios parten de un ensanchamiento encefálico bastante grueso, que se llama lóbulo eléctrico, y el cual está colocado abajo de los tres lóbulos cerebrales que existen en todos los pescados. Probablemente en los peces que no son eléctricos, no se encuentra el lóbulo cerebral análogo al lóbulo eléctrico. Los nervios se dividen en una infinidad de filamentos y se ramifican entre sí. Unos se terminan por ensanchamiento; otros, al contrario, por anastómosis;² y otros, por último, se les ve terminarse en arborizaciones. Penetran en el órgano por un diafragma constituido esencialmente de tejido conjuntivo. M. Ranvier admite la existencia á este respecto de una placa eléctrica, muy análoga á la placa motriz que se encuentra en los músculos estriados.

En otros peces diferentes á la torpila, las disposiciones del aparato eléctrico son completamente análogas en cuanto á la estructura íntima. Éste siempre está formado de columnas basaltiformes subdivididas en celdillas por tabiques secundarios. En la gymnota, dichas columnas ocupan toda la longitud del cuerpo del animal. En el malapteruro ó siluro, el aparato es más delgado; se extiende tambien sobre toda la longitud del cuerpo. En las rayas, segun M. Robin,³ el aparato eléctrico es fusiforme y está situado en la porcion caudal de cada lado de la columna vertebral. Es de un color gris, semi-transparente, y está atravesado por tabiques de tejido celular, los cuales le dividen en rombos más ó menos regulares.

En todos los peces eléctricos diferentes á la torpila, los nervios no parten directamente del cerebro, sino del primer par raquidiano, en el siluro, y de la medula caudal en la gymnota y en la raya.

Las arterias y las venas de los órganos eléctricos son muy poco voluminosas, sobre todo relativamente á las enormes proporciones de los nervios que allí se distribuyen.

Se habia pensado en llamar pseudo-eléctricos á los órganos de las rayas, pero M. Robin⁴ ha demostrado que éstas producen realmente electricidad, como se puede probarlo por medio de un galvanómetro, ó con una pata galvanoscópica de rana. No se puede establecer una distincion entre los verdaderos y los falsos órganos

¹ *Beobachtungen und Versuche am Gymnotus electricus. Archiv. für Physiologie*, 1877, p. 84.

² Véase á Ranvier, *Leçons sur l'histologie du système nerveux*, t. II, fig. 4, p. 128, fig. 5, p. 143, lámina V, fig. 1 y 2.

³ *Recherches sur un appareil qui se trouve sur les poissons du genre des rayes. Thèse inaugurale de la Faculté des sciences, Paris, 1847.*

⁴ *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, t. I, 1865, p. 589.

eléctricos. Esto debe tenerse presente en el mormyro (*Mormyrus oxihinchus*, *M. cyprinoides*), en el cual se habian descrito los órganos pseudo-eléctricos. M. Robin ha encontrado en estos órganos las mismas propiedades eléctricas que en los de la torpila y de la gymnota.¹

Probablemente siempre que exista un aparato cuya estructura sea igual á la de los aparatos eléctricos conocidos, éste poseerá funciones eléctricas correlativas.

Atribuíanse tambien á otros pescados propiedades eléctricas; pero sin duda las experiencias ó más bien las narraciones de los viajeros no han merecido mucho crédito.²

Algunos insectos tienen la propiedad de producir conmociones eléctricas. Según M. Irrell, el *Reduvius serratus* produce una conmocion cuando se le toca. El mismo efecto causan ciertos escarabajos de la familia de los elaterianos; y algunas orugas de la América del Sur.³ Pero todos estos hechos son bastante hipotéticos y están por elucidarse.

Pocas son las investigaciones que se han hecho acerca de la constitucion química de los órganos. Se ha dicho, é indudablemente sin apoyarse en pruebas, que se asemejan por su constitucion química, al tejido muscular; pero no sabemos que se haya demostrado la existencia en dichos órganos de la miosina espontáneamente coagulable. Se ha encontrado, según parece, creatina, taurina y mucha urea; es decir, productos alterables. En efecto, el órgano eléctrico parece que se altera más pronto que el músculo.

La reaccion que ha obtenido Max. Schulze con el órgano eléctrico fresco y el papel tornasol ha sido ácida. A. Moreau, al contrario, la obtuvo neutra; F. Boll, alcalina; M. du Bois-Reimond⁴ ha visto que es anfotérica, pero que se vuelve ácida cuando se calienta el tejido á 50°. Probablemente la reaccion del órgano eléctrico durante el reposo no es ácida, y aún despues de las descargas repetidas, el tejido eléctrico, mientras el animal está vivo, permanece neutro ó alcalino.

COSTUMBRES DE LOS PECES ELÉCTRICOS.—Las torpilas son peces marinos. Ellas permanecen generalmente inmóviles abajo del agua, ocultas en la arena, y solo se les descubre porque sus ojos son visibles, cuando los opérculos se agitan rítmicamente varias veces por minuto durante la respiracion.⁵ Si algun pescado toca al pasar á la torpila, ésta produce su descarga, y una vez que por este medio ha entorpecido á su víctima, se la traga inmediatamente. La voracidad de las torpilas es tal, que con frecuencia se engullen pescados casi tan grandes como ellas. Tam-

¹ *Beobachtungen und Versuche am Zittervoels und Mormyrus. Archiv für Anatomie und Physiologie*, 1877, p. 271.

² Consúltese á Milne-Edwards, *loc. cit.*, t. XIII, ps. 347 y 348.

³ Véase *La Nature*, 1881, Agosto, p. 174.

⁴ *Gesammelte Abhandlungen* t. II, p. 646.

⁵ A. Moreau, *Mémoires de physiologie*, 1877, p. 89.

bien parece que la facultad que tienen de producir descargas eléctricas, la adquieren demasiado temprano, porque A. Moreau ha podido extraer del útero de una torpila adulta preñada, algunas torpilas pequeñas bastante desarrolladas, las cuales ya originaban fuertes conmociones.

Las gymnotas producen descargas de una intensidad horrorosa. Es muy conocido el relato que hace Alejandro de Humboldt. Los Indios introducen á los pantanos donde existen las gymnotas, algunos caballos y mulas. El pez eléctrico se precipita inmediatamente sobre sus agresores, y á menudo es tal la fuerza de las descargas eléctricas, que parecen dichas mulas y caballos. Poco á poco, sin embargo, va debilitándose la energía de las descargas, hasta que, por último, cesan las conmociones violentas y se puede tomar con las manos á las gymnotas, que han llegado á ser inofensivas por este medio. Parece, no obstante, que el curioso relato de Humboldt es una fábula,—esta es al ménos la opinion algo temeraria de Sachs.—Segun este jóven fisiologista, enviado especialmente á Venezuela para estudiar la funcion eléctrica de la gymnota, hé aquí cómo se pesca á este temible pez. Se rodea con dos redes el lugar donde se supone que están reunidas las gymnotas; y se sabe fácilmente cuál es este sitio, en primer lugar, porque las gymnotas acostumbran reunirse en espacios bastante estrechos; en segundo, porque nadando á lo largo del rio se les ve sacar la cabeza y respirar en la superficie del agua á fin de saber de dónde proviene el ruido, si se les arroja á intervalos piedrecitas al arroyuelo. Desde luego, producen descargas muy fuertes, las cuales hacen perecer inmediatamente á los pescados ó á los batracianos que se encuentran á su alcance. Una vez que aquellas se han extinguido, se les puede tomar á dichas gymnotas con la mano, pero teniendo cuidado de cubrirse ésta con unos guantes gruesos de cautchuc que impidan la propagacion de la chispa eléctrica. La descarga que produce uno de estos animales en su completo vigor, es de una fuerza extrema. M. Sachs, habiendo dejado caer una gymnota en su pié, cayó á tierra, y tal fué el dolor que sintió, que no pudo ménos que gritar repetidas veces.

Otra experiencia de M. du Bois-Reimond, hecha en compañía de Faraday, sobre una gymnota que se habia podido conservar viva en Lóndres, demuestra perfectamente la fuerza de la conmocion eléctrica que puede producir este pez. Los dos sabios fisiologistas hicieron pasar, al través del acuario donde estaba la gymnota, unas corrientes eléctricas muy fuertes, sin producir descargas bastante sensibles á la mano. Al contrario, la conmocion voluntaria causada por la gymnota en el mismo acuario, ha sido extremadamente violenta.

Lo que hay de particular y difícilmente explicable en los fenómenos eléctricos producidos por estos peces, es que originan conmociones unipolares. Así, cuando una torpila es apresada en una red, el brazo del pescador que tiene á ésta recibe sacudimientos violentos, lo cual implica una tension eléctrica verdaderamente prodigiosa.

Los órganos eléctricos les sirven efectivamente á los peces que los poseen, para alimentarse y defenderse. Así, se ha visto ¹ á un malapteruro matar con sus conmociones á los pescados pequeños y despues comérselos.

Du Boys-Reymond ha manifestado tambien que cuando los siluros se encuentran reunidos, luchan entre sí y procuran golpearse la cabeza. Luego que son heridos de esta manera, no sanan, y el siluro que lleva tales heridas es devorado poco á poco en jirones por los demás que existen en el estanque.

En cuanto á la manera con que la gymnota produce su descarga, Faraday ha visto que ella procura herir, haciéndose arco, como si quisiera establecer un circuito entre la parte anterior y la posterior de su cuerpo. Se ha dicho tambien que giraba alrededor de su víctima describiendo rápidamente círculos más ó ménos aproximados.

De cualquiera manera, uno de los hechos más ciertos es, que en el estado normal, cuando el pez no es excitado ni por el hambre, ni por el temor, no produce ninguna conmocion. Se puede tocarlos impunemente sin que causen algun efecto. Un exámen superficial basta para comprender que las descargas que produce el animal son manifestamente voluntarias. La descarga eléctrica, como una contraccion muscular, es, pues, un fenómeno voluntario. Es notable ver aún cómo en el estado de reposo tienen los órganos eléctricos un poder muy débil, mucho ménos marcado que el tejido muscular. Por consecuencia, la corriente eléctrica no preexiste; esta es una excitacion psíquica.

Segun Faraday, si se excita á una gymnota viva con un cuerpo mal conductor, como una varilla de vidrio, el pez produce desde luego algunas descargas, despues éstas cesan bien pronto, como si tuviera conciencia de que el cuerpo que le toca no puede conducir la electricidad. Seguramente debemos admitir que el pez, en el momento en que produce su descarga, tiene conciencia de la naturaleza del esfuerzo que ha ejecutado.

EXCITABILIDAD DEL APARATO ELÉCTRICO.—Matteuci fué el primero que hizo preciosas experiencias acerca de las relaciones fisiológicas del encéfalo con los aparatos eléctricos. Segun él, se pueden frotar, picar y cortar los lóbulos anteriores, medios y posteriores del cerebro, sin provocar una sola descarga. Al contrario, el contacto de los lóbulos eléctricos determina inmediatamente una conmocion violenta. M. Jonquière ² ha demostrado los mismos fenómenos. Se puede destruir la médula, y quitar todo el encéfalo: en tanto que se han dejado los lóbulos eléctricos, persiste la facultad de producir descargas. Se puede hacer una seccion lon-

¹ Stirling. Citado en el *Jahresbericht für Anat. et Physiol.* de Hoffmann y Schwalle, 1879, p. 23. *Physiologie.*

² Citado en el *Jahresbericht für Anat. und Physiologie* de Hoffmann y Schwalle, 1879, n.º 47, p. 24. *Physiologie.*

gitudinal en el lóbulo eléctrico de cada lado, sin impedir la producción de las conmociones.

En algunos casos se pueden observar acciones reflejas (Sachs). En efecto, una excitación periférica provoca aún una descarga, aunque se haya quitado el cerebro y ya no exista la espontaneidad en el animal.

Matteucci había supuesto primeramente que la electricidad era producida en los lóbulos eléctricos, y que, de ahí, se propagaba al aparato eléctrico; pero esta suposición, demasiado vaga, ha sido desechada después por él mismo.¹

Esto demuestra la inexactitud de su aserción; y lo cierto es que si se corta el nervio que se dirige al órgano eléctrico, y se le excita por medio de la electricidad, por una picadura ó de otra manera, se provoca entonces una descarga. Esta descarga se produce siempre, según A. Moreau, y es tan regular como un sacudimiento muscular después de la excitación por un nervio motor. Se pueden observar aún fenómenos análogos á la reparación del músculo. En efecto, si se cortan los nervios eléctricos, y se deja al órgano eléctrico también, desde luego agotado, repararse poco á poco, al cabo de algunos instantes de reposo, aunque no haya comunicación entre el órgano eléctrico y el sistema nervioso central, el órgano, una vez que está en su estado normal, determina descargas tan fuertes como las voluntarias producidas por el animal intacto.

Sin embargo, M. Ranvier piensa que la descarga producida por la excitación nerviosa artificial es mucho menos fuerte que la originada por la excitación nerviosa voluntaria. Tal vez este autor se ha dejado llevar por el deseo de justificar su teoría sobre el mecanismo de la descarga. De todos modos, hay en esto un hecho que sería difícil verificar. Pero, si se juzga según las observaciones hechas hasta ahora, y según la analogía del órgano eléctrico con el músculo, parece, opuestamente á la opinión de M. Ranvier, que la excitación del nervio por los irritantes artificiales produce una conmoción tan fuerte como la de la voluntad, y si se ha dejado á dicho órgano el tiempo necesario para su reposo.

Aunque la sangre sea indudablemente tan necesaria para la nutrición del órgano eléctrico, como lo es á la del músculo, sin embargo, aquel, aun cuando esté privado de sangre, permanece, durante algún tiempo, capaz de producir descargas. A. Moreau ha demostrado que dicho órgano eléctrico es irritable aun cuando se inyecte con sebo la arteria que le alimenta. Los jirones desprendidos de la masa central pueden, cuando se les excita mecánicamente, determinar conmociones en una pata galvanoscópica de rana. Aun bajo este punto de vista es completa la analogía entre el músculo y el órgano eléctrico.

M. Babuchin ha hecho una experiencia interesante, la cual demuestra que los nervios pueden conducir las excitaciones en dos sentidos. Si se toma un nervio eléctrico (centrífugo), y se excita, después de haber destruido toda la región eléc-

¹ Consúltese esto en M. du Bois-Reymond, cap. cit., p. 685.

trica donde se distribuye, su excitacion provocará nada ménos que una descarga. Ahora, esta excitacion ha debido ser centrípeta: en efecto, la descarga consecutiva se ha producido evidentemente por la excitacion de los lóbulos eléctricos en relacion con el segmento nervioso irritado. Resulta, pues, que un nervio centrífugo puede ser centrípeto. En lugar de caminar la excitacion del cerebro á la periferia, se ha propagado de la periferia al cerebro, y esto por el mismo nervio centrífugo.

Aunque haya anastómosis entre los diferentes nervios que se distribuyen á un órgano eléctrico, sin embargo, cada excitacion de un filamento nervioso provoca una conmocion limitada en la porcion del tejido eléctrico, al cual se dirige el nervio excitado. Matteuci ha probado este hecho por la experiencia siguiente. Se coloca sobre las diferentes regiones del órgano eléctrico una pata galvanoscópica de rana. Ésta no se contrae sino cuando se provoca la excitacion del filamento nervioso que se dirige á la porcion del tejido subyacente en dicha pata. Por consecuencia, la descarga eléctrica puede ser total ó propagada en todo el aparato.

NATURALEZA DE LA DESCARGA EN LOS PECES ELÉCTRICOS.—Ya está bien averiguado que la fuerza desarrollada por los peces eléctricos es la electricidad. Sin embargo, merecen citarse las experiencias que sirven para afirmar este hecho. Por las descargas, ya sean de la gymnota, del siluro, ó de la torpila, se han obtenido chispas, descomposiciones químicas (descomposicion del ioduro de potasio), fenómenos de induccion en un carrete, la imantacion de una barra de hierro dulce. Estos fenómenos son evidentemente eléctricos; pero aún no se sabe bien cuál es la verdadera naturaleza de la electricidad desarrollada en este caso.

En primer lugar, para saber cuál es el sentido de la conmocion y la direccion de las corrientes, se puede recoger la electricidad por medio de los galvanoscopios, como lo hizo Davy.

Pero los conocimientos más exactos se han adquirido sobre todo de las investigaciones de M. Marey.¹ Éste ha hecho pasar las descargas de la torpila al través de la señal magneto-eléctrica de M. Deprez. En cada descarga se observaba un movimiento en la señal. Ahora, este movimiento no éra único, sino que habia varias oscilaciones en el aparato magneto-eléctrico, ó sea, sirviéndose de la expresion de M. Marey, varios flujos eléctricos; de manera que este autor, en vista de esto, ha dicho que la descarga de la torpila no es sencilla, sino que está constituida por una série de descargas elementales. Estos flujos aislados son tanto más numerosos mientras ménos fatigado está el animal. Al principio, hay un gran número; más tarde, al contrario, son raros. Al fin, cuando el agotamiento es completo, solo se produce una descarga elemental. No se puede decir si el debilitamiento se verifica únicamente en el número ó en la intensidad de los flujos; porque, á menudo, cuando no

¹ Sur la décharge électrique de la torpille. Travaux du laboratoire de Marey, 1877, n.º 1, p. 1.

es accionada la señal magneto-eléctrica, no hay ninguna conmoción manifiesta en la pata galvanoscópica.

Este hecho tiene un interés considerable, porque demuestra hasta qué punto se asemeja el fenómeno de la descarga eléctrica con el de la contracción muscular. En los dos casos hay un movimiento aislado, flujo ó conmoción, uniéndose y confundándose, para producir un movimiento, simple en apariencia, pero complejo en realidad (descarga eléctrica ó tétano muscular).

Siguiendo la analogía del aparato eléctrico y del músculo, M. Marey ha visto que una excitación única del nervio eléctrico provoca un solo flujo, y que éste retarda la excitación (período latente de excitación). Este retardo sería de $\frac{1}{100}$ de segundo, es decir, casi idéntico para el órgano y el músculo.

La figura siguiente, tomada de M. Marey, permite apreciar la duración del retardo del órgano eléctrico, en la torpila, comparativamente con el retardo del músculo.

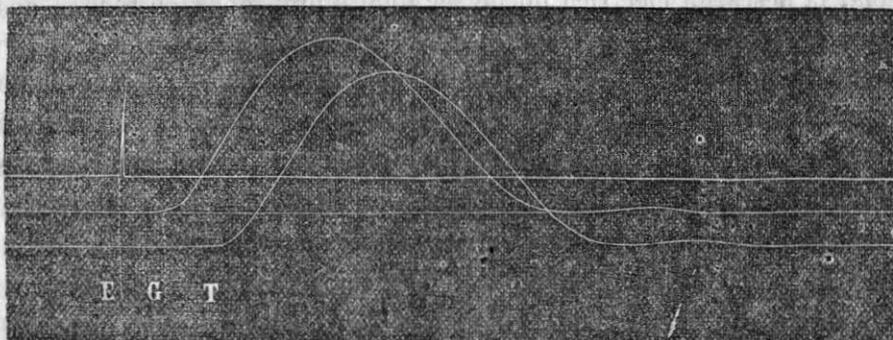


FIGURA 1.ª—Tiempo perdido en el órgano eléctrico—*e*, Sacudimiento del músculo de la rana, punto de partida de la excitación; *eg*, tiempo perdido por el músculo; *et*, tiempo perdido por el músculo y el aparato eléctrico; *gt*, tiempo perdido por el aparato eléctrico.

La conmoción de un músculo de rana provocada por la electricidad del carrete, se verifica en *g*. Por lo que el retardo es *eg*. Pero si en lugar de excitar el músculo directamente, se excita el órgano eléctrico, de manera que la descarga de este aparato sea la que provoque la conmoción, el retardo total será *et*; es preciso, evidentemente, para medir el período latente en el órgano eléctrico, deducir del retardo total el tiempo perdido en el músculo. Se encontrará, pues, un tiempo perdido en el órgano eléctrico igual á *gt*, tiempo que, en la experiencia de Marey, puede ser valuado en $\frac{1}{100}$ de segundo.¹

Este notable retardo de la descarga eléctrica después de la excitación es bastante contradictorio con la teoría de M. du Bois-Reymond.² Así este fisiologista eminente ha tratado de concordar su teoría con las experiencias de M. Marey. Parece que

¹ *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1872, t. VIII, p. 489.

² Cap. cit., p. 723.

creo que, si el retardo es muy grande, esto depende de que la descarga se produce en todo el órgano; y supone que en una pequeña porción del tejido eléctrico, dicho retardo es muy pequeño.

Uno de los caracteres importantes de la descarga de la torpila es producir, en un carrete secundario, corrientes inducidas bastante intensas para poner en movimiento la señal inscriptora; pero este fenómeno no dura sino algunos instantes é inmediatamente, por consecuencia de la fatiga del tejido, no se pueden recoger ya corrientes inducidas que obren sobre la masa magnética de la señal.

Otra experiencia de M. Marey prueba aún que las corrientes son discontinuas, constituidas por flujos sucesivos. En efecto, si se interpone en el circuito un teléfono, se oirá un sonido, pero interrumpido sucesivamente. Una gymnota, que M. Marey pudo observar en Paris, ¹ producía descargas que hacían vibrar al teléfono. El sonido producía 10 vibraciones por segundo, para las conmociones débiles; para las fuertes, 165. M. Robin ² ha demostrado también que la raya produce conmociones que se pueden percibir con el teléfono.

Como se puede, excitando el órgano eléctrico por una fuente exterior de electricidad, determinar su descarga, se ha intentado comparar la intensidad de la electricidad excitatriz con la de la electricidad que se desarrolla; y se ha demostrado que la tensión de ésta es más considerable que la de aquella. Por consecuencia, hay en el órgano eléctrico una gran energía interior, la cual no necesita para manifestarse más que una débil fuerza excitatriz exterior.

La conclusión general que se deduce de todos estos hechos, es la gran analogía de los aparatos eléctrico y muscular.

Algunas otras experiencias establecen aún mejor la perfecta semejanza de estos dos fenómenos.

Si se expone al frío á una torpila, la conmoción que produce entónces es muy débil. Al contrario, á una temperatura casi de 45°, su conmoción es muy fuerte.

Si se envenena á este pez con estriquinina, producirá una série de descargas irregulares, fuertes al principio, pero que en seguida, por el efecto de la fatiga, irán debilitándose gradualmente. M. Marey ha visto que una torpila estriquinada produce, si se acaba de excitar uno de los nervios de su órgano eléctrico, no un flujo único sino una série de flujos; lo mismo que una rana estriquinada produce, despues de una excitación única, no solamente una sola conmoción sino un tétano.

Se ha experimentado también con el curaro; pero, relativamente á la acción de este veneno sobre los peces eléctricos, hay aún algunas incertidumbres. Sin embargo, las experiencias de M. Ranvier y de M. Bobuchin, parecen probar perfectamente que el curaro obra también sobre el órgano eléctrico. A. Moreau ha señalado un hecho singular. Cuando todos los músculos del animal se han paralizado, y éste no puede ejecutar movimientos voluntarios, sí le es posible, aun

¹ Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1879, t. LXXXVIII, p. 318.

² Ibid., t. LXXXVIII, p. 338.

siendo excitado, producir conmociones demasiado fuertes. Todo se verifica como si el órgano eléctrico se paralizase despues que los músculos de la vida animal. Pueden hacerse, sin embargo, sobre esta accion del curaro, nuevas investigaciones.

SEGURIDAD DE LOS PECES ELÉCTRICOS CONTRA SU DESCARGA.—Uno de los puntos más interesantes y más difíciles de la historia fisiológica de los peces eléctricos es la seguridad del animal ante su propia descarga. Si se ponen en un estanque en que se encuentren varias gymnotas, por ejemplo, pescado de diversas especies; inmediatamente las gymnotas producirán conmociones formidables, las cuales determinarán la muerte instantánea de los peces colocados en el receptáculo; pero ninguna gymnota aparecerá fatigada por este rápido desprendimiento de electricidad, producido tanto por su descarga como por la de aquellas que se encuentran próximas; y sin embargo, es indudable que las gymnotas han recibido descargas eléctricas como los otros peces.

No han faltado las hipótesis para explicar esta extraña preservacion. Todos han supuesto naturalmente al principio, que la neorilema, bastante espesa que rodea al órgano eléctrico, impide la comunicacion del fluido á las partes próximas. Pero esta explicacion es absolutamente insuficiente, porque se puede demostrar que hay, sobre todas las partes del cuerpo del animal, un fuerte desprendimiento de electricidad en el momento de la descarga. Por otra parte, no se comprende cómo un pez eléctrico no hiere con su descarga á los otros de su misma especie que se encuentran cerca de él.

Se ha supuesto tambien una accion inhibitoria, que partiendo del encéfalo impedía que se produjesen los fenómenos eléctricos. Pero esta hipótesis, poco plausible, fué destruida por el hecho de que hay fuertes descargas, aun cuando se haya quitado el encéfalo.

La opinion más aceptable es la que han adoptado M. du Bois-Reymond y M. Steiner, es decir, que los músculos, los centros nerviosos y los nervios de los peces eléctricos, presentan una gran resistencia á la electricidad. Algunas otras experiencias parecen demostrar que los tejidos de estos animales resisten mucho más que los de los otros pescados á las excitaciones eléctricas. Habria, pues, entre los tejidos de los animales de la misma clase y de especies muy próximas, una marcada diferencia en la excitabilidad, y de lo cual no se encuentra tan notable ejemplo.

Sin embargo, la inexcitabilidad no es absoluta. Se ha podido demostrar que la torpila es agitada por conmociones musculares apreciables, cuando produce su descarga. Walsh habia notado ya que la torpila cierra los ojos á cada descarga.

De cualquiera manera, la explicacion de M. du Bois-Reymond, no es del todo satisfactoria. Esta no es la explicacion del hecho, sino el enunciado de éste. Indudablemente á todos los fisiologistas les costará cierto trabajo comprender cómo

las descargas eléctricas tan violentas como las de la gymnota, por ejemplo, no afectan de una manera grave las funciones y los órganos de este animal.

Vemos por esta corta exposicion que se han hecho un gran número de observaciones, y que sin embargo, quedan aún algunos puntos oscuros sobre este grave problema de fisiología. No es esto todo. ¿La electricidad que se desarrolla en el aparato eléctrico es análoga á la de las diferentes fuentes de electricidad que conocemos? En efecto, difiere por muchos caracteres. Como lo ha hecho notar M. Marey, y con razon, parece participar tanto de las propiedades de la electricidad estática como de la dinámica. La descarga eléctrica de la gymnota ó de la torpila se asemeja á la de la electricidad estática por su enorme tension, su facilidad para atravesar los cuerpos malos conductores, y la diferencia á las grandes resistencias. Se asemeja á la electricidad dinámica por sus efectos electrolíticos y su accion sobre el galvanómetro. Por último, la accion que produce, cuando excita nuestra sensibilidad, es completamente análoga á la sensacion que producen las corrientes inducidas; de manera que seria difícil decir con precision cuál es la naturaleza de la electricidad producida.

Bajo el punto de vista de la fisiología general, podemos resumir estos hechos diciendo que el órgano eléctrico de los peces, con sus nervios y sus centros nerviosos especiales, es un aparato muy análogo al aparato muscular, poseyendo una energía interior enorme, energía que se desarrolla bajo la influencia de la excitacion nerviosa.

ANIMALES LUMINOSOS.—Hay otra fuerza que, bajo la influencia de la excitacion nerviosa, puede desarrollarse en el organismo de los animales: esta es la luz; pero no diremos sino algunas palabras acerca de esto, porque la fisiología de los aparatos productores de ella es poco conocida.¹

Hay dos modos de produccion de luz por el organismo vivo. Unas veces, y es el caso más raro, ciertos órganos están reservados especialmente para la fosforescencia; otros, al contrario, todo el animal es fosforescente.

En general, en los vertebrados no hay fosforescencia. Es cierto que los peces de mar, cuando mueren, llegan á ser luminosos, por el hecho de su putrefaccion; pero entónces los micrococcus, desarrollándose á expensas de las materias pútridas, ricas en fósforo, son fosforescentes.

¹ Véase la leccion LXVIII, t. VIII, p. 93, de las *Leçons sur la physiologie*, etc., de M. Milne-Edwards, donde se encontrarán todas las indicaciones bibliográficas necesarias. Entre los últimos trabajos citarémos una Memoria de MM. Robin y Laboulbène. *Organes phosphorescents thoraciques du Cocuyo de Cuba*.—*Journal de l'Anatomie*, etc., t. IX, 1873, p. 593. Tenemos además otros trabajos importantes. Tousset de Bellesme, *Recherches experimentales sur la phosphorescence du Lampyre*.—Panceri, *Phosphorescence des animaux marins*.—*Ann. des sciences nat.*, 1872.—*Ibid.*, t. XVI, 1880, p. 121.—Lassar, *Die Micrococccen der Phosphorescenz*.—*Archives de Pflüger*, t. XXI, p. 104, etc. M. Leydig ha estudiado con mucho cuidado, ciertos aparatos fosforescentes de los peces. (*Die angenählichen Organe der Fische-Bonn*, 1881.) Pero en general, los histologistas más bien que los fisiologistas, son los que han hecho estudios sobre los animales fotógenos.

Tal vez la retina, con la sustancia colorante que se llamó rojo retiniano, sea en algunos vertebrados poco luminosa por sí misma. Se sabe en efecto que, en la sombra, los ojos del gato, por ejemplo, son luminosos; pero se podría demostrar que la fosforescencia es la causa del fenómeno.

Parece que si se exprime el líquido contenido en las glándulas cutáneas de ciertos batracianos, escurre un licor casi fosforescente. El mismo fenómeno se ha notado en los jugos de ciertas plantas (*Euphorbia*). Esto no es en verdad, sino la oxidación de los diversos líquidos vegetales ó animales, pero que difiere porque es luminosa.

Por último, M. Leydig ha descubierto en ciertos peces, de los géneros *scopelus*, *ichthyococcus*, *gonostoma* y *argyropelecus*, algunos órganos singulares, esféricos, diseminados en la piel del vientre, los cuales son fosforescentes, sin que por esto se pueda afirmar que tengan por función especial emitir luz. M. Leydig piensa que son análogos á los órganos eléctricos.

Ciertos insectos sobre todo, de los géneros *lampyrus* (en nuestros climas), *elater* (en la América tropical) poseen órganos luminosos en las distintas partes del cuerpo. Vistos con el microscopio, el tejido de estos aparatos parece constituido por masas de lóbulos dispuestos en series que reciben numerosas ramas nerviosas ó vasculares. Los lóbulos están formados de grandes celdillas, de protoplasma granuloso. Algunas veces, como en el *pyrophorus*, las celdillas están llenas de numerosas gotitas grasosas.

Como estos aparatos fotogénicos no existen en el macho ó son rudimentarias, se ha supuesto que á la hembra le sirven para revelar su presencia á aquel. En el lampyro (luciérnaga), el órgano está colocado en la superficie ventral. La hembra, que está, como se sabe, desprovista de alas, se sube á una rama y encorva su abdomen, de tal manera, que la porción ventral luminosa siendo por esto superior, es apercibida á lo lejos fácilmente.

La más ligera observación demuestra que la producción de la luz está sometida á la influencia de la voluntad del animal, el cual puede apagar ó encender de nuevo la claridad que emite.

Algunas veces se apaga la luz cuando se irrita al animal. En otros insectos, al contrario, como en los *elaters*, el brillo aumenta. También el animal da señales muy marcadas de cólera.

El órgano fotógeno, como el músculo y el órgano eléctrico, se fatiga por el uso. Después que la luz ha brillado algunos minutos, se extingue.

Al estado normal, la luz de la luciérnaga es, si no intermitente, cuando menos rítmica, y está caracterizada por sus apariciones y desapariciones sucesivas. Esto constituye aún una analogía con los músculos, cuya constricción no es permanente, sino más ó menos rítmica, como lo indican las vibraciones sonoras del músculo tetanizado. M. Peters ha visto que en un lampyro de Italia, la luz ha brillado de 80 á 100 veces por minuto.

Si se separan estos órganos luminosos del cuerpo del animal, la luz persiste por algun tiempo. Despues de haber despedazado al animal vivo, se pueden hacer sobre los órganos fotógenos, separados del cuerpo, algunas experiencias muy fructuosas, como las que ha dado á conocer M. Jousset de Bellesme; porque la voluntad del animal no interrumpe al fenómeno fisiológico que se desea estudiar.

Se puede demostrar de esta manera que los excitantes generales de los tejidos nerviosos ó musculares son los mismos que los de los tejidos fotógenos. Las excitaciones mecánicas, térmicas y sobre todo eléctricas, provocan la produccion de la luz. Aun cuando se corte la cabeza del insecto, la electricidad puede conservar luminosos, durante largo tiempo, más de ocho horas en algunos casos, á los órganos fotógenos. Debe notarse que la luz no aparece sino al cabo de tres ó cuatro segundos de la excitacion eléctrica.

Macaire, y despues Matteuci, han visto que la fosforescencia cesa cuando se coloca al animal en un medio desprovisto de oxígeno. Sin embargo, no termina súbitamente, porque conservan un poco de aire en las tráqueas; pero luego que se ha agotado esta provision de aire se detiene la fosforescencia. En el hidrógeno, en el ácido carbónico y en el vacío barométrico, la produccion de la luz desaparece casi completamente. Al contrario, en el oxígeno puro es muy viva.

Los gases tóxicos hacen desaparecer la fosforescencia con más rapidez que la falta de oxígeno. Así en el hidrógeno sulfurado extingue la luz inmediatamente.

La luz producida es algunas veces extremadamente viva. Los *elaters* de la América tropical son en ciertas ocasiones tan luminosos, que segun se dice, pueden guiar al viajero en su camino. Con esta luz se pueden leer los caracteres más pequeños de imprenta. Es importante investigar la causa íntima de este notable fenómeno; pero son insuficientes los datos que se poseen.

El análisis químico de los órganos fosforescentes ha demostrado que estos están compuestos de una materia albuminosa, lo cual establece una analogía con el músculo, pero no explica en nada la fosforescencia. Se ha encontrado ¹ una materia grasa, que contiene fósforo, y es soluble en el alcohol. Pero esta observacion, para ser aceptada definitivamente por la ciencia, necesita comprobarse. No se ha encontrado de una manera cierta, en los productos de combustion del órgano luminoso, ácido fosforoso ó fosfórico. Matteuci encontró ácido carbónico. Muchos autores suponen que se desprende hidrógeno fosforado; pero es necesario demostrar la presencia de éste ó cuando ménos encontrar ácido fosfórico en los productos de la combustion, lo cual no se ha conseguido hasta ahora de una manera satisfactoria.

Muchos invertebrados marinos poseen la propiedad de emitir luz. ² Sin embargo, esta emision luminosa no parece estar localizada en determinado órgano, como en

¹ Schnetsler, citado por M. Milne-Edwards, *cap. cit.*, p. 103.

² Parece que á cierta profundidad y bajo una presión atmosférica considerable y en completa oscuridad, todos los animales, peces ó invertebrados, son luminosos.

los lampyros y los *elaters*. Esta es una propiedad general de los diversos elementos anatómicos, propiedad que tiende evidentemente á localizarse, pero que, en los animales inferiores, es difusa y diseminada. Aquí aún, como para la electricidad animal y la movilidad, hay la misma ley zoológica. Una propiedad general de la materia viva tiende, por consecuencia de los progresos de la organización, á localizarse cada vez más en un órgano destinado especialmente á esta función.

Las medusas emiten mucha luz, sobre todo cuando se les excita, de manera que podemos suponer, si no que la fosforescencia es voluntaria, cuando ménos que es influenciada por la excitación nerviosa, y que la irritación del animal provoca por una acción refleja la fosforescencia de sus tejidos. Si en la oscuridad se toma con la mano una medusa, se ve, que la fosforescencia se comunica á dicha mano y á todas las partes que han tocado al cuerpo de la medusa.

De donde resulta que el sitio de la fosforescencia es el mucus, cargado de cel-dillas epitéllicas, el cual es secretado por el tegumento externo de las medusas. M. Panzeri hizo una experiencia que afirma este aserto. En efecto, si se frota ligeramente en la oscuridad, con la mano, una parte del tegumento de una medusa, esta porción no será fosforescente, sino cuando se produzca allí el epitelio ó mucus.

Las excitaciones mecánicas ó eléctricas no son las únicas que pueden estimular la fosforescencia. Los excitantes químicos tienen también este poder. Así, cuando se coloca en el agua dulce una medusa, un folado ó un molusco marino, algo fosforescente, aparecerá inmediatamente una luz muy intensa; porque el agua dulce es un estimulante y un veneno para estos animales. Nunca se observa la fosforescencia tan marcada sino cuando se coloca un folado ó una medusa en el agua dulce ó en la leche. Estos líquidos obran como estimulantes.

Otros, como el alcohol, el amoníaco, etc., que indudablemente son tóxicos, originan también una viva fosforescencia, la cual desaparece al punto. Se nota analogía de estos fenómenos con los del músculo. Todos los venenos, ántes de aniquilar la función de un órgano, la estimulan al principio.

La fosforescencia no se observa únicamente en el epitelio del tegumento externo. En algunos animales se ve en los canales de la cavidad del cuerpo, por ejemplo, en los penátulos. La excitación en un punto cualquiera del cuerpo de estos animales se va propagando bajo la forma de una traza luminosa que se puede percibir perfectamente. M. Panzeri ha podido calcular de esta manera la velocidad de la propagación luminosa, velocidad que no es más que la del influjo nervioso; y la estima, aproximativamente, en 20 segundos por metro. Este número es diferente al de la velocidad del influjo nervioso en los animales superiores.

Los pyrosomos y los folados emiten también mucha luz: probablemente por diferentes partes de su cuerpo. ¹ De todos modos, las excitaciones exteriores pro-

¹ Relativamente á los folados, M. Milne-Edwards cita un pasaje curioso de Plinio: « Concharum e genere sunt dactyli ab humanorum ungiúum similitudine appellati. His natura in tenebris, remoto

vocan esta emision luminosa, de la misma manera que en los *elaters*, las luciérnagas, etc. Los líquidos de la cavidad del cuerpo son tambien fosforescentes. M. Milne-Edward,¹ sumergiendo en el alcohol débil algunos folados poco fosforescentes, ha visto descender un torrente luminoso y extenderse en el fondo del vaso adonde ha continuado brillando por algun tiempo.

La fosforescencia no cesa á baja temperatura. Aun á 0°, en los mares árticos, los animales marinos emiten luz. Sin embargo, la elevacion de temperatura es una condicion favorable. Matteuci, exponiendo los lamprolos á un frío de 6°, ha visto desaparecer, á esta temperatura, la luz del insecto. Probablemente los insectos no obran en presencia del frío como los invertebrados pelágicos.

El calor aumenta la intensidad luminosa. Pero más allá de cierto límite la luz desaparece, habiendo muerto el órgano por el calor. Este límite es muy variable; Matteuci da para el lamprolo 40° como límite máximo, mientras que Panceri ha encontrado 46° para el folado. De 0 á 73°, á medida que se elevaba la temperatura, era más viva la fosforescencia.

La materia fosforescente de los animales pelágicos puede, contrariamente á lo que sabemos de los órganos luminosos de los insectos, continuar brillando, despues de que ha sido desecada y se le pone de nuevo en el agua. Esta curiosa experiencia hecha por Réamur es muy importante.

El órgano luminoso de los insectos no puede emitir luz sino cuando la celdilla está viva é intacta, mientras que los folados, los pyrosomos, las medusas y los filiroes, producen una materia fosforescente que parece ser química y no fisiológicamente fosforescente. Esto depende quizás de la desigual resistencia que estos animales presentan para morir. En efecto, algunos rotíferos, despues que han sido desecados vuelven pronto á la vida si se les coloca en la humedad. Seguramente las celdillas fosforescentes de los folados presentan el mismo fenómeno. Una vez desecadas las celdillas son oscuras; pero poco á poco van siendo fosforescentes cuando se les pone en la humedad.

Panceri y otros observadores suponen que la luz emitida es debida á la oxidacion de una sustancia grasa fosforada; pero esta hipótesis, tan verosímil como pueda ser, no ha sido demostrada.

Lo que sí se ha probado, es que la fosforescencia no se observa sino cuando hay oxígeno. En el hidrógeno ó en el ácido carbónico, ningun animal fosforescente emite luz; es, sin duda, una oxidacion la que produce el fenómeno luminoso. ¿Pero esta oxidacion es la de una albumina ó de una grasa fosforada, ó de una albumina ó de una grasa desprovistas de fósforo? Hé aqui lo que no se sabe aún.

Algunas experiencias le han probado á Panceri que durante el desprendimiento lumine, alio fulgore claro, et quanto magis humidum habeant, lucere in ore mandentium, lucere in manibus, atque etiam in solo ac veste, decidentibus guttis, ut procul dubio pateat succi illam naturam esse quam miramur etiam in corpore.

¹ Cap. cit., p. 112.

de luz que desarrollan los folados, no hay ninguna produccion apreciable de calor. Aunque este hecho se ha demostrado perfectamente, no creemos que pueda deducirse de él que en los animales fosforescentes los fenómenos químicos produzcan luz *en sustitucion del calor*.

Otros séres microscópicos, pertenecientes probablemente á diferentes especies, como los noctilucos, ciertos micrococus, etc., son fosforescentes. La luz proyectada por millares de estos animalillos es lo que produce uno de los cuadros más hermosos que nos es dado contemplar: el mar fosforescente.

Allí podemos ver el fenómeno más importante de la fisiología general, á saber: una oxidacion orgánica, provocada por una excitacion exterior. Mientras el mar está en calma, no hay fosforescencia; pero si el agua es agitada, ya sea por el viento, el timon, ó por la proa de un navío, entónces aparece inmediatamente una luz viva. Todos los séres, estimulados por esta accion mecánica, producen en su organismo una oxidacion, que se manifiesta por una brillante fosforescencia bastante prolongada. Se podria establecer una comparacion entre estos innumerables noctículos, unidos los unos á los otros y las celdillas vivas acumuladas en un organismo complejo. Tanto en uno como en otro caso, una fuerza exterior pone en juego la actividad propia de la celdilla, y durante algun tiempo persiste en el organismo vivo la vibracion provocada.

El fenómeno de la fosforescencia está, pues, sometido á las mismas leyes que los otros fenómenos de produccion que tienen por sitio el tejido de los animales. Tal vez este sea un fenómeno más general de lo que creemos. Todos los animales pelágicos que son transparentes son luminosos en la oscuridad. ¿Cómo sabrémos si en el espesor de nuestros tejidos opacos no se verifican algunas manifestaciones análogas?—CH. RICHTER.

(Tomado de la «*Revue Scientifique*,» núm. 19, 1881.)