

Ciencia e Investigación

61 (1-3) 2011

CeI

ASOCIACION ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS

Primera revista argentina de información científica. Fundada en enero de 1945.



pág. **5**

**El reciente
accidente nuclear
en Japón**

pág. **45**

Información complementaria

- Zirconio e hidrógeno
- Fusión del núcleo de un reactor
- Terremotos

pág. **59**

**ADN y genética
forense**

pág. **83**

**E. Braun
Menéndez**

pág. **71**

Oso Andino

pág. **99**

**Del Arte de la
Investigación**

pág. **111**

**Mincyt, Ciencia
Argentina**

pág. **115**

Más información



EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Directores

Dr. Alberto Baldi

Dr. Miguel A. Blesa

Dr. Marcelo Vemengo

Editores Asociados

Dr. Guillermo Juvenal

Dr. Claudio Párica

Dra. Alicia L. Sarce

Dra. María X. Senatore

Dr. Ángel M. Stoka

Dra. Marta Toscano

Dr. Norberto Zwirner

Dr. Juan R. de Xammar Oro

CIENCIA E INVESTIGACIÓN

Primera Revista Argentina de información científica.

Fundada en enero de 1945

Es el órgano oficial de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Teléfono: (+54) (11) 4811-2998

Registro Nacional de la Propiedad Intelectual

N° 82.657.ISSN-0009-6733

Lo expresado por los autores o anunciantes, en los artículos o en los avisos publicados, es de exclusiva responsabilidad de los mismos.

Ciencia e Investigación se edita on line en la página web de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)
www.aargentinapciencias.org

En esta edición

EDITORIAL

Devastación en Japón

Juan C. Almagro

3

ARTÍCULOS

El reciente accidente nuclear en Japón

Juan C. Almagro, Raúl Racana

5

INFORMACION COMPLEMENTARIA

El zirconio y la formación de hidrógeno durante el accidente de Fukushima

Miguel Blesa

45

Fusión del núcleo en un reactor nuclear. Accidentes severos

Oscar Mazzantini

47

Terremoto en el Japón. Algunas consideraciones

Carlos Rinaldi

53

Análisis de ADN y genética forense

Pablo Nosedá, David Gangitano, Guillermo Juvenal

59

Biología y origen del oso andino, el único oso sudamericano

Sergio G. Rodríguez, Leopoldo Soilbenzon

71

Las Universidades en la Argentina en el pensamiento de E. Braun Menéndez (1903-1959).

Sus artículos en Cel (1955 y 1959)

Abel Luis Agüero, Edmundo Cabrera Fisher

83

Del arte de la investigación. Segunda parte

Enrique Segura, Claudia Marro

99

Argentina: Un nuevo modelo de ciencia

Prensa, Mincyt

111

Anuncios, Notas de interés, Cursos, Reuniones Científicas, Premios

115

... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre los trabajadores científicos que cultivan disciplinas diversas y órgano de expresión de todos aquellos que sientan la inquietud del progreso científico y de su aplicación para el bien.

Bernardo A. Houssay



Del Arte de la Investigación

Segunda parte

Enrique T. Segura, Claudia T. Marro
IBYME-CONICET

esegura@dna.uba.ar

Introducción

Tal como se afirma en la primera parte de este artículo (Segura E.T., C.T. Marro; CeI 60(2), 2010), y de acuerdo con la opinión de grandes artistas, de la talla de Leonardo entre los clásicos y de Kandinsky, entre los modernos, la existencia de ciertas prácticas asimilables a las científicas, en los pasos de lo que hasta aquí hemos denominado **investigación** en el arte, parece evidente. Por otro lado, no faltan obras actuales que, desde el título, aluden a una estrecha vinculación entre ciencia y arte. Tal es el caso del conocido texto de Martin Kemp, *La Ciencia del Arte* (2007), un excelente tratado acerca de los fundamentos científicos de la perspectiva a través de la historia de las artes vi-

suales. Sin embargo, nuestro interés mayor al emprender este ensayo, ha sido y sigue siendo muy diferente y consiste en tratar de establecer, si existen, analogías posibles en el quehacer de artistas y científicos en cuanto a su actitud frente a las etapas de la creación. En primer lugar, el concepto de originalidad, respecto del correspondiente producto y, a continuación, decidir si caben las concepciones estéticas y aun la noción de belleza en el trabajo científico.

Recurriremos otra vez, a esa figura fundamental del Renacimiento y del Arte Universal, Leonardo da Vinci quien, en su famoso *Tratado de la Pintura*, nos ha dejado minuciosas declaraciones que dan prueba inequívoca de su vocación tanto

de artista como de científico. Dice Leonardo: "De las ciencias imitables y de cómo la pintura, siendo inimitable, es ciencia", "aquellas ciencias que son imitables, tienen la característica de que en ellas el discípulo se hace semejante al autor, y de la misma manera obtiene su fruto; éstas son útiles al imitador, pero no tienen la excelsitud de aquellas que, a diferencia de las otras materias, no pueden dejarse en herencia. Y de entre ellas, la pintura es la primera; ésta no se le puede enseñar a aquel a quien la naturaleza no se lo otorga, como sucede con las matemáticas, en las cuales el discípulo aprovecha tanto como el maestro le lega".

En cuanto a Nietzsche, cabe mencionar, entre las numerosas afirmaciones que nos persuaden

de su parecer frente a las similitud que percibe entre el arte y la ciencia, el siguiente párrafo de El origen de la tragedia (2007), "la ciencia tiene en común con las artes, que una y otras ven los hechos cotidianos de una manera completamente nueva y atractiva, como traídas a la existencia como por arte de encantamiento, como vistas por primera vez. La vida es digna de ser vivida, dice el arte; la vida es digna de ser estudiada, dice la ciencia". Sin duda, es en el terreno de las llamadas Ciencias Exactas, que se dan las mejores condiciones para el hallazgo de demostraciones elegantes y económicas, pasibles de ser consideradas en su perfección estética. Tal vez tenga alguna relación con esta propensión del quehacer matemático, por ejemplo, el modo de pensar y crear en la disciplina que se ha conservado inalterado en el curso de los siglos (Segura E.C.; Cel 60(1), 2010).

Así, no parece muy diferente la actitud casi religiosa con la que Pitágoras de Samos, seis siglos antes de nuestra era, dirige su mirada a las relaciones entre los astros o los sonidos de una lira y ve su sistema de armónicos, hecho materia y sonido. Sigue con esta misma concepción, Benoit Mandelbrot, cuando, bien avanzado el siglo XX, enseña que "la Naturaleza es fractal". Lo mismo cabe decir de Newton, cuando afirma que "este bellísimo sistema de planetas y cometas, sólo podía proceder del criterio y dominio de un Ser inteligente" o de Einstein quien se refiere a las matemáticas

como el saber que "nos lleva a la región de la necesidad absoluta, a la que no sólo nuestro mundo, sino todos los mundos posibles, deben someterse" (Segura E.C.; Cel 59(3), 2010).

Qué debiera tomar, en todo caso el investigador científico, del artista plástico, para acceder, aunque más no sea a un mínimo de la libertad que le niega el modelo normal de hacer ciencia?. Ambos deben aprender a hacer buenas preguntas. En los dos casos, las buenas preguntas son la clave de las hipótesis que tratan de producir (generar), las mejores respuestas. Lograrlo, supone el desarrollo de una estrategia y la serie de tácticas (técnicas), mejor elaboradas. En ambos, la pretensión de máxima es sin duda, el logro de la innovación creadora. Está claro que en el caso del artista, la idea de ser original, de innovar, resulta necesariamente subversiva, pues constituye un ensayo por superar la tiranía de cualquier canon del pasado o contemporáneo. Constituye, por así decir, el prototipo (arquetipo), de la ruptura total con lo previamente establecido, como se ha dado muchas veces en la historia del arte. Tales los caso de Caravaggio en el barroco o de Picasso y Braque, con el cubismo en la época moderna. Hoy, esto parecería muy improbable pero no inconcebible.

La situación del investigador científico, en cambio, es radicalmente distinta. Cautivo voluntario y absoluto de la tiranía del método, está muy lejos de la posibilidad de procurarse el más mínimo aliento de libertad en el

territorio cristalizado de lo que llamamos siguiendo a Kuhn (1962), la ciencia normal. Todos los resultados de su indagación deberán superar el fino tamiz de la crítica de los expertos y, aquel que se aparte de las concepciones ortodoxas, será inmediatamente sancionado como una anomalía (también en el lenguaje kuhneano), y por ende rechazado de plano por el sistema de conocimiento vigente. La inmediata consecuencia será que el investigador que aspire a integrarse en el círculo (circuito), de la producción de una disciplina determinada y mantenerse en ella, se halla absolutamente obligado a producir conocimientos normales, esto es, no transgredir, de ningún modo, los cánones establecidos y, por añadidura, a ganarse por medio de esa producción de conocimientos normales, la buena disposición y el beneplácito de sus jueces naturales sean estos sus maestros, jefes, árbitros, evaluadores o pares.

Para mencionar sólo dos de las cualidades que artista y científico debieran compartir (ciertamente habrá otras), tenemos en principio la autenticidad y la libertad. La primera, consiste en la devoción ciega por la verdad y más precisamente por "su" verdad individual. Esto es, estar dispuesto a sostener hasta el límite de sus potencias físicas y mentales, la validez de sus hipótesis, teorías y modos de crear en su disciplina así como a los resultados concretos. Pero, ¿qué queremos decir estrictamente cuando hablamos de autenticidad en un artista y qué en el caso de un

científico?. En este punto, no es posible ya continuar, sin aludir al tema de la libertad. Porque aquí, las sendas se separan. El artista, puede aspirar a combinar autenticidad y libertad hasta las últimas consecuencias, aunque en realidad, lo logre pocas veces. El científico en cambio, se encuentra atrapado sin salida entre el rigor del método y el de la autoridad. Así pues, arte y ciencia, se encuentran entre la libertad y la autenticidad, y sus caminos, respecto de la primera se cruzan sólo en el origen, esto es, en el momento de la elección del modelo o del tema. En adelante, la libertad absoluta será atributo permanente para el artista, en tanto la esclavitud frente al rigor del método y la autoridad del conocimiento vigente, será fatal para el científico. Sólo algunos elegidos podrán superar las objeciones del sistema, unas veces por los pares evaluadores, que no aceptan los resultados alternativos que tiendan a reemplazar los datos ya consolidados y asumidos como verdaderos por la mayoría. La ciencia es, hay que decirlo, conservadora por definición, en tanto que el arte promueve el cambio permanente por naturaleza. Tal vez esto equivaldría a decir que la primera es drásticamente apolínea y la segunda radicalmente dionisiaca?.

En cuanto a la autenticidad, pareciera que existen matices diferenciales en su significado en relación con cada una de las actividades. Así, en el artista, la autenticidad es una cualidad estructural que, dada por construcción, nos conduce nece-

sariamente hasta la fibra más íntima de su sensibilidad, constituyéndose sin más, en la razón esencial de su quehacer y de su honestidad profesional, con independencia de cualquier otro valor. En este punto vale la pena mencionar a Rilke cuando, en sus Cartas a un joven poeta (2004), en respuesta a su pedido de opinión acerca de su trabajo, escribe "ponga a prueba si extiende sus raíces hasta el lugar más profundo de su corazón". Para el científico, en cambio, la noción de autenticidad tiene otro alcance y se define en un espacio mucho menos subjetivo. Se atiene sustancialmente a los hechos de su realidad en general y singular, en permanente contrastación con la idea de verdad o, para mayor precisión, con la noción empírica de verificación. Y aquí aparece otro componente central que distingue las relaciones entre ciencia, investigación y producción artística. La dimensión ética. Atrapado en su búsqueda exasperada de originalidad creativa, el artista se remite en forma excluyente a la dimensión estética de su quehacer y no existe ninguna otra motivación que logre apartarlo de tal actitud definitivamente obsesiva. Su motor es nada menos que la noción extrema de libertad absoluta que lo lleva a romper todas las barreras y a subvertir cualquier canon. El científico en cambio está absolutamente sujeto a los rigores de la ética, sin cuya vigencia no existe ciencia posible. Es probable que, precisamente en este dominio, exista un espacio para la interpretación estética de la obra del

científico. Nos referimos, a la belleza del gesto solidario y en extremo delicado que anima muchas veces su quehacer, cuando dirige sus mejores esfuerzos y hasta el sacrificio personal, en pos de resultados que sirvan para superar alguno de los muchos males y carencias que afligen a la humanidad, desde la enfermedad hasta el hambre. Todo ello por encima del beneficio material, o el prestigio y la gloria. Felizmente abundan los ejemplos.

Antes de pasar a describir algunos experimentos que, a nuestro entender, presentan aspectos verdaderamente compatibles con una dimensión estética, haremos mención de un hecho que identifica claramente a investigadores científicos y artistas en el momento clave de la creación: la contemplación de la obra realizada. No cabe duda alguna, que la sensación de triunfo frente a la larga confrontación ante los azares de la inspiración y de las rutinas cotidianas, que demanda la creación, el estado de embeleso y arrobamiento, placer e iluminación, frente al resultado final trabajosamente alcanzado, es enteramente comparable en ambos casos. Para el artista frente a la imagen de su obra, para el científico, la perfección de curvas y gráficos.

Cómo hacer para que la ciencia cambie, si es que debe cambiar?. Resulta claro que el mantenimiento riguroso del método, es esencial y, que en este punto, no pueden haber vacilaciones. Sin embargo, es posible que, en ocasiones, los resultados alcan-

zados por el científico, impliquen una cierta discrepancia con los cánones vigentes y sin embargo, susciten un grado variable de justificada resistencia a su completo rechazo. Esto ocurre, no pocas veces, en el trabajo experimental, cuya validez está habitualmente sujeta a los rigores de la estadística, cuando los resultados finales de una serie de pruebas, arrojan valores marginales, ofreciendo por lo tanto, un espacio potencial para la duda. Ante observaciones en ese dominio, con una cierta tendencia manifiesta hacia la significación, el investigador puede, legítimamente, sentirse inclinado a vacilar entre el rechazo frontal y la aceptación provisoria. En consecuencia, tal vez fuera recomendable no abandonar aquellos caminos que, denunciados como anómalos por las teorías vigentes, presentan perfiles de ambigüedad compatibles con un examen más exhaustivo. En otras palabras, propiciar en tales casos, el análisis preferencial de las anomalías, en lugar de mantenerse rigidamente en el dominio de la normalidad. Es bueno mencionar, por otra parte, una diferencia esencial entre la obra de arte y la científica. La primera, cualesquiera sean sus méritos y en especial si éstos son grandes, una vez terminada, no admite cambio ni retoque alguno. Persistirá dentro o fuera de la memoria universal tal y como fue dada por concluida por su creador. En el caso del científico, en cambio, su producto final es, fatalmente provisorio. Siempre, absolutamente siempre, cabe esperar que un

resultado tenido por definitivo en un momento determinado de la historia de una disciplina, tarde o temprano, deba ser reconsiderado, perfeccionado o directamente desmentido y desechado, en base a las nuevas evidencias. Una obra de arte, lleva toda su verdad consigo, el trabajo científico, contribuye a lo sumo con lo que eufemísticamente se menciona como "verdades provisorias". La obra de arte, por su carácter singular y único, goza para siempre de una identidad irreductible, en cambio, los resultados científicos más afortunados, son los que precisamente se integran al fluir del conocimiento en una perfecta mimesis, que los muestra totalmente asimilables al paradigma científico vigente.

Tendría sentido aplicar criterios estéticos a las bondades de un experimento? En otras palabras: puede un experimento de las Ciencias Naturales, merecer el calificativo de bello?.

Transcribimos a continuación, un párrafo extractado del trabajo del matemático Enrique C. Segura (2010): "Cuándo puede ser considerado bello un teorema?. Cuando lo que sostiene, esto es, lo que postula y demuestra plenamente, da cuenta de una propiedad en forma elegante, cerrada, concebible, del mundo de las formas y las estructuras posibles. También puede haber belleza en el método, en la destreza, en el donaire con que se ejecuta una demostración y la economía de pasos (deductivos, inductivos, constructivos), que permiten arribar a la conclusión". Nos parece natural suscribir sin

reservas, esta lúcida afirmación del autor, a propósito de nuestras propias investigaciones.

Experimentos bellos en la historia de la Neurociencias

Desde nuestra disciplina, las Neurociencias, trataremos de presentar algunos ejemplos clásicos y modernos, de experimentos que, según nuestra opinión, exhibirían alguna característica compatible con las ideas corrientes acerca de la belleza, que potencialmente compartiría el común de la gente. Para ser más precisos, nos referiremos a ciertas demostraciones experimentales sencillas y a nuestro juicio, elegantes que, en el curso de la historia de las neurociencias, han permitido interpretar con precisión las propiedades y funciones de los tejidos excitables. Intentaremos realizar un breve recorrido histórico que, a través de la cronología, permita una secuenciación articulada y coherente, que vincule diversos descubrimientos desde las primeras observaciones de la electricidad biológica hasta el desarrollo de la neurofisiología del siglo XX.

1- El Descubrimiento de la Bioelectricidad

El tema que nos plantearemos ahora, ofrece grandes atractivos y también importantes dificultades. Tal vez, una forma de abordarlo sería decidir, en primer término, cuál de las propiedades del sistema nervioso, apareció como más inmediatamente ostensible en tanto propiedad de la

materia viva frente a la observación directa. Quizá estaríamos de acuerdo en que esa propiedad básica es la reactividad, esto es, la capacidad de los organismos de responder a estímulos. En términos actuales, tal propiedad de los seres vivos, entraña por definición una de las funciones primarias de ciertos tejidos, como el nervioso y el muscular: la excitabilidad. El descubrimiento y la descripción precisa de las funciones de estos tejidos excitables constituye, sin duda, uno de los capítulos más apasionantes de la historia de las ciencias fisiológicas y su camino se ha visto sembrado de observaciones y experiencias, que sin duda ofrecen algunas características propias del hecho estético. No estaría mal comenzar por aludir al más trivial y cotidiano de los fenómenos relacionados con la reactividad y la excitabilidad: el dolor físico. El dolor es una sensación desagradable y aversiva, promovida por señales externas o internas que actúan sobre ciertos órganos llamados receptores nerviosos, capaces de percibir diferencias en la calidad e intensidad de los estímulos. El estímulo de intensidad mínima que puede ser percibido, se denomina umbral. Cuando la intensidad del estímulo supera en mucho al umbral, puede ocasionar dolor. Tanto la percepción umbral, como el dolor, así como también el movimiento muscular, son experiencias posibles solo gracias a la excitabilidad. Es obvio, que el humano prehistórico, debió tener conciencia del movimiento muscular y hasta pudo haber in-

tuido la distinción entre voluntario y reflejo. Incluso, la relación entre vigilia, conciencia y actividad motora en sus diversas variantes: movimientos segmentarios, marcha, carrera, bipedestación, equilibrio, etc., y sus mecanismos, debieron atraer la atención del hombre vulgar y del estudioso en el mundo precientífico. No en vano los sabios filósofos presocráticos se llamaban físicos y el libro V de la Física de Aristóteles, describe con detalles, precisamente, ciertas conductas motrices humanas.

Según la tradición, fue un presocrático, Alcmeón de Crotona, de alguna manera relacionado con los pitagóricos, quien aparece como el primero en vincular, en el Siglo VI A.C., el cerebro con la conducta y con ciertas patologías como la epilepsia. Si así fuera, no cabría dudar que Alcmeón debió también advertir la relación del cerebro con los movimientos corporales, tanto voluntarios como reflejos y por ende con la excitabilidad en su sentido más amplio.

De todos modos, la humanidad debió esperar más de mil años después de Alcmeón y seguir sosteniendo la teoría mágica de que los así llamados espíritus animales que (desde los sumerios hasta Aristóteles, al Medioevo, el Renacimiento, Descartes y después), fluían a través de nervios supuestamente huecos como tubos, accediendo al músculo y dilatándolo, para generar por fin misteriosamente, su contracción.

Recién en el siglo XVIII todas estas fantasías se disipan y la

noción de excitabilidad ingresa en la era científica, gracias inicialmente a Luigi Galvani (1737-1798), quien logró realizar con recursos insólitos ciertas demostraciones básicas.

Galvani descubre la bioelectricidad en el laboratorio mayor de la naturaleza

Fue un físico, profesor de la Universidad de Bolonia, Luigi Galvani, quien tomó por cierta la versión sostenida por su contemporáneo americano Benjamin Franklin, cuando afirmó por vez primera que la electricidad es un fluido de carácter estrictamente físico y no un ente inmaterial misterioso como se venía repitiendo desde antiguo. El mismo Franklin, conjeturó correctamente, que los rayos constituían descargas naturales de electricidad y, este aserto, fue la clave que llevó a Galvani a convertirse por una intuición brillante en el afortunado descubridor de la electricidad animal, en un experimento realizado en el laboratorio mayor de la Naturaleza. En efecto, Galvani tenía un laboratorio a cielo abierto en un balcón con reja de hierro, del cual colgaba sus preparaciones experimentales: ranas espinales colgadas con ganchos de bronce. En este asombroso laboratorio, comprobó primero que en los días tormentosos, las ranas respondían con contracciones de las patas posteriores ante cada relámpago, conjeturando correctamente, que la electricidad atmosférica funcionaba como un gigantesco es-

timulador natural. La segunda comprobación fue que, aun en ausencia de descargas atmosféricas, el simple contacto del bronce con el hierro, provocaba igualmente la contracción. La interpretación de Galvani en este último caso no fue acertada, ya que supuso que la contracción era debida a la existencia de electricidad intrínsecamente animal. Sin embargo, la refutación posterior, correctamente realizada por otro sabio italiano Alessandro Volta, quien demostró que se debía a la descarga producida por el contacto de dos metales diferentes, condujo a la invención de la pila eléctrica, "uno de los pasos tecnológicos mayores de la historia de la ciencia" (Brazier, 1959).

En nuestra opinión, sería imposible negar que las observaciones descriptas, exhiben ciertos rasgos de simplicidad fáctica, economía, resonancia natural y hasta telúrica, que van más allá de su extraordinario valor estrictamente científico y darían pie para una interpretación definitivamente estética.

Las etapas de la Reactividad

Hemos tratado de describir de modo sencillo, las circunstancias que dieron por resultado, ese extraordinario hallazgo de Galvani, que inicia el camino del conocimiento científico de la excitabilidad y de la electricidad animal. Haremos ahora una síntesis de algunos de los pasos subsiguientes más relevantes, aludiendo a experimentos que, por su sencillez, elegancia y fuerza demostrativa, merecerían

también el calificativo de estéticos, desde nuestra perspectiva. Para ofrecer al lector una versión sintética del fenómeno reactividad, es necesario aludir a las etapas que debe atravesar la información que circula por las redes nerviosas en la forma de potenciales eléctricos, hasta llegar al efector y desencadenar la respuesta correspondiente. Comenzando por la estimulación de los receptores que origina un fenómeno eléctrico característico o potencial del receptor, seguido por la generación del potencial de acción y su conducción a lo largo del nervio y finalmente su transmisión al órgano efector (músculo, tejido nervioso o glándula), con la consecuente producción de una respuesta o reacción.

Por razones obvias, ofreceremos sólo un par de ejemplos, que estimamos entre los más demostrativos para nuestra tesis.

Queda claro que la fuerza actuante, productora de las contracciones musculares en la pata de la rana, en la experiencia de Galvani, es una corriente de electricidad que funciona como estímulo, originada en la atmósfera tormentosa o en el contacto de dos metales diversos como, según ya dijimos, demostró Volta. Faltaría decir que esta corriente circula o es conducida por el nervio que inerva los músculos de la pata en la forma de un potencial eléctrico que fue descrito medio siglo después por otro investigador, Emil Du Bois-Reymond (1818-1896). Nacido en Berlín, de familia

francesa, Du Bois-Reymond, gracias al empleo de una instrumentación más sensible, logra detectar las débiles corrientes que denomina potencial nervioso y que hoy llamamos potencial de acción. Esta observación resulta fundamental para la comprensión del proceso de excitabilidad en su conjunto.

2- Helmholtz y la Determinación de la velocidad de conducción nerviosa. Cuando el maestro no tiene razón

La medición de la velocidad de conducción del impulso nervioso a lo largo del nervio, constituyó un desafío superlativo. Tanto es así, que se asegura que Johannes Christian von Müller, el famoso fundador de la Academia de Fisiología de Berlín, y maestro de Du Bois-Reymond, consideraba que el potencial nervioso circulaba a una velocidad tan elevada que, en su opinión, nunca sería posible medirla. Según parece tal afirmación (hecha públicamente) fue el disparador de una de las aventuras más hermosas de la neurofisiología que tuvo como protagonista a otro alumno de Müller, Ferdinand von Helmholtz (1821-1894). En 1850, apenas un año después de conocerse la opinión rotundamente desalentadora de su maestro, el joven discípulo, mediante un diseño experimental impecable y elegante, logró determinar con total precisión la velocidad de conducción en el nervio ciático de la rana, echando por tierra la opinión in-

correcta del maestro.

Como siempre, los avances tecnológicos previos fueron determinantes. En primer lugar, el desarrollo de un instrumento capaz de detectar variaciones de potencial de muy escasa amplitud (del orden de los milivoltios), que había permitido a su amigo Dubois-Reymond la detección y descripción del potencial de acción en 1845. El otro hecho fundamental, fue el avance en las técnicas de

cronometría, que aumentaron la sensibilidad de los registros al nivel del milésimo de segundo.

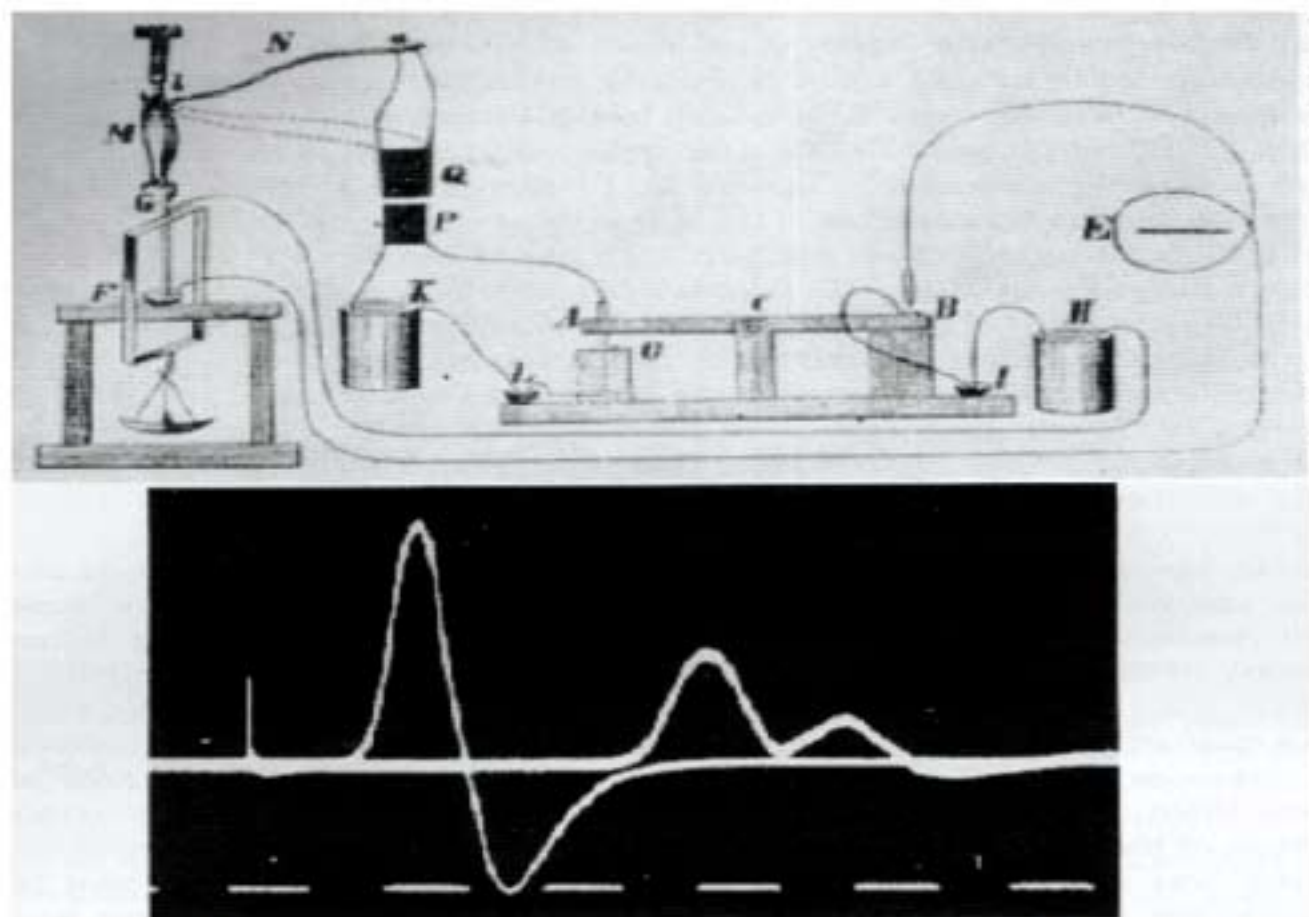
Finalmente, no podemos tampoco olvidar que la ignorancia del momento, daba razón al comentario del maestro Müller, que asumía la identidad de todas las corrientes eléctricas, en tanto movimiento del mismo tipo de energía (hoy diríamos de electrones).

Como es sabido, el mecanismo

iónico de los potenciales nerviosos, fue conocido años después.

En la parte inferior, se observa el registro de los potenciales de acción.

El más cercano al punto estimulado es bifásico y el más alejado presenta dos ondas, que corresponden a dos grupos diferentes de fibras, de distinta velocidad de conducción.



En la **Figura 1** (parte superior), se muestra el ingenioso dispositivo ideado por Helmholtz en 1850, que le permitió determinar con sorprendente precisión, la velocidad de conducción del nervio ciático en la rana. Se trata de la clásica preparación nervio ciático-músculo gastrocnemio (gemelo, flexor de la pata de la rana). El diagrama muestra en **M** el músculo, en continuidad con la rama del nervio ciático **N** y a éste conectado al primario **P** de una bobina de estimulación en **a**. En el momento que con **P** se cierra el circuito, se estimula el nervio **N**; simultáneamente se dispara la medición del proceso con la puesta en circuito del galvanómetro balístico **G**. En el momento en que el músculo se contrae, se abre un contacto de mercurio que interrumpe el circuito y se mide el tiempo de conducción del nervio, tomando en cuenta la distancia entre **a** y **M**. El resultado obtenido con esta preparación por Helmholtz fue de 27.30 m/s, valor corroborado posteriormente, aplicando las técnicas más modernas.

Corresponde aclarar que el maestro Müller, más allá de su fallado vaticinio, se apresuró a comunicar los resultados del experimento de Helmholtz a la Academia Real de Ciencias de Berlín y a presentarlos apenas una semana después de obtenidos en el laboratorio, como el primer trabajo producido por la sección de psico-matemática de la Academia que él mismo dirigía. Mientras tanto, el propio Helmholtz se ocupó de enviarle a su amigo Du-Bois Reymond una copia del manuscrito original, para el archivo de la Sociedad Física de Berlín (Berliner Physikalische Gesellschaft); fundada también por el grupo de Müller y a Alexander von Humboldt en la Academia de París, como garantía de su prioridad en el tema.

Aclarado en buena medida el fenómeno de la conducción de los impulsos nerviosos, por la excelente demostración de Helmholtz, veamos ahora el punto aún más arduo de la transmisión de las señales entre membranas excitables.

La sorprendente paradoja de los hermanos Weber

Tal vez podamos coincidir en que, para nuestra mejor comprensión, en el principio fue la excitación. Parece difícil imaginar que la inhibición ganara un espacio relevante en la consideración del pensamiento ingenuo, en una etapa inicial de nuestra búsqueda de explicaciones funcionales del sistema nervioso y del comportamiento. En efecto, desde Alcmeón en adelante, el

movimiento muscular se atribuyó correctamente a la excitación del nervio y del propio músculo y la inmovilidad a su ausencia. Sin embargo, desde antiguo, diversos estudiosos (entre otros Aristóteles), habían intuido correctamente, y aun observado en forma directa que, durante la contracción de un grupo muscular cualquiera (flexor, por ejemplo), el grupo antagónico (extensor), debía relajarse.

Esta concepción fundamental, fue retomada con mayor interés a comienzos del siglo XIX, alcanzando todo su rigor con los clásicos trabajos de Sherrington al final de la centuria y el enunciado de las leyes de los reflejos medulares y la noción fundamental de inervación recíproca. Estos hechos, con todo su interés, resultaban sin embargo, funcionalmente previsibles y fáciles de intuir.

En cambio, la posibilidad de que un estímulo originado en el sistema nervioso central o en una vía eferente cualquiera, pudiera generar la parálisis de un músculo (esquelético o cardíaco), parecería tal vez, inconcebible. Por eso, cuando los hermanos Weber observaron en 1845, que la estimulación eléctrica del nervio vago o de su lugar de emergencia en el bulbo raquídeo de la rana, resultaba en una marcada disminución de la frecuencