

FISIOLOGIA

IMPORTANCIA

DEL

# MÉTODO GRÁFICO

PARA EL ESTUDIO

DE LAS FUNCIONES DE LA VIDA

TESIS

SOSTENIDA

POR RAFAEL LAVISTA

Como candidato á la plaza de Adjunto de la cátedra de Fisiología  
de la Escuela de Medicina



MÉXICO

IMPRENTA DE I. ESCALANTE Y C<sup>o</sup>

BAJOS DE SAN AGUSTIN, NUM. 1.

1870





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLASIF.....  
ADQUIS. /6643.....  
FECHA.....  
PROCCO.....

S-T  
1870  
LAV  
(7)

METODO GRÁFICO

LIBRO DE CUENTAS

LIBRO DE CUENTAS



IMPRESA DE LA BIBLIOTECA NACIONAL

---

---

## Señores:

Reflexionando ligeramente y fijando nuestra vista sobre todo lo que nos rodea, encontramos que algunos de los seres de la creacion, están dotados de una actividad particular, en virtud de la que sus mas finos elementos tienen la propiedad de crecer, reproducirse y tomar una forma bien definida. Otros seres no están sujetos sino á las fuerzas ciegas de atraccion y afinidad; son exclusivamente agregaciones moleculares sin forma bien definida.

A los primeros se le ha dado el nombre de organizados; los segundos son cuerpos inorgánicos. El estudio de los fenómenos y de las leyes que rigen á los seres organizados, ó sea la ciencia de la vida, fijó la atencion de los filósofos de la antigüedad; y cuando se comprendió la incapacidad del estudio de la naturaleza en general, se procuró independer ó dividir este estudio; creando así la Biología ó ciencia de la vida.

La estrecha relacion que todas las ciencias tienen entre sí, hizo que por largo tiempo no fuera dado á nuestros antepasados el adelanto en el brazo mas importante de los conocimientos humanos. Para conseguirlo se hacia necesario el conocimiento de las leyes físicas y qui-

micas que ántes de los Newton y Lavoissier dormian en lo desconocido: hasta entónces la fisiología se habia visto obligada á tomar sus conocimientos de la Medicina; casi no se tenia idea de la experiencia en los animales, y á la observacion no se recurria sino por casualidad.

Por otra parte; la falta de método en el estudio de la naturaleza, no podia ménos que oponerse al adelanto; pues que se buscaba la causa inmediata de la vida, sin procurar conocer las condiciones en que éste se produce, sin analizar sus fenómenos, ni confrontar la relacion que estos tienen entre sí; en suma, se procedia á la síntesis desdeñando el análisis de la naturaleza. Bacon vino el primero á señalar el error en que habian caído sus antecesores, y á fundar el verdadero método científico, creando la observacion y la experiencia, como el único medio de interrogar á la naturaleza, y como el verdadero procedimiento por el que nos es permitido subir de los fenómenos á sus leyes, de lo particular á lo general.

Decimos que gracias á los progresos de la fisica y de la química, así como al rigor del método que hoy se emplea en el estudio de las funciones de la vida, la fisiología ha llegado al rango de una ciencia positiva. En efecto, despues que los naturalistas hubieron procurado clasificar los séres de la creacion, se sintió la necesidad de estudiar las leyes que regian en sus diferentes funciones á estos séres, y estas no se habrian conocido, sin el progreso verificado en el estudio de las leyes fisico-químicas y mecánicas. Todas las ciencias se enlazan entre sí de un modo tan íntimo, que no es posible comprender los fenómenos que pasan en uno de sus brazos sin el conocimiento de los otros.

Por no conocer la solidaridad que existe en la naturaleza, así como por el atractivo que tiene lo misterioso,

el espíritu humano se ha dejado arrastrar hácia teorías que han dado nacimiento á sistemas verdaderamente metafísicos, creando así la sicología, como el fundamento del estudio de la naturaleza humana.

Por muchos años se ha sostenido entre los sabios, que existia en los séres organizados una propiedad particular, en cuya virtud los órganos ejercian sus funciones. A esta propiedad se le llamó vital, y ella ha servido para crear una doctrina que tiene sus adeptos. En esta doctrina, que no pretendo refutar (porque ha sido ya casi aniquilada), se establece que un principio inmaterial es el agente de las manifestaciones orgánicas.

Esta doctrina, desconoce la importancia de la anatomía general é histológica, que nos enseña, que en los séres organizados, más disimbolos en conjunto, existen sin embargo relaciones muy íntimas, y que, en su estructura, casi no se diferencian. Esta doctrina, olvida las leyes físicas que rigen en todos los séres de la creacion, y que bastan para explicarnos los fenómenos que observamos en ellos, sin pretender darnos cuenta de la causa primordial que los origina y que está fuera del alcance de la ciencia. Con esta doctrina es imposible toda medicina racional, pues que los medios materiales de que disponemos, no pueden atacar este principio inmaterial que constituye el fundamento de los vitalistas. Como se ve, la medicina se perjudica con estas hipótesis, pues que su objeto es curar las enfermedades y conservar la salud, y para esto solo posee medios materiales que no pueden ayudar al alma á desembarazarse de los principios morbosos que la oprimen. En fin, si el médico purga, sangra, administra mercurio ó antiespasmódicos, etc., es para obrar sobre los elementos materiales del cuerpo, con la intencion de restablecer el equi-

librio de la vida, interrumpido por agentes morbosos que perturban la salud.

Una vez aceptada de un modo general, la insuficiencia de la teoría vitalista, para explicar los fenómenos de la vida, era necesario darnos cuenta de las funciones orgánicas de alguna otra manera; y la oportunidad era propicia para las teorías iatro-químicas y mecánicas, por las que, se referían estas funciones á actos puramente químicos y mecánicos. En el tiempo en que dominaban estas teorías, estas dos ciencias no estaban suficientemente adelantadas para poder satisfacer las exigencias de los sabios, de modo que se forzaban las aplicaciones y se incurria en graves errores, que solo han desaparecido en estos últimos años, con el descubrimiento de los cuerpos simples que la química nos ha enseñado; y con la tendencia analítica de los Chevreul, Robin y otros, que han puesto de manifiesto las afinidades que los principios inmediatos orgánicos tienen entre sí; y por la que, estos diversos principios entran en combinaciones diferentes, reconociendo, que la vida no puede crear nada por sí; y que la materia que tenían los seres vivos se encuentra en la naturaleza, que ella es indestructible, confirmándose de este modo la gran verdad que Newton había señalado por la primera vez: «El peso es la materia.»

En tanto que los químicos demostraban la indestructibilidad de la materia, los físicos por su parte demostraban la indestructibilidad de las fuerzas; y ponían de manifiesto, que la gravedad, la cohesión, la afinidad, el calor, la electricidad y el magnetismo, reproducían en el universo una suma de fuerzas, siempre invariable, con la posibilidad de transformarse las unas en las otras, pero indestructibles en su esencia. Que todas estas fuer-

zas no son en realidad sino formas diferentes de movimiento que realizan efectos mecánicamente equivalentes. Este principio se conquistó estudiando las leyes y las relaciones del calor, y por él se ha podido hacer evidente la mútua dependencia de todas estas fuerzas.

En 1804, Rumford emitió por la primera vez la idea de que el calor no era sino la trasformacion del trabajo verificado por el frotamiento; este pensamiento tuvo este origen. Observaba que el frotamiento de dos barras de fierro debajo del agua, daba lugar á la produccion de calor, que no era el resultado de combinacion química ó descomposicion del agua; hacia notar que el calor salía indefinidamente de las barras en frotamiento, y decia: el calor no es materia como se supone, sino que es movimiento.

La experiencia de Rumford fué repetida por Joule que, midiendo el trabajo correspondiente á la caida de un peso dentro del agua, y observando el grado de temperatura que éste adquiria por medio de un termómetro, encontró que el equivalente mecánico del calor era representado por 424 kilográmetros, ó lo que es lo mismo, que un equivalente de calor era capaz de levantar un peso de 424 kilógramos á un metro de altura. Estas experiencias fueron comprobadas por Verdet y Garat. Este último sabio ha fundado la teoría mecánica del calor sobre el principio siguiente: «Siempre que una fuerza se emplea en producir un trabajo, se desprende una cantidad de calor proporcionada á la fuerza empleada sin efecto útil, ó en proporcion de la fuerza viva que desaparece. Por consecuencia, si una fuerza mecánica es gastada, se produce calor; y si la fuerza mecánica se produce, se gasta ó pierde el calor. Este principio aplicado á los cuerpos de cierto peso, se aplica tambien á

las moléculas de los cuerpos, y nos explica los efectos caloríficos de la afinidad. Así, por ejemplo, en los fenómenos de combustion, millares de moléculas de oxígeno se encuentran con moléculas de carbono ó de otros cuerpos, y la impulsión que se destruye en este contacto, desarrolla calor; de aquí la combustion, porque millares de fuerzas vivas se apegan en este momento. Si por el contrario, la afinidad se destruye, el calor se consume, por cuanto á que se produce un trabajo.

Estas consideraciones se aplican tambien á las otras modalidades de fuerzas, como la electricidad, el magnetismo, etc.; todas se resumen en la idea comun de movimiento; todas tienen por comun medida el trabajo emprendido, ó la cantidad de fuerza viva, comunicada á un móvil cualquiera.»

La demostracion experimental de estos principios requiere detalles que alargarian este trabajo, por lo que solo debo dejarlos consignados y hacer algunas aplicaciones en el estudio de los seres vivos.

En efecto, los seres vivos están necesariamente sujetos á las leyes de la materia, pues que toman su propia sustancia de cuerpos que han sido ó son inorgánicos: como hemos dicho, la fuerza acompaña á la materia en donde ésta se encuentre, por lo que ella debe ser en los seres vivos el sosten de la cohesion, de la afinidad, del calor y electricidad. ¿Cómo, pues, se explica el que en los seres vivos estas fuerzas revistan modalidades diferentes? Bien fácilmente; si se recuerda que el modo de agregacion de las moléculas de los seres animados es bien distinta de la que tienen los seres inorgánicos. De aquí la propiedad que se observa en los diversos tejidos, y que llamamos vital.

Todo en la naturaleza se relaciona y forma una cade-

na que sirve de apoyo comun para mantener el sabio equilibrio que la mano del Omnipotente ha establecido. Así es como el vegetal, bajo la influencia de la irradiacion solar, destruye las afinidades de los cuerpos minerales que encuentra en la tierra, y se aprovecha del carbono, del oxígeno, del hidrógeno y del azoé, para formar la molécula orgánica, trasformada mas tarde en glúten ó fécula. A su vez, el animal se sirve del vegetal que le proporciona los elementos necesarios, para que bajo la influencia del oxígeno se desarrollen las afinidades, en virtud de las cuales se produce la fuerza de que necesita para su conservacion. Cuando esta necesidad está satisfecha, el animal devuelve al reino inorgánico los materiales que habia tomado de él como prestados, bajo la forma de agua, ácido carbónico, amoniacó, etc., y se restablece de esta manera el equilibrio que ántes he señalado. Esto para la parte material. En cuanto á la forma dinámica, la fuerza almacenada en el vegetal, y tomada de la irradiacion solar, es transmitida al animal, que la devuelve al mundo exterior bajo la forma de movimiento y de calor. Este trabajo del animal requiere en él, órganos á propósito que puedan comunicar el movimiento que reciben; estos son los músculos que, animados por el calor que en ellos se desenvuelve, se convierten en el motor de la máquina humana, á la manera con que este mismo agente determina el movimiento de una locomotora.

Las experiencias de Beclard y Hirn comprueban lo que venimos diciendo; por ellas se ve que los músculos obedecen á leyes dinámicas, y que siempre que un músculo ejecuta su movimiento para producir su efecto mecánico, la suma de calor que se desenvuelve en este acto es menor que el que produce la combustion que se

verifica durante la contraccion muscular. Si el músculo se contrae, para destruir un trabajo el calor entónces se aumenta, representando este aumento la cantidad de fuerza viva que ha sido destruida. En suma, se ve que las manifestaciones exteriores en los cuerpos vivos, no son mas que combustiones que pasan en los órganos internos, y que estos son la causa del movimiento. En los animales se observa que sus movimientos están regularizados por una propiedad que les pertenece exclusivamente. Esta es la propiedad de inervacion. Por ella los nervios, en virtud de la accion química que se verifica en su sustancia, determinan movimientos en los músculos y trasmiten al encéfalo la nocion de las impresiones que reciben. Esta propiedad ha sido demostrada por Bois-Raymond y se manifiesta bajo la forma de electricidad, que indudablemente no puede desarrollarse sino en virtud de actos químicos, que son, como sabemos, un movimiento, y que se nos revelan por manifestaciones de un orden particular, porque se desenvuelven en tejidos de una naturaleza particular tambien. Tales son las aplicaciones que se han hecho del principio dinámico á los séres organizados, y que parecen exactas, pues que son hijas del método experimental puesto en planta por los hábiles fisiologistas que ántes he mencionado. Por otra parte, la patología confirma estas experiencias, que en el estado actual de nuestros conocimientos, nos dá la explicacion de los fenómenos que observamos en los séres vivos.

Segun lo que venimos diciendo, se podria creer que para la explicacion de los fenómenos que observamos en los séres vivos, nos basta hacer á ellos la aplicacion de las leyes físico-químicas que rigen la materia inerte. No, señores, reconocemos que en los séres organizados

existen propiedades especiales que les pertenecen exclusivamente, y solo hemos querido llamar la atención sobre la importancia que los conocimientos fisico-químicos han adquirido en nuestra época, y las brillantes aplicaciones que se han hecho de ellos en nuestros días para el conocimiento de las leyes que rigen á los seres vivos.

El análisis de la naturaleza ha conducido á los sabios al estudio íntimo de los tejidos, y el microscopio nos ha revelado la existencia de los elementos anatómicos, que son el sitio, como dice Robin, en donde se verifican actos químicos de composición y descomposición constante, constituyendo la propiedad de nutrición.

Decíamos que reconocemos en los seres vivos propiedades especiales que los distinguen de una máquina. En efecto, ellos poseen la facultad de renovar constantemente su sustancia, la de desarrollarse según ciertas leyes, que les permiten reproducirse, moverse y recibir impresiones, que elaboradas convenientemente se transforman en pensamiento, juicio y actos voluntarios; todo esto como propiedad característica de la vida y perteneciéndole, exclusivamente, alejando á los seres vivos de la materia inerte. Si pues insistimos en las aplicaciones de las leyes fisico-químicas, es porque sin ellas tendríamos que explicarnos muchos fenómenos, recurriendo á concepciones abstractas que la imaginación sugiere, y que la experiencia y la observación no podrían comprobar. Concluirémos diciendo con Claude Bernard: «Es necesario evitar el enquistamiento de las ciencias porque se opone á su progreso: es preciso no aceptar sino lo que la observación y la experiencia nos comprueban satisfactoriamente. Por último, no debemos aspirar sino al conocimiento de las causas próximas de los fe-

nómenos que observamos, sin pretender buscar las causas primitivas.» Por no haber comprendido la verdad de estos asertos, el espíritu humano, deseoso de averiguarlo todo, se ha deslizado en el terreno de lo desconocido, creando sistemas que no podían satisfacer las exigencias de la ciencia, y que solo se conservan como recuerdo histórico de los esfuerzos que el hombre, en su deseo de saber, ha emprendido para arrancar sus secretos á la naturaleza.

Sentados estos principios, veamos si de su aplicación á las ciencias se obtiene el rigor en los resultados que conducen al estudio de las funciones de la vida.

Solo concretaremos nuestro punto al estudio del método gráfico; y para no hacer muy cansado este escrito, le daremos por conocido, recordando solamente los fundamentos de este método, y enviando á nuestros lectores á las obras respectivas para todo lo que concierne á la parte descriptiva.

El método gráfico es para las ciencias el idioma universal; es casi tan antiguo como el hombre; comprende signos de representación los mas naturales, y nos da idea de la forma del estado y de los cambios que sufren los objetos que él interpreta. Así es cómo leemos por este método las figuras geométricas que nos legó Arquímedes, las escenas mas ó ménos animadas que nos representan los cuadros antiguos que aun despues de veinte siglos admiramos, y esto de un modo tan claro, que los hombres de todos los países, cualquiera que sea el idioma que hablen, á la simple vista comprenden la significación de los trazos. ¡Cuán difícil seria sin este método leer una carta antigua escrita en alguna lengua muerta, para cualquiera que no tuviese grandes conocimientos en el lenguaje antiguo! Imposible seria descifrar

su significado, y la historia de la humanidad casi se habría perdido. Pero gracias á este precioso método, todo se simplifica y se hace accesible para todo el mundo. Decía que simplifica, ó mas bien dicho, sintetiza los conocimientos humanos el método de que me ocupo. Así es en efecto. Digalo si no la facilidad que en el estudio de la geografia han introducido las cartas de que nos servimos para describir la forma de los continentes, la latitud y la longitud de los diferentes puntos del globo, sus distancias relativas, etc. La mejor explicacion que se pudiera dar de todo esto, seria larga, difusa y probablemente ininteligible!

Los que hemos estudiado la anatomía, sabemos cuán ventajoso es para comprenderla, tener delante la figura que se nos describe, y ella nos basta para recordar la situacion y relaciones de los diferentes órganos. En las otras ciencias, tales como la fisica y la química, encontramos que nada simplifica mas su estudio como la imágen de los instrumentos que se nos quiere hacer conocer.

Podia suponerse que hasta aquí se limitaria la utilidad de este método, y que solo nos seria útil para apreciar la forma ó la disposicion de los objetos. No es así, sin embargo, pues que por él, podemos tener una idea bien cierta del cambio de estado y de los movimientos de los cuerpos.

En efecto, el método gráfico puede darnos esta idea completa de los fenómenos; pues qué todo fenómeno se patentiza por un acto que requiere cierto tiempo para verificarse: así un líquido que se evapora desaparece lentamente. Los cuerpos al calentarse no adquieren su máximo de temperatura sino despues de cierto tiempo. Como se ve, en estos fenómenos tenemos que conside-

rar dos cosas: el tiempo de su duracion y la intensidad del efecto producido.

De modo que si dividimos la duracion total del fenómeno en fracciones de tiempo mas ó ménos cortas, observaremos que en cada una de ellas el estado del cuerpo es diferente; por lo que para llegar al perfecto conocimiento del fenómeno, es necesario saber el estado que tiene el cuerpo á cada instante, durante la evolucion del fenómeno. Esto solo lo realiza el método gráfico. ¿De qué manera? En general, para todas las observaciones se procede del modo siguiente: Se toma una hoja de papel, en la que se trazan dos séries de líneas, unas horizontales, perfectamente paralelas é igualmente separadas las unas de las otras. Las segundas verticales y exactamente perpendiculares á las primeras, con las mismas condiciones que ellas; y se tiene de este modo de izquierda á derecha una série de columnas verticales, que convencionalmente nos servirán para señalar el estado del fenómeno en la unidad del tiempo: para la primera columna vertical es el primer minuto; la segunda columna para el segundo minuto, y así de los demas.

Las líneas horizontales sobre las que se cuentan las divisiones del tiempo, se llaman en geometría líneas de las abscisas.

Para tener á cada instante nota de la intensidad del fenómeno, se ha convenido en que éste se producirá por grados, y que el número de estos se contará de abajo arriba.

Las verticales se llaman de las ordenadas, y sirven para señalar la intensidad del fenómeno. Como se ve por estos signos convencionales, es fácil conocer el tiempo de la duracion y la intensidad del efecto producido.

Seguramente, ningun otro método simplifica mas las

observaciones; y sobre todo, en ninguno es mas fácil precisar en detal cada uno de los diversos estados que presenta el fenómeno durante su evolucion.

En las observaciones que á cada paso tenemos que seguir á la cabecera de un enfermo, el método de que me ocupo tiene sus aplicaciones mas ventajosas. En efecto; estas observaciones reclaman una exquisita memoria, ó un trabajo verdaderamente molesto; pues que despues de interrogar á cada uno de los órganos para apreciar las alteraciones que ha sufrido bajo la influencia de un trabajo patológico, es necesario consignar los datos que nos suministra el exámen diario del enfermo y compararlos, para en seguida hacer las apreciaciones que el caso sugiere, y deducir consecuencias de la mayor importancia para la ciencia.

Pues bien: este trabajo es dilatado, penoso y difícil; esto último sobre todo, pues que sin el auxilio del método gráfico, no es dado á todos el hacer el estudio conveniente de la alteracion funcional que observamos. Por ejemplo, ¿cuántas veces estamos enfrente de una afeccion de corazon, en la que domina como fenómeno importante la exageracion de los movimientos de esta víscera, de tal modo que el oído mas ejercitado apenas podria apreciar la sucesion de sus movimientos? En otras circunstancias, la interposicion de un liquido entre el oído y las paredes del corazon, hacen verdaderamente difícil el estudio del ritmo circulatario, y entónces, nos vemos precisados para fundar nuestro diagnóstico, á recurrir á esa série de signos que llamamos racionales, y que, no hay que negarlo, son un recurso precioso, pero que están léjos de satisfacer á nuestro justo deseo de averiguar con exactitud la naturaleza é importancia de la lesion; única esperanza para emprender con éxito una

terapéutica racional. En biología como en los otros ramos del saber humano se hace necesario el auxilio que nuestros sentidos reciben del uso de instrumentos que nos descubren lo que no podemos alcanzar á la simple vista. Por este medio las ciencias exactas han adquirido el grado de perfeccion que hoy tienen.

El empleo de los instrumentos permite analizar los fenómenos de la naturaleza, y sustituye el método experimental al de observacion. En suma, el análisis es la piedra angular en que se apoya el verdadero progreso de las ciencias. Por él reducimos á sus elementos mas simples el fenómeno mas complejo, y vencemos las dificultades que su estado nos presentaria sin su auxilio. En la naturaleza existen cuerpos cuya pequeñez es tal, que ha sido preciso inventar instrumentos que nos amplifiquen el objeto que estudiamos, haciéndonos dueños de esta manera de su estructura y de los movimientos que en él se verifican: sin este recurso, probablemente nunca habriamos podido conocer la naturaleza de estos seres microscópicos, y mucho ménos obtener el provecho que la anatomía comparada nos ha asegurado para el conocimiento de la importancia de los órganos que encontramos en los seres que ocupan un lugar mas elevado en la escala animal.

Los instrumentos son un intermedio entre el espíritu y la materia: sin ellos, el astrónomo, el fisico, el químico, el biologista, nada sabrian. ¿Cómo mediríamos, por ejemplo, exactamente la densidad de los cuerpos, si no tuviéramos areómetros? Y su temperatura no nos seria exactamente conocida sin el auxilio del termómetro. Por medio del polarimetro reconocemos fácilmente la existencia en una solucion cualquiera, de ciertas sustancias, sin la necesidad de un análisis detallado y laborioso, cu-

vos resultados apénas serian igualmente exactos á los que nos dá el instrumento de que hablo. Pero todavía hay mas: el empleo de los instrumentos extiende el dominio de la química mas allá del mundo que habitamos, pues que con el espectroscopio podemos, segun los caracteres ópticos de la luz de los astros, apreciar su composicion química, y afirmar que en tal ó cual planeta deben existir sustancias, como por ejemplo, fierro, azoé y cobalto en el sol, y así para otras muchas. Como se ve, con el recurso precioso que el ingenio humano nos ha proporcionado con la invencion de instrumentos, se realizan maravillas que nunca habriamos alcanzado sin este medio del análisis.

Los físicos han estudiado los fenómenos eléctricos que la naturaleza nos hace conocer con diversas formas (rayo, aurora boreal), sirviéndose de instrumentos especiales. El electroscopio nos demuestra la existencia de la electricidad atmosférica. El galvanómetro nos dice que en todas partes y en todos los séres, se desarrollan corrientes eléctricas siempre que se verifica un acto cualquiera: en el agua que se evapora, en el vegetal que se desarrolla, es el animal que vive, y todo esto pasa sin que los sentidos lo perciban; de modo que sin el auxilio de instrumentos especiales, de nada de esto tendriamos conocimiento.

Las denominaciones de corrientes eléctricas, de fuerzas electro-motrices, de tension eléctrica, etc., que nos han servido para comprender las condiciones en que se desarrollan los fenómenos eléctricos, no son mas que artificio del lenguaje, pero que tienden á desaparecer con el conocimiento íntimo de los fenómenos eléctricos.

El mismo progreso se ha realizado en la óptica por los mismos medios: así es cómo hoy la teoría de las on-

dulaciones luminosas ha sustituido definitivamente á las teorías de la irradiacion y de la interferencia. En fin, señores, largo me seria referir el adelanto que las ciencias exactas han adquirido en nuestros dias; así es que me basta lo dicho para dar una idea del progreso verificado, y sobre todo, para llamar la atencion sobre la solidaridad que tan íntimamente relaciona á los conocimientos humanos los unos con los otros. Réstanos solo hacer ver, que en biología se ha adelantado por el mismo método, y que este importante estudio nos hace conocer la necesidad de la aplicacion de los principios conquistados en las otras ciencias, para explicarnos los fenómenos vitales. En efecto: sin el recurso de la viviseccion, que es para el naturalista su modo de analizar, no nos seria posible asistir al juego de los diferentes órganos, no podriamos palparlos y poner de manifiesto su modo de funcionar. Es verdad que aunque esto nos enseñe demasiado, no es bastante, porque hemos dicho que nuestros sentidos en biología como en física, y las otras ciencias de observacion, no nos permiten apreciar mas que el fenómeno en globo, y para sus detallés es indispensable el uso de instrumentos. Con ellos se han esclarecido y comprobado los fenómenos eléctricos que pasan en el sistema nervioso y en los músculos, haciéndonos conocer mucho de la fisiología de estos importantes sistemas. Los aparatos de óptica nos permiten explorar el interior del ojo y medir con exactitud las diferentes curvaturas de los medios refringentes de este órgano, conservando la disposicion normal de sus diferentes elementos, haciéndonos formar juicio exacto del papel que desempeñan estos mismos elementos. Porque, señores, aunque la anatomía nos enseña detalles preciosos en la estructura de

los órganos, no nos es dado formar con ellos idea cabal de la funcion que en ellos se verifica; y esto se explica fácilmente: el anatómico disecciona un órgano sin vida; el fisiologista examina este órgano funcionando, y para esto se sirve de sus instrumentos; en esto está tal vez la grande importancia de la aplicacion de las otras ciencias al estudio de la biología, pues que por ellas nos es permitido conocer las funciones de los órganos en su estado normal. Los instrumentos solos pueden darnos la demostracion de los cambios que ellos sufren en su forma y su volumen mientras que están en plena funcion.

La micrometría encuentra en este caso la mas importante aplicacion. Recuérdese la gran discusion que se suscitó, á propósito de las modificaciones que sufrían las arterias con la llegada de las ondas sanguíneas, y cómo ha sido necesario que Poisseuille inventara su aparato especial para demostrar que las arterias son elásticas, y que en virtud de esta propiedad se dejan extender por la llegada de la onda sanguínea, para despues volver sobre sí y favorecer el curso de la sangre. Decia yo que sobre este punto se suscitó una gran discusion, la que como se ve no cesó, hasta que por medio de instrumentos adecuados se hizo manifiesta la imperceptible dilatacion que sufren las arterias á cada contraccion del corazon. Esta dilatacion que sufren los vasos es tan pequeña que no es perceptible á la simple vista, y para medirla, entre otros medios la micrometría nos presta un verdadero servicio.

Pero, señores, entre los fenómenos que caracterizan la vida, el movimiento es ciertamente uno de los mas importantes; se puede decir, en general, que todas las funciones se caracterizan por movimientos; y que bajo esta forma, es como se pueden analizar todos los fenó-

menos que observamos en los animales, y esto en los tres elementos mas importantes del fenómeno: la duracion, la extension y la fuerza. La duracion de los fenómenos no es fácil de medir con exactitud, cuando por ejemplo el fenómeno pasa en un cuarto de segundo, sin el auxilio de la cronometria; por ella se mide la velocidad de los proyectiles, y por ella tambien se miden los actos fisiológicos.

La extension de un movimiento se puede medir con exactitud, siempre que el movimiento nos deje una señal que podamos someter á la micrometría. La nocion de fuerza está tambien á nuestro alcance, sobre todo, desde que ella ha sido reducida al trabajo que podia verificarse, y desde que se ha relacionado á una escala gradual, el kilográmetro y sus divisiones. Con estos datos tenemos ya término de comparacion y podemos eliminar términos vagos respecto el movimiento, caracterizándolo, con respecto á su duracion, por segundos, á su extension por metros y á su fuerza por fracciones de kilográmetro.

Esta manera de caracterizar el movimiento solo nos permite apreciar su máximo y su mínimo. Era necesario estudiarlo en sus diferentes fases, conocer la forma del movimiento, indicando sus estados intermedios. Para esto nada mas á propósito que el método gráfico, por el que se ha obtenido la solucion de un gran número de problemas de la mas alta importancia.

Demostrada por lo que antecede la utilidad del método, paso á ocuparme de las aplicaciones que de él se han hecho; ántes me parece que en buena lógica podemos deducir: que en biología como en las otras ciencias, es preciso el análisis y la sintesis como los medios únicos de verdadero progreso; así como que sin el auxilio

de la ciencia fisico-química, el estudio de la biología sería una tarea casi inabordable, puesto que muchos de los fenómenos que observamos en los seres organizados, pueden simularse por medio de aparatos que realizan un efecto semejante al que encontramos en los órganos cuya función estudiamos.

En el estado actual de nuestros conocimientos este progreso es un gran paso hacia el conocimiento de las leyes biológicas, que, para decirlo de una vez, apenas comenzamos á comprender, quedándonos muchos puntos oscuros, cuyo estudio toca á las generaciones venideras: es de esperarse que con los materiales que se han reunido se podrán someter al crisol de la experiencia las diversas funciones orgánicas, y formular leyes mucho mas simples que las que hoy tenemos, desechando las hipótesis por las que se ha admitido que en los seres organizados existen fuerzas de una naturaleza especial.

---

## MÉTODO GRAFICO:

### SUS APLICACIONES.

¿Cuáles son los fundamentos del método gráfico y sus principales aplicaciones al estudio de las funciones de la vida?

El método gráfico se funda en la aplicación que se ha hecho de las leyes físicas al estudio de los movimientos de los cuerpos.

Explicaré esta idea. En el estudio del movimiento de los cuerpos, he dicho que debemos considerar su amplitud, su fuerza, su duración, su forma y su regularidad. Pues bien, estos diversos elementos de que se compone el movimiento, no siempre son perceptibles á nuestros sentidos, y muy fácilmente se nos escaparían sin el auxilio de instrumentos que los físicos han inventado. Supongamos que el movimiento que estudiamos es muy ligero, y sobre todo, de muy corta duración; difícilmente podremos estudiar sus otros caracteres, y solo tendremos una idea vaga é incompleta del movimiento. Pero decíamos que la física ha progresado de tal modo, que gracias á esto el movimiento mas leve puede estudiarse aun en sus mas ligeros detalles.

El movimiento no tiene ya misterios para el físico. Cualquiera que sea su velocidad, ésta puede ser determinada: la de la luz y de la electricidad lo han sido. La intensidad de los movimientos puede tambien valuarse; los manómetros y los resortes nos sirven para esto.

No se limita aquí el poder de la física, ella nos proporciona medios para apreciar el movimiento aun cuan-

do éste cambie á cada instante por fracciones de segundo; para esto ha imaginado aparatos que nos le pinten sobre el papel.

De esta manera nos es fácil analizarle y comprenderle. Los aparatos á que me refiero, son conocidos con el nombre de aparatos registradores de indicacion continua. Su invencion es moderna, y ya sus aplicaciones son numerosas, á la fisica, á la meteorología y á la fisiología.

Estos instrumentos tienen una importancia extraordinaria, pues que por ellos se ha introducido en las ciencias exactas el método riguroso del análisis.

En biología el conocimiento de los fenómenos se ha perfeccionado, así como se han apreciado con exactitud los síntomas de las enfermedades.

Como se ve, los instrumentos son los que vienen en ayuda de nuestros sentidos para estudiar la debilidad ó la rapidez de un movimiento.

Con estos instrumentos, aplicados á los órganos, podemos registrar la manera de funcionar de estos y hacerlos escribir su historia.

Con ellos el mas pequeño movimiento de un órgano no se nos escapa, y la precision con que se analizan estos nos ilumina el diagnóstico de las alteraciones funcionales que encontramos á cada paso en diversos estados morbosos. Son, por consiguiente, de una utilidad incontestable para el clínico. ¿De qué manera amplificáremos los pequeñísimos movimientos que se verifican en los órganos para hacerlos apreciables? La fisica viene en nuestro auxilio ofreciéndonos la palanca. Sabemos que siempre que aplicamos una fuerza cualquiera sobre una palanca, con el objeto de comunicar un movimiento ligero á la parte de la palanca que se encuentra cerca del punto de apoyo, este movimiento se siente

en la extremidad de la palanca amplificado. Si la longitud que separa el centro del movimiento del punto de aplicacion de la fuerza, es á la longitud del resto de la palanca, como 1° á 100, el movimiento será amplificado en la misma proporcion, es decir, será amplificado cien veces. De esta manera procedia Bourgougnoux para apreciar los movimientos del cerebro en la cavidad craneana: King se servia del mismo procedimiento para hacer perceptibles los batimientos del pulso venoso de las extremidades:

En cuanto al segundo problema, que consiste en medir exactamente su duracion, la física tambien nos proporciona el medio de resolverlo. Para esto son los aparatos registradores de indicacion continua. Con ellos podemos trasladar al papel señales que llenan de un modo claro su objeto; no hay mas que agregar una pluma á la extremidad de la palanca que amplifica el movimiento, y disponer convenientemente una hoja de papel que reciba el trazo de la pluma, haciendo girar de una manera uniforme la placa de papel. De esta manera, á la vez que la palanca escribe sobre el papel señales que indican el movimiento, en el papel se indica la duracion del movimiento por el camino que se observa entre cada uno de estos trazos. En estos principios se fundó la aplicacion que Vierodt hizo para los estudios fisiológicos, de la combinacion de la palanca con el método gráfico, y de allí vino la invencion del instrumento, que él llamó Sphymógrafo, destinado á registrar la pulsacion de las arterias.

Encontrado el modo de amplificar y medir la duracion del movimiento, era necesario, para estudiar el que tienen los diferentes órganos, hacer fácil de transmitir éste á una palanca que pudiera fácilmente registrarlo. Pa-

ra esto se ha hecho uso de un instrumento muy sencillo, que puede reducirse á dos ámpulas elásticas, situadas en las extremidades de un largo tubo elástico tambien; todo el aparato cerrado y lleno de aire. La manera de funcionar de este aparato no es ménos fácil que su construcción, pues que basta hacer una compresion en una de las ámpulas para desalojar el aire que ésta contiene hácia la otra, que sufre á su vez una distension. Si ponemos en contacto esta ámpula distendida con una palanca de un Sphymógrafo, los movimientos de la palanca se manifestarán por un trazo, en el que podremos leer los que pasan en el órgano que exploramos. Resumamos: el instrumento de que nos servimos para interrogar las funciones de un órgano, se compone de dos ámpulas conjugadas; de una palanca con su pluma respectiva, y papel puesto en movimiento por un mecanismo especial.

Si queremos registrar muchos movimientos juntamente, como por ejemplo, los que tienen su sitio en el corazón, necesitaremos para cada movimiento su respectiva ámpula y palanca, y el mismo papel puede servirnos para el trazo, pues basta disponer convenientemente las palancas, de modo que las plumas que las terminen se encuentren sobre la misma vertical; y el trazo será sobre líneas horizontales como las de la escritura ordinaria.

Lo dicho nos hace comprender el principio y la manera de construcción de los aparatos registradores. Réstanos solo indicar para nuestro objeto, cómo podemos aplicar estos aparatos á los diferentes órganos. En estos aparatos existen dos ámpulas que, como hemos dicho, son elásticas: á una de ellas, la que recibe la primera impresion del movimiento, se le llama ámpula ini-

cial; á la segunda, que trasmite el movimiento á la palanca, se le llama ámpula terminal. De la ámpula inicial nos serviremos para ponerla en contacto con el órgano cuyos movimientos queremos estudiar, y ella transmitirá á la palanca las diversas presiones que sufre, sea que se le introduzca en un órgano hueco, ó que solamente se le ponga en contacto con algun otro órgano.

Se comprende que la forma de esta ámpula debe ser variable como la forma de los diferentes órganos, cuyos movimientos explora y trascribe. Estas nociones bastan para comprender el modo de proceder en las diversas experiencias. <sup>1</sup> Pasemos á las aplicaciones que de este método se han hecho para el estudio de las funciones de la vida.

La primera aplicacion de un aparato registrador á la biologia experimental, se debe á Ludwig. Este célebre fisiologista se propuso apreciar cuál era la presion de la sangre en las arterias en los diversos tiempos de la circulacion. Para esto se servia de un manómetro, que aplicaba sobre las arterias, y por una disposicion que daba á su instrumento, conocia la presion de la sangre en los diversos tiempos de la circulacion.

Esta ingeniosa idea era ya un adelanto. Hales tuvo la idea de calcular la presion sanguínea por la altura á que se elevaba la sangre de una arteria, en un tubo vertical de vidrio adaptado justamente al vaso.

Esta altura media 8 á 9 piés ingleses. La enorme longitud de este tubo sugirió á Poisseuille la idea de sustituirle con el manómetro de mercurio, que es mucho mas fácil de manejar. Este instrumento tenia sus ventajas, pero no carecia de inconvenientes; entre otros, el

<sup>1</sup> Para mayores detalles véanse las descripciones especiales en las obras que tratan de la materia.

mas importante era la facilidad con que oscilaba la columna mercurial, bajo la doble influencia de los batimientos del corazon y de la respiracion. En las notas de Poisseuille y Magendie, sobre las observaciones emprendidas con su método, se ve la suma de dificultades con que tropezaban á cada paso estos célebres fisiologistas.

Ludwig, como he dicho, evadió estas dificultades, agregando al manómetro un aparato, por el que se registran todas las oscilaciones de la columna de mercurio. A este aparato le llamó Kigmografion. Los componentes mas importantes en este aparato son: un flotador que descansa sobre la columna de mercurio, y que sale del tubo del manómetro por una varilla, en la que se fija perpendicularmente á su direccion una punta ó pluma, que frota sobre un cilindro giratorio de un modo uniforme, y que traza sobre el papel de que está envuelto este cilindro, líneas ondulosas, que corresponden á las oscilaciones de la columna mercurial, y por consecuencia á la presion de la sangre.

El aparato de Ludwig no podia servir sino en la fisiología experimental, pues que exigia siempre una viviseccion: ademas, las oscilaciones que la columna mercurial tiene en todos los manómetros, bajo la mas pequeña causa, se añadian á las que la presion de la sangre determinaba; así es que las indicaciones de este instrumento no podian ser exactas, pues que introducian un elemento que era preciso evitar. Esto sugirió á Vierodt la idea de construir su Sphymógrafo, con el que se podian estudiar en el hombre los fenómenos de la circulacion arterial con bastante precision.

Hasta 1858 estos eran los aparatos de que se disponia para el estudio gráfico, y con los que Marey ensayó



repetir las experiencias que se habian hecho por sus predecesores. Pronto se persuadió de la insuficiencia de estos instrumentos, sobre todo, por la falta de semejanza en los trazos que daban estos aparatos en una misma experiencia.

La causa de este error se remedió por Marey, sirviéndose de resortes que sustituyen el peso de que se servia Viërodt, y haciendo mas ligera la palanca de registro, sin cambiar en lo fundamental la idea del fisiologista alemán. El aparato así modificado llenaba perfectamente las indicaciones que la experiencia fisiológica exigia, y con él, como vamos á demostrar, se resolvieron cuestiones que habian por largo tiempo esperado su terminacion.

Entre las cuestiones cuya resolucion definitiva debemos al cardiógrafo, una de las mas importantes es la siguiente: ¿El choque del corazon coincide con la sistole auricular, ó tiene lugar durante la contraccion del ventriculo? Esta cuestion ha sido debatida por largo tiempo entre los fisiologistas: unos aceptaban la teoría de Beau que, como sabemos, dice que la contraccion de la aurícula corresponde al choque del corazon, y es determinada por la impulsión con la que la sangre es enviada al ventrículo por la aurícula; los otros, en mayor número, aceptaban la teoría de Harvey, que sostiene que la sistole ventricular coincide con el choque del corazon. Conviene recordar que Harvey tuvo ocasion de observar en el vizconde de Montgomery, que tenia casi descubier-to el corazon á consecuencia de una herida que recibió siendo niño en la region precordial, y por cuyo efecto las costillas fueron destruidas; de manera que el corazon solo quedaba envuelto por la piel. Cuando Harvey lo examinó, el vizconde tenia diez y nueve años, y pu-

do observar que, en el momento de la sístole ventricular, se sentía el choque del corazón. En estos últimos tiempos, los fisiologistas más distinguidos han podido rectificar las ideas de Harvey, haciendo el examen de un Sr. Grou, que lleva una hendidura del esternon en su borde izquierdo, y de este examen ha resultado que era exacta la manera de ver de Harvey. Estos casos patológicos no bastaron para convencer á los partidarios de Beau, y esto, porque la sucesion de los movimientos del corazón es tan rápida, que era fácil una equivocacion. En efecto, sabemos que el tiempo que trascurre entre la contraccion de la aurícula y la del ventrículo, ha sido valuada en un décimo de segundo, y en un intervalo de tiempo tan corto, el ojo más ejercitado habría podido sufrir una equivocacion. Era preciso que la experiencia directa resolviera esta cuestion, y así lo ha hecho de la manera más satisfactoria el método gráfico por medio de sus aparatos de indicacion continua. La experiencia se ejecuta del modo siguiente:

Se comienza por servirse de un grande animal (un caballo) con el objeto de facilitar la introduccion de las ámpulas iniciales en las cavidades del corazón; además, en este animal los batimientos del corazón no son muy frecuentes, por lo que la experiencia es más fácil. Como se debe suponer tendremos que servirnos de tres ámpulas con sus respectivas palancas, pues que nos proponemos registrar la contraccion de la aurícula, la del ventrículo y el choque del corazón contra las paredes del pecho. Para facilitar la experiencia se elige el corazón derecho del animal, porque es más accesible por la vena yugular correspondiente.

La introduccion de la sonda cardiaca, prévia la ligadura de la vena yugular y la abertura de esta vena no

es muy difícil, y el animal la soporta con bastante tranquilidad. La doble sonda de que se hace uso es un instrumento muy ingeniosamente construido,<sup>1</sup> y por su medio se nos facilita la experiencia. Con este instrumento puesto en relación con el resto del cardiógrafo, podemos registrar las contracciones de la aurícula y las del ventrículo. Para registrar el choque del corazón, tenemos que aplicar una tercera ámpula que reciba la impulsión del órgano, y la trasmita á su palanca para registrar el movimiento.

Esta ámpula se introduce en el espacio intercostal correspondiente, después de practicar una incisión en la pared del pecho, que ponga á descubierto los músculos intercostales, entre los que se debe colocar la ámpula registradora.

Dispuesta la experiencia como se ha dicho, se observa sobre el papel el trazo que señalan las plumas que se encuentran en la extremidad de cada palanca y que previamente se han mojado en tinta. Las tres palancas sobrepuestas y colocadas en la misma vertical, deben escribir fenómenos simultáneos y señalar la superposición ó no superposición de las diversas curvas; las coincidencias y los intervalos de reposo.

Desde luego se había realizado un verdadero progreso por este método, pues que por medio de un aparato registrador hacíamos accesible á la observación, el movimiento de los órganos que se nos escapan por su situación. Pero hay más: si analizamos<sup>2</sup> los tres trazos que corresponden á cada una de las palancas, observamos que no hay sincronismo entre la elevación de la curva que corresponde á la contracción auricular y la ele-

1 Véase la descripción en la obra de Marey.

2 Véanse las figuras en la obra citada.

vacion de la curva que corresponde al choque del corazon; miéntras que si existe este sincronismo entre las ondas ventriculares y la que corresponde á la impulsión: de lo que deducimos, que la contraccion del ventrículo es unisona con la impulsión del corazon, y que la contraccion de la aurícula precede á la del ventrículo. Queda, pues, por este medio resuelta una cuestion de una gran importancia, pues que de hoy en adelante esta conquista nos facilita el diagnóstico de las enfermedades del corazon.

Si seguimos analizando con cuidado los trazos que nos hace el cardiógrafo, observamos, que despues de la ascension de la curva correspondiente á las contracciones de las cavidades cardiacas y á la impulsión del corazon, sobreviene el descenso de las curvas, que corresponde á la relajacion sucesiva de las cavidades del órgano.

Este análisis nos permite juzgar de la duracion respectiva de las contracciones de la aurícula y del ventrículo; basta para esto, comparar el intervalo que separa el principio del ascenso del principio del descenso, y medir por una escala de décimos de segundo el tiempo que corresponde al principio y al fin de las sístoles. Esta medida da para la sístole auricular un décimo de segundo, y para la ventricular cuatro décimos.

De la misma manera se puede medir la duracion de la impulsión; y el análisis de la curva que la representa nos comprueba la coincidencia de la sístole ventricular con la impulsión cardiaca, puesto que luego que la onda que corresponde á la sístole del ventrículo comienza á bajar, se observa un descenso rápido en la curva que corresponde al choque del corazon. En el análisis de esta curva llama la atencion que el máximum correspondiente á la impulsión de la curva ventricular, no sigue en

su movimiento de descenso, al de la curva de la sístole ventricular, sino que despues de un descenso bastante rápido, se detiene para seguir descendiendo gradualmente. Esta particularidad del trazo nos explica el mecanismo de la impulsión del corazón. Sabemos que desde Magendie se ha supuesto que la impulsión del corazón era debida á un movimiento que se suponía en este órgano; se decía que el corazón golpeaba la pared del pecho aproximándose con mas ó ménos fuerza á ella durante sus contracciones. Sabemos tambien que la impulsión del corazón es muy considerable, pues que puede en algunos mamíferos levantar un peso de muchos kilógramos.

Pues bien; para comprender la naturaleza de este fenómeno, se ha recurrido á la experiencia. Se ha puesto á descubierto el corazón de un animal vivo; y teniéndolo entre las manos mientras que estaba en acción, se ha observado que este órgano se endurecía y ablandaba alternativamente; de tal suerte, que era posible durante su relajación, deprimirle en todos sentidos, mientras que cuando se contraía se endurecía de un modo notable y se hacia globuloso, aumentando su diámetro trasversal á expensas del ántero posterior; se observaba tambien que la mano que le comprimía durante la relajación, sufría una verdadera impulsión en el momento de la sístole ventricular, y se veía que las fibras del corazón se plegaban por el acortamiento necesario á toda contracción muscular.

Estas observaciones indujeron justamente á los fisiólogos á desechar la teoría que explica la impulsión del corazón, por su desalojamiento, ó mas bien dicho, por la oscilación que se suponía que este órgano hacia dentro del pecho: basta para explicar este fenómeno, la expansión que el corazón sufre durante la llegada de la

sangre al ventrículo; y la presión que éste sufre durante la expulsión de este líquido hacia los vasos. En este acto el corazón debía recobrar la forma globulosa que había perdido en el período de relajación. La forma aplastada en el sentido lateral, es la que normalmente tiene el corazón en los animales en el período de rigidez cadavérica; de modo que si suponemos el corazón libremente suspendido en el espacio, en el momento de su contracción, este órgano debía recobrar la forma globulosa; pero este órgano está encerrado en la caja torácica, y sufre una presión en ella en el momento de su contracción de parte de los órganos que le rodean; por lo que tiende a vencer la resistencia que le oponen los órganos vecinos, y de aquí la impulsión que sobre estos se siente. Esta manera de ver es exacta: así en el hombre el corazón desciende en el plano inclinado que le forma el diafragma, por una parte, y las paredes del pecho por la otra; está por tanto deformado entre dos planos, por lo que en el momento de la sístole ventricular este órgano ejerce su presión sobre la pared que está en contacto con el ventrículo, es decir, sobre la pared torácica, y de aquí la impulsión.

Con esta explicación se comprende cómo la onda del cardiógrafo se levanta en el momento de la contracción, y cómo baja rápidamente tan luego como ésta cesa. Así sucede; pero decíamos que se nota cierta diferencia en el descenso de las ondas después que el choque ha cesado, y la onda que corresponde al choque desciende oblicuamente, mientras que la que corresponde a la sístole ventricular se sostiene: esto se debe al cambio de forma y de volumen del corazón, a medida que se vacía bajo la influencia de la sístole ventricular, pues que con el vacío del corazón disminuye la presión que el ven-

trículo ejerce sobre la ámpula intercostal. Inversamente se debe suponer, que á medida que la sangre llega al ventrículo por la aurícula aquel se dilate, y esta dilatacion nos la revela el cardiógrafo de un modo manifiesto por la ascension gradual de la curva, la que no adquiere su máximum de elevacion sino en el momento de la sístole ventricular. Podemos, pues, resumir diciendo, que el cardiógrafo nos ha enseñado la razon de la impulsión del corazon, que no debemos atribuir mas á ondulaciones de esta víscera en la caja toráxica, puesto que éstas no existen.

Estas experiencias se han practicado como he dicho sobre el corazon derecho: los movimientos del corazon izquierdo pueden tambien registrarse; la experiencia es mas difícil; esto se comprende, pues que es preciso para practicarla abrir la carótida primitiva. En vista de la dificultad de esta experiencia, se comenzó por hacer la seccion del bulbo de la medula espinal en los animales, y se mantuvo en ellos la respiracion artificialmente; despues se abrió el pecho del animal y se puso á descubierto el corazon, que en estas circunstancias podia abrirse para la introduccion en sus ventrículos de las ámpulas iniciales de un aparato registrador.

Se comprende que la experiencia así planteada no podia dar una idea exacta de la circulacion normal del ventrículo izquierdo; pero si ella enseñaba que en los dos corazones la contraccion de sus ventrículos era síncrona así como la de las aurículas. Este resultado podia preverse recordando la distribucion de las fibras musculares de este órgano, que como sabemos pasan de un ventrículo al otro y se distribuyen del mismo modo en las dos aurículas.

Con el tiempo Marey ha podido registrar las contrac-

ciones del ventrículo izquierdo sin sacrificar al animal; y el trazo que obtuvo en el aparato registrador enseñaba que era exacta la apreciación que daba la experiencia anterior por lo que toca al sincronismo de las contracciones ventriculares y auriculares entre sí. Enseñaba además que hay notable diferencia en la altura de las ondas que corresponden á las dos sistoles ventriculares; es decir, que siendo mayor la que corresponde al ventrículo izquierdo, justamente se debe suponer que la energía de este corazón es mayor que la del derecho. Se puede ver en el trazo, que la ondulación que corresponde á la oclusión de las válvulas sigmoides de la aorta, es mayor que la que corresponde á la oclusión de las válvulas de la arteria pulmonar; lo que concuerda con la diferencia de la tensión de la sangre en estos dos vasos. Esta diferencia de altura de la ondulación hace suponer que la presión que sufre la sangre en los ventrículos es desigual, y ha excitado la curiosidad de los fisiólogos que han deseado conocer exactamente cuál es la fuerza estática desplegada por el corazón durante su contracción. Las diversas experiencias que Chauveau ha practicado, sirviéndose de su cardiógrafo combinado con un manómetro, le han enseñado que tanto las presiones pasivas como las activas, varían en los diferentes individuos; y que de un modo general se puede decir, que la presión activa en la aurícula derecha equivale á (2,<sup>mm</sup>) en la izquierda es casi lo mismo. En los ventrículos: (para el derecho de 25 á 30,<sup>mm</sup>) Para el izquierdo, de 95 á 140,<sup>mm</sup>)

En el estudio que venimos haciendo de la circulación bajo el punto de vista cardiográfico, hemos visto, que por medio de los aparatos registradores se puede casi con certidumbre asistir á la función del corazón y explicar

satisfactoriamente muchos fenómenos que ántes del uso de este método eran puntos cuestionables. Para hacer resaltar aun mas la importancia de la cardiografía, diré algo de lo que ella nos enseña sobre la circulacion arterial. En efecto, por ella hemos podido definir el pulso tan claramente, que hoy no es ya posible el error en que tan fácilmente incurriamos cuando estudiábamos las diversas formas del pulso; pues que por ella tenemos justa idea de su fuerza, de su dureza, de su frecuencia y de su sincronismo con la sístole ventricular. Ella nos permite apreciar la velocidad de la sangre en los diferentes vasos, y nos da idea de la resistencia que ésta sufre en su libre curso, á medida que se aleja del corazon; ella, en fin, nos explica el dicrotismo que naturalmente existe en las arterias bajo la influencia de la elasticidad arterial, y nos hace comprender la importancia de la exageracion de este dicrotismo, en circunstancias patológicas especiales.

Resumiendo, el método gráfico nos permite estudiar con mas acierto la funcion circulatoria, aclarando muchos puntos que eran dudosos ántes del empleo de este método.

¿Sobre las otras funciones de la vida tiene alguna utilidad el método gráfico? Ciertamente. La respiracion ha sido explorada por él, y el instrumento de que se hace uso con este fin, se conoce con el nombre de Neumógrafo ó Atmógrafo. Vierodt quiso aplicar su Sphymógrafo para registrar los movimientos de la respiracion; sus esfuerzos no fueron fructuosos por la dificultad que la extrema movilidad de la caja toráxica ofrece; de modo que las indicaciones que resultan de sus experiencias, no eran exactas. Marey en su infatigable celo por el adelanto de la biologia, ha ideado un instrumento que permite regis-

trar los movimientos respiratorios, conservando á la caja torácica su libre juego.

Este aparato se compone esencialmente de una especie de faja, que en una parte de su longitud presenta un cilindro elástico. Este cilindro es de caoutchouc delgado; es hueco y está atravesado longitudinalmente por un resorte elástico. Las extremidades del tubo son una especie de casquillos metálicos, á los que se ajustan dos asas metálicas tambien, que sirven para atar las extremidades de la faja.

Un tubo lateral pone en comunicacion el interior del cilindro con un polígrafo. La manera de hacer uso de este instrumento es como sigue: Se aplica la faja á la base del pecho, se ajusta convenientemente y se observa el movimiento que el aparato registrador verifica. Los trazos de este aparato corresponden á los movimientos de la respiracion, pues que el cilindro elástico se destiende y se relaja alternativamente bajo su influencia.

La experiencia enseña que la forma del trazo está en perfecta armonía con las condiciones mecánicas de la respiracion.

El neumógrafo, tal como lo hemos descrito, solo nos sirve para el estudio de los movimientos de la caja torácica, pero no nos enseña cuáles son los movimientos que corresponden á la cantidad de aire espirado ó inspirado. El trazo que corresponde á los movimientos del aire respirado se obtiene por los procedimientos siguientes: Primero: se respira por un tubo que se adapta á un recipiente metálico bien cerrado, y se hace comunicar este recipiente con el tubo de un aparato registrador. Las alternativas de compresion y enrarecimiento del aire de este recipiente, se manifiestan sobre el aparato y dan idea de los movimientos del aire respirado. Esta experiencia

puede disponerse de otro modo. Se coloca un conejo debajo de una campana, y se adapta á sus vías respiratorias un ancho tubo de caoutchouc, que sale de la campana por una pequeña abertura que ésta tiene. Este tubo tiene por objeto facilitar la respiracion del animal, pues que está en comunicacion directa con la atmósfera. El aire de la campana se enrarece ó se condensa segun que el pecho del animal se contrae ó se dilata. Basta hacer comunicar la campana con el tubo de un aparato registrador para apreciar los cambios de volúmen que sufre el animal, y por consecuencia juzgar del volúmen del aire inspirado ó espirado. Este segundo procedimiento se aplica exclusivamente á los animales de pequeña talla. Se ve, pues, cómo el método gráfico contribuye á perfeccionar el estudio de la funcion respiratoria.

Pasemos, aunque sea ligeramente, al estudio de otra de las funciones que por su importancia reclama nuestra atencion, y veamos si el método que nos ocupa puede enseñarnos algo sobre ella. Me refiero á la funcion muscular ó de movimiento.

El movimiento es una propiedad que, por decirlo así, caracteriza al animal, pues que aun la sensibilidad se nos revela bajo esta forma: Sin el movimiento el estudio de la sensibilidad no podria hacerse experimentalmente. Él viene en auxilio de la sensibilidad para hacerla mas perfecta, así nos lo demuestra la relacion que encontramos en las funciones de la sensibilidad especial, entre ésta y el aparato motor que le es anexo.

En todos los órganos de la economia encontramos una sustancia especial dotada de la cualidad especial tambien de determinar el movimiento. Esta sustancia ha sido objeto de estudio para todos los biólogos; y aun no se puede referir á un elemento único el origen del movi-

miento, á pesar de los trabajos histológicos que se han emprendido para el conocimiento de esta sustancia contráctil. La observacion microscópica nos enseña que esta propiedad se observa en animales que no tienen forma, como por ejemplo las Medusas; y sin embargo, son extraordinariamente contráctiles: hasta ahora no nos es conocido el tejido especial que en estos animales es el sitio de la contraccion, y ménos se encuentra semejanza con el tejido que en los animales superiores le determina. Las pestañas vibrátiles de algunas celdillas epiteliales son movibles, y á pesar de que su organizacion es bastante perfecta, no se reconoce en la sustancia diáfana que las constituye el elemento especial que origina su movimiento. Otro tanto podemos decir de los zoospermos. En los animales superiores, esta propiedad de la materia viva tiene su sitio en órganos especiales (músculos ó tejidos contráctiles); estos se encuentran en todos los órganos, en el corazon y en los vasos, para determinar en ellos la funcion circulatoria. En los pulmones y en la caja torácica, para producir la respiracion; en derredor del sistema huesoso, para comunicar al esqueleto movimiento, y determinar la marcha; en suma, en toda la economía encontramos estos tejidos especiales, hasta el punto que podemos decir, que el sistema muscular es el centro de los fenómenos que se manifiestan en los séres vivos.

Cualquiera que sea la forma que tenga esta sustancia contráctil en los séres vivos, ella es modificada por ciertos agentes de un mismo modo; así es que el calor y los álcalis excitan su contractilidad, miéntras que el frio y los ácidos la disminuyen. Esta influencia especial que he mencionado, hace suponer que, aunque disímbola en apariencia, no puede ménos que ser una

la sustancia que disfruta de la propiedad de contraccion.

Esta fuerza motriz de los animales es bien manifiesta en los músculos, y en estos órganos es donde se ha estudiado con verdadera utilidad para la biología. En efecto, los músculos se nos presentan á la simple vista con caractéres especiales que constituyen sus dos variedades, y son músculos estriados y lisos. En los primeros encontramos, que no solo su aspecto los distingue claramente, sino que se distinguen tambien por la manera de funcionar. Así es, pues, que su contraccion es rápida para los primeros siempre que se excita su nervio motor, miétras que ella es lenta para los segundos. Decia que estos caractéres distintivos de los músculos se observan á la simple vista. Pues bien: el exámen microscópico de su estructura no confirma la distincion establecida á la simple inspeccion, y hoy los biólogos están de acuerdo en conservar la clasificacion de músculos de la vida orgánica y de la vida animal, por cuanto á que ella nos sirve para recordar el sitio en que se encuentra el músculo que se estudia; pero convienen en que ni su estructura ni su modo de funcionar, establecen diferencias radicales en estas dos especies de músculos. Para estudiar el aparato productor de los movimientos, los fisiólogos han elegido el aparato muscular dependiente de la voluntad, y de sus trabajos nos serviremos para resumir las nociones mas importantes que de este estudio se han obtenido.

El aparato que produce el movimiento, se compone del nervio motor que trasmite las excitaciones, y del músculo que se contrae bajo la influencia nerviosa. Estos dos elementos, que constituyen el aparato motor, son de cierto modo solidarios y juntamente independientes,

pues que el músculo se contrae siempre que recibe la excitación de su nervio motor; pero en él existe una propiedad (la contractilidad), en virtud de la que se contrae siempre que el músculo es impresionado directamente por agentes químicos ó mecánicos; de modo que estas dos propiedades que se observan en el acto muscular, son independientes, y realmente pertenecen la una al nervio y la otra al músculo. Esta manera de ver ha sido justificada por las experiencias de Bernard, de Kuhne y de Aeby. Estos experimentadores han encontrado que la contracción voluntaria de los músculos es diferente de las contracciones que determinan los agentes físico-químicos, y que estos agentes producen mas bien una sacudida en el músculo que una contracción regular.

De sus observaciones han deducido, que una contracción regular parece el resultado de pequeñas sacudidas producidas bajo la influencia de la excitación nerviosa, por lo que comparan estas sacudidas con respecto á la contracción, diciendo que ellas son entre sí como la oscilación de una cuerda al sonido que ella determinará. Así, de la misma manera que un sonido se compone de una série de vibraciones, así la contracción muscular se compone de una série de pequeñas sacudidas.

En estas consideraciones se ha fundado la teoría mecánica del movimiento muscular; ellas no bastan por ahora para el estudio de los fenómenos químicos que deben producirse durante la contracción, y que deben valorizarse por el trabajo que se verifica en el músculo en relación con la cantidad de calórico que en este acto se desenvuelve. Dejando esta última parte del problema por resolver, hasta que nuevas experiencias permitan estudiar las leyes que rigen estos fenómenos, podemos por

el momento darnos cuenta de la parte mecánica del acto muscular, y formular las leyes que presiden á este acto. El método gráfico nos las enseña de un modo claro, pues que por él las dos propiedades inherentes al músculo (contractilidad y elasticidad), son fácilmente registradas.

Los aparatos de que se hace uso con este objeto, son de lo mas ingenioso; se les llama Miógrafos, y están contruidos segun el principio que sirve para la construcción del Cardiógrafo. La manera de servirse de estos aparatos es como sigue: Se fija una rana sobre una planchita de corcho por medio de alfileres; se descubre el tendón del músculo gratro-necmiano; este tendón descubierto se ata con un hilo de fierro, la otra extremidad del hilo se fija á la palanca registradora por un gancho que ella tiene, y que puede deslizar sobre la palanca con el objeto de cambiar la distancia del punto de aplicacion de la fuerza, y ampliar mas ó ménos el trazo. Atrás de la palanca hay una lámina elástica que arregla el movimiento de ella, y sirve para oponer á la contraccion muscular una resistencia variable.

El conjunto de este aparato está colocado sobre un plano vertical. Es en este plano donde se producen las oscilaciones de la palanca bajo la influencia de la contraccion muscular, y éstas se manifiestan sobre un cilindro ahumado que gira sobre un eje horizontal. En fin, el sosten vertical del miógrafo está colocado sobre un carrito que se mueve sobre rieles, paralelamente colocados al eje del cilindro. Con esta disposicion se pueden obtener trazos de larga duracion, pues basta relacionar la traslacion del miógrafo sobre sus rieles, con el movimiento giratorio del cilindro ahumado, para obtener un trazo en forma de hélice, al que se considera co-

mo abscisa, y al que se refieren los otros trazos del aparato. Para completar el aparato, se dispone un excitador eléctrico que, aplicado sobre el nervio, determine las contracciones que se trata de registrar. Este miógrafo que acabo de hacer conocer, pertenece á Marey, y es al que se dá la preferencia en las experiencias que se practican, con el objeto de estudiar la funcion muscular. Existen otros muchos instrumentos que los biólogos han inventado con el mismo objeto; pero el mayor número de ellos ha caído en desuso, porque no daban indicaciones exactas y uniformes. <sup>1</sup>

Las condiciones que debe tener un miógrafo para llenar las necesidades de la experiencia fisiológica, deben ser:

1<sup>a</sup> El instrumento debe pintar los trazos segun un sistema de ordenadas rectilíneas, en el que sobre la abscisa se puede contar con exactitud el tiempo, mientras que sobrê las ordenadas se valúa la amplitud de los movimientos. Esta disposicion tiene la ventaja de permitir una exacta comparacion de los diferentes trazos, y ademas es fácil hacer uso en esta experiencia de los registradores ordinarios.

2<sup>a</sup> La palanca registradora deberá ser movible en el sentido de su longitud, con el objeto de amplificar el movimiento segun convenga. Así, cuando se registra el movimiento en un músculo largo y fuerte, casi no necesitará la amplificacion; pero si se aplica á un pequeño músculo ó á alguna de sus fibras, la amplificacion será necesaria.

3<sup>a</sup> Es preciso arreglar de un modo conveniente la ve-

<sup>1</sup> Véase para los detalles la historia de los miógrafos en Marey.--Jur. de la vida.

locidad con que se mueve el cilindro del aparato, y poder, por un sistema á propósito, cambiarla, pues que segun esta velocidad, así es la extension y la forma del trazo.

4<sup>a</sup> Se deben disponer las plumas que pinten los trazos, de modo que sea fácil la comparacion exacta de ellos. Esto se consigue por la superposicion de las palancas en un mismo plano vertical; de esta manera la mas pequeña diferencia en la ondulacion, corresponderá á una diferencia de la contraccion muscular, y se apreciará con exactitud.

Con estas circunstancias el miógrafo nos dará indicaciones exactas, y se podrán deducir conclusiones que resuelvan muchos problemas, aun en estudio, sobre la funcion muscular. Conocidas las circunstancias de que debe rodearse el experimentador para estudiar con fruto la funcion muscular, solo nos resta hacer notar que con los aparatos ya descritos no se puede estudiar esta funcion sin determinar una mutilacion mas ó ménos grave en el animal.

En vista de esto Marey ha inventado su pinza miográfica, con la que se practican las experiencias aun en el hombre, sin causar mutilacion alguna. Esta pinza de Marey está construida segun el principio siguiente: Cuando un músculo se contrae, disminuye en su longitud por el acortamiento de sus fibras, pero en cambio gana en espesor y en latitud lo que ha perdido acortándose. Este principio es exacto y muy conocido de todo el mundo; basta fijar nuestra atencion sobre lo que pasa cuando contraemos el biceps braquial; en este acto le sentimos duro y mucho mas voluminoso. Esto mismo sucede en la contraccion de todos los músculos. Pues bien; Marey ha aprovechado esta observacion para construir

una pinza que permite, sin mutilacion del animal, registrar el engruesamiento del músculo en experiencia durante su contraccion, y por consiguiente el acortamiento de sus fibras. Con esta pinza la experiencia fisiológica se simplifica y se obtienen nociones exactas sobre la contractilidad y la elasticidad muscular.

Estas dos propiedades rigen, por decirlo así, la funcion mecánica del músculo, por lo que daré una idea general de ellas.

La contractilidad se define por los cambios que el músculo sufre bajo la influencia de los diversos excitantes. De estos cambios solo podemos tener una idea justa por la miografía, pues que, como hemos dicho, los fisiologistas convienen hoy en que un músculo en contraccion, si disminuye en su longitud, aumenta en ancho y espesor, de modo que el músculo no sufre disminucion absoluta en su volúmen. Como la contraccion es tan rápida, sobre todo, cuando es el resultado de la excitacion del nervio motor, solo con la intervencion del miógrafo puede explorarse. La contractilidad muscular es esta propiedad, en virtud de la que el músculo cambia su forma y su volúmen. Por largo tiempo se creyó que cuando un músculo se contraía disminuía de un modo absoluto de volúmen, aumentando á la vez su densidad. Las experiencias de Swammerdam parecian corroborar esta idea. Trabajos ulteriores han venido á demostrar el error en que incurrió el autor citado, y Weber, Matteucis y Marey han probado que la disminucion de volúmen del músculo es, durante su contraccion, solo relativa, y que se encuentra compensada esta disminucion de su longitud, por el aumento de su ancho: Valentin ha encontrado que, si durante la contraccion del músculo éste aumenta de densidad, el aumento es tan pequeño

que puede despreciarse, y que para las experiencias miográficas se debe aceptar como exacto el resultado que dá la pinza miográfica de Marey, por cuanto á que basta medir la latitud del músculo contraído, para tener idea justa de su acortamiento durante la contraccion. Una vez de acuerdo en este punto los biólogos, procuraron comprender el mecanismo de la contraccion: entre los medios de que se han servido para establecer una teoría definitiva sobre su mecanismo, la Histología figura como el mas importante, pues que á él se debe la resolución de este importante problema. En efecto, una vez que se ha demostrado por los trabajos histológicos de Bowman y Brüche, que las fibras musculares no son compuestas de fibrillas mas pequeñas, unidas longitudinalmente, simulando el aspecto estriado que tienen los músculos de la vida animal, y que este aspecto solo se debe á los reactivos de que se hacia uso para la preparación anatómica, así como que los músculos son compuestos de discos aplastados, Sarcous, elementos de Bowman compilados de cierto modo y envueltos por una membrana resistente, llamada sarcolema. En suma; cuando la estructura muscular fué definitivamente conocida, se comprendió el mecanismo de la contraccion, desechando la teoría de Weber y Magendie, que, como sabemos, suponía que las fibrillas musculares se contraían en toda su longitud á la vez, y se aceptó la teoría de la contraccion por onda, ó por mejor decir, la ondulacion muscular durante la contraccion. En esta teoría la onda muscular se formaria por el hinchamiento de los Sarcous elementos á expensas de la longitud de la fibra.

La rapidez con que se verifica la contraccion la hace difícil de observar, y esta es probablemente la razon del

desacuérdo entre los observadores, acerca de su direccion y del lugar preciso de su formacion. Así es que, mientras que para algunos la onda comenzaria en el centro de la fibra, propagándose de allí á sus extremidades, para otros la onda seguiria un camino inverso; y por último, hay muchos observadores que pretenden que la onda oscila alternativamente en todas direcciones. Sabemos por los estudios histológicos modernos, que durante la contraccion *de una fibra muscular se forma una serie de ondas por condensacion alternativa de sus discos ó Sarcous elementos*. Restaba determinar cómo aparecen estas ondas y cómo se propagan en cada una de las fibras. Este problema se ha dilucidado por el método gráfico. En efecto, las experiencias de Aeby parecen concluyentes.

El observador citado se propuso estudiar el paso de la onda muscular en dos puntos de la longitud de un músculo, y procedió de la manera siguiente: Sobre una canaladura metálica colocaba un músculo cualquiera, y hacia que las dos palancas de un miógrafo descansaran sobre el músculo en dos puntos equidistantes de sus extremidades cruzando su direccion. Procuraba que las palancas se apoyaran sobre el músculo por un punto vecino á su eje de movimiento.

En estas circunstancias, excitaba el músculo en una de sus extremidades por una corriente de induccion y observaba el trazo que las plumas pintaban sobre el cilindro ahumado. Este trazo hacia ver que la palanca mas próxima á la extremidad muscular que habia recibido la excitacion, describia la primera curva y que la segunda curva correspondiente á la segunda palanca se dibujaba despues: en suma, que no habia superposicion de las curvas; y éstas conservaban entre sí cierta distancia que

podia medirse por medio de un diapason; contando el número de vibraciones correspondiente al espacio medido, se podia saber la fraccion de segundo que la onda tardaba para recorrer el espacio que separa las dos palancas.

Conociendo la longitud del músculo entre las dos palancas, era fácil deducir la velocidad del transporte de la onda muscular.

Esta velocidad era de un metro por segundo. Aeby demostró tambien, que si la excitacion del músculo se hacia por intermedio de su nervio motor, ó en toda su longitud á la vez, las ondas musculares se sobreponian en el trazo, lo que indicaba la direccion que sigue la ondulacion muscular bajo las diferentes influencias, por las que se determina la contraccion de sus discos.

De estas experiencias Aeby dedujo la teoría de la accion de los músculos y de los nervios que los animan, es como sigue: La fibra muscular se contrae en todos los puntos excitados, y esta excitacion se trasmite siguiendo su longitud. Los nervios están encargados de transmitir á los músculos por sus filetes terminales la órden de contraerse; de aquí el hinchamiento general del músculo cuando recibe la excitacion por intermedio de su nervio motor, pues que éste se distribuye en la mayor parte de las fibrillas musculares. Lo dicho basta para dar una idea de la contractilidad y de los fenómenos que bajo su influencia se desenvuelven en el músculo. Diré una palabra sobre la otra propiedad de los músculos, por la importancia del papel que desempeña en la funcion muscular.

Los músculos son elásticos, pues que pueden distenderse bajo diversas influencias, y recobrar su volúmen y dimensiones ordinarias cuando ellas cesan de obrar.

Esta propiedad en los músculos modifica de un modo notable su contractilidad, de tal modo, que puede decirse que la elasticidad absorbe en su mayor parte la fuerza motriz desarrollada en el acto muscular.

Esta influencia que ejerce la elasticidad en el acto muscular, ha hecho suponer á algunos autores, que ella es la causa próxima del movimiento en los animales, y que la contraccion no tiene mas objeto, que aumentar la elasticidad del músculo y facilitar el movimiento. Esta opinion ha sido refutada por Donders Wolkman y Van-Mansveldt por experiencias que ponen en claro el papel que desempeña la elasticidad en el acto muscular.

No todos los autores están en completo acuerdo sobre la significacion de la palabra elasticidad. Así, mientras que unos dicen que los cuerpos son elásticos cuando despues de cambiar su volúmen ó su forma la recobran por si; otros creen que la elasticidad es la fuerza con la que vuelve un órgano á recobrar su forma, la que le hace verdaderamente elástico. Este es el sentido que los autores alemanes dan á la palabra elasticidad, y es importante conocer esta manera de ver, para comprender sus trabajos sobre el acto muscular. Marey ha creído conveniente para establecer el acuerdo de los fisiologistas en esta cuestion, introducir la palabra extensibilidad, que como debe suponerse, es la propiedad que el músculo tiene de dejarse distender; y de esta manera los otros caractéres de la elasticidad son uniformemente aceptados. Así se entiende por límite de elasticidad de un cuerpo, el grado de distension que éste puede sufrir sin perder definitivamente su forma; por fuerza elástica de un músculo el esfuerzo desarrollado por éste durante su alargamiento. Este esfuerzo del músculo capaz de levantar un peso, es tanto mayor cuanto menor es la extensibi-

lidad del músculo. La fuerza elástica es en definitiva una fuerza de restitucion empleada por el músculo para alargarse; de modo que en un cuerpo perfectamente elástico, la accion y la reaccion deben ser iguales.

Los autores alemanes han dado el nombre de «módulo de elasticidad,» á la relacion que existe entre el alargamiento de un cuerpo y la diferente carga que le produce.

De las observaciones de Wertheim se deduce que el módulo de la elasticidad de los cuerpos inorgánicos, aumenta proporcionalmente al peso que soportan en tanto que no salen de su límite de elasticidad; miéntras que en los cuerpos organizados el módulo de elasticidad disminuye con el alargamiento del tejido elástico, y que á mayor peso menor alargamiento del músculo. cuando éste ha sido alargado en cierta proporcion.

E. Weber fué el primero que emprendió determinar experimentalmente la elasticidad muscular, tanto en el estado de reposo como durante la contraccion de estos órganos.

De sus experiencias en los músculos vivos y muertos, ha deducido que el músculo muerto resiste mas al alargamiento y es ménos elástico, miéntras que el músculo vivo se deja distender mucho más, pero recobra mas fácilmente su forma. El mismo autor ha encontrado en sus experiencias, que la contraccion prolongada de un músculo apénas modifica su elasticidad y la hace algo mas extensible. Donders, estudiando sobre el hombre la elasticidad muscular, ha señalado las modificaciones que esta propiedad sufre durante la contraccion. Ha elegido los músculos braquial anterior y biceps como los mas á propósito para su estudio, y su experiencia es como sigue: «Colocá el codo sobre un apoyo suave de ma-

nera que el brazo se encuentre en la vertical, en tanto que el antebrazo formando un ángulo recto con el brazo esté en la horizontal; sobre el puño ata un lazo, que por su extremidad libre sujeta un peso dado; dispone un cuadrante graduado, de modo que el codo se encuentre en el centro de cuadrante, y por tanto que los movimientos del antebrazo se indiquen sobre el cuadrante, y en estas circunstancias corta el lazo por el que el peso se une al puño y observa la desviación que el antebrazo traza sobre el cuadrante, y que corresponde al alargamiento que el músculo ha sufrido por la tracción á que ha sido sometido por el peso: este alargamiento da la medida de la elasticidad del músculo, y se encuentra que esta es proporcional al peso empleado. Encuentra también que el coeficiente de la elasticidad del músculo, es casi el mismo en los diferentes grados de la contracción; y por último, que en la fatiga muscular disminuye el coeficiente de la elasticidad y aumenta su extensibilidad. Estos trabajos de Donders han dado una gran luz á propósito de la elasticidad muscular, pero su estudio no se ha perfeccionado sino después de la introducción del método gráfico.

En efecto, Marey ha ideado aparatos registradores por los que se explora la elasticidad muscular; sometiendo un músculo cualquiera á tracciones gradualmente crecientes, y en tiempo proporcionado al aumento del peso. De sus experiencias resulta que es exacta la conclusión que Wertheim había deducido del estudio de la elasticidad de los cuerpos inorgánicos y organizados. En efecto, este autor, procediendo por comparación, ha encontrado que los cuerpos inorgánicos tienen como expresión geométrica, durante su contracción, una recta oblicuamente dirigida entre la abscisa y la ordenada corres-

pendiente; mientras que la expresion geométrica de la elasticidad de los cuerpos organizados es una hipérbole; de donde se deduce que los cuerpos inorgánicos se alargan proporcionalmente al peso que sustentan, mientras que con los organizados este alargamiento disminuye con la carga que sirve para poner de manifiesto su elasticidad. El método gráfico permite registrar la contractilidad y elasticidad musculares, y esto en las diversas circunstancias de los músculos, ya sea durante su actividad ó en pleno reposo, así como nos permite comprender los cambios que estas propiedades sufren bajo las multiplicadas influencias que modifican estas propiedades, haciendo variar el tipo de la onda muscular correspondiente. Es por su intermedio que nos ha sido conocida la influencia que tienen sobre la contractilidad de los músculos el frio, el calor, la diferente carga que levanten; y la continuidad del influjo nervioso motor directo y reflejo; basta para tener idea exacta de todo esto, analizar las ondas que los Miógrafos trazan bajo cada una de estas influencias. En efecto, bajo la influencia del frio los músculos sufren una especie de parálisis temporal, y la sacudida que en ellos se determina por una corriente inductora, es de una duracion mayor que la normal. Así nos lo enseña la oblicuidad de la línea de descenso que le corresponde en la experiencia miográfica.

Esta línea de descenso tiene una gran semejanza con la que se obtiene cuando se somete un músculo á la experiencia miográfica, despues de la ligadura de los vasos que le suministran su nutricion. Ni podia ser de otra manera, pues que el resultado de la aplicacion del frio sobre un músculo, es la exageracion de la contractilidad de los vasos que le dan su nutricion; de modo, que si su accion es prolongada, el músculo se encuentra

mal nutrido y en un estado semejante al que determina la ligadura de sus vasos. Por otro lado tenemos que el calor modifica notablemente la sacudida muscular, y esto de la manera siguiente. El aumento de la temperatura de un músculo, en tanto que ésta no pasa de  $35^{\circ}$ , aumenta la rapidez de la sacudida y su energía; pero mas allá de esta temperatura se observa una disminucion notable en la longitud de la línea de descenso. La causa próxima de esto, es probablemente la coagulacion que sufre la Myosina bajo la influencia del calor elevado; en virtud de esta elevacion de temperatura, la fibra muscular se hace rígida, se acorta, y no permite su distension. Como se ve, seria muy interesante comparar la modificacion que sufre la funcion muscular en relacion con la coagulacion de la Myosina bajo la influencia de la elevacion de temperatura. Este estudio se ha emprendido por el método gráfico, y ya se han obtenido muchas útiles indicaciones que probablemente servirán para comprender la íntima relacion que existe entre las modificaciones químicas que se producen en la sustancia muscular bajo la influencia de los agentes que como el calor y otros, modifican sensiblemente la funcion mecánica del músculo.

Otra de las aplicaciones del método que estudiamos, es la del estudio por su intermedio del fenómeno que se conoce con el nombre de fusion de las sacudidas musculares.

Helmholtz habia observado que cuando se determinaban dos excitaciones eléctricas sucesivamente en un nervio, no se producía mas que un movimiento en el músculo al que se distribuye, y esto por la fusion de las ondas musculares correspondientes á cada una de las excitaciones. Este resultado se obtenía por el miógrafo

que el citado autor empleaba para sus estudios, y de estos dedujo Helmholtz que bajo la aparente inmovilidad que se observa en una fibra muscular tetanizada, se ocultaban una serie de ondas confundidas por la rapidez de su sucesion. Ya en 1846 Weber decia que la contraccion voluntaria es un fenómeno del mismo orden que el tétanos artificial, y como un músculo contraido da un sonido que corresponde á treinta y dos vibraciones por segundo, creyó que podia decir de un modo absoluto que este número de vibraciones es el que tienen los músculos del hombre en los momentos de la contraccion voluntaria. La comprobacion de estas ideas se ha obtenido por la introduccion en estos estudios de los instrumentos miográficos perfeccionados por Marey; ellos nos hacen conocer la exacta fusion que se determina en las ondas correspondientes á las sacudidas musculares, siempre que estas sacudidas son muy repetidas. Despues que se hubo reconocido la exactitud de estas experiencias, se comprendió el mecanismo en virtud del que se produce el tétanos y las diversas influencias que lo modifican.

El estudio de los movimientos provocados en los músculos y las modificaciones que ellos sufren bajo la influencia de los diferentes agentes, ha esclarecido los conocimientos que se tenian sobre la contraccion voluntaria del aparato muscular.

Para terminar este imperfecto resúmen que vengo haciendo de este interesante estudio, daré una idea de la teoria que es mas universalmente aceptada sobre la contraccion voluntaria.

La contraccion voluntaria es formada por sacudidas múltiples. Esta proposicion fué emitida por Weber y deducida de la generalizacion del principio conquistado por

el conocimiento de la contraccion provocada artificialmente. En efecto, Weber probó que el tétanos eléctrico era el resultado de excitaciones repetidas sobre el nervio motor de un músculo cualquiera, y que las ondas musculares que estas excitaciones producian, se confundian en una sola cuando el número y la repeticion de las excitaciones era muy considerable; de aquí generalizando dedujo, que la contraccion voluntaria era una especie de tétanos, regido por la voluntad. Weber decia, esto es tan cierto, que cuando no es posible esta fusion de las ondas producidas, durante la contraccion voluntaria, se observa una interrupcion en las diferentes ondas; de aquí el temblor que observamos en los paralíticos.

Esta manera de apreciar la contraccion voluntaria, encontró un apoyo, en el descubrimiento del sonido que dejan oír los músculos durante su contraccion: éste no podia ménos que ser el resultado de un cierto número de vibraciones que la fibra muscular ejecuta durante su contraccion.

En otra parte he demostrado la existencia de estas vibraciones por las experiencias gráficas que como sabemos nos las hacen conocer por la amplificacion que los aparatos registradores imprimen en el trazo correspondiente á cada una de ellas.

Segun esto, podemos en el estado actual de nuestros conocimientos, aceptar la teoría de la fusion de las sacudidas musculares; y solo nos resta dar una idea del mecanismo con que ellas se producen.

Este mecanismo es muy semejante al que determina en el aparato circulatorio la continuidad de la corriente sanguínea.

Recordarémos que la continuidad del escurrimiento sanguíneo en las capilares, es debida á la elasticidad de

esos vasos; y esta propiedad puesta en juego durante la sistole ventricular, almacena, por decirlo así, una cierta cantidad de la fuerza que la contracción del corazón ha comunicado á la sangre. Esta fuerza es devuelta al líquido sanguíneo, en virtud de la elasticidad, y de aquí la continuidad de la corriente en los capilares. Pues bien: en el aparato muscular encontramos esta misma propiedad, y es por ella que la fibra muscular guarda una cierta cantidad de la fuerza que se desenvuelve en el momento de la formación de una onda, para devolverla cuando la onda está completamente formada y durante su curso. Esta fuerza motriz solo desaparece cuando la onda termina. Es, pues, la elasticidad que regulariza el movimiento muscular, de la misma manera que el movimiento circulatorio. Esta propiedad nos explica cómo con una fuerza relativamente pequeña podemos levantar pesos enormes, pues que por ella el esfuerzo que empleamos se utiliza ventajosamente sin que se pierda una gran parte, como sucede cuando el esfuerzo es transmitido por intermedio de un resorte inextensible.

Por lo que antecede se puede comprender la utilidad que la biología ha alcanzado con la introducción del método gráfico para el estudio de las funciones de la vida. En verdad que aunque muy incompleto este resumen, dá sin embargo idea del nuevo método de análisis de los seres organizados, y abre un ancho campo á la curiosidad de los hombres celosos por el engrandecimiento de la medicina. La importancia de este estudio, así como lo poco conocido de él, me impelió á elegirlo como asunto de tesis para mi concurso. Bien persuadido de que en mi insuficiencia no me sería posible señalar más que sus aplicaciones más importantes, y disgustado por la mala interpretación que tal vez he hecho de los

notables trabajos que los biólogos modernos han publicado sobre este asunto; réstame, para concluir, suplicar al respetable Cuerpo de mis ilustrados compañeros, se dignen ver en este trabajo, no el escaso mérito que él tiene, ni sus muchos defectos, sino el deseo de contribuir con mi grano de arena á divulgar los progresos que la biología ha realizado en estos últimos tiempos.



...

...

...

...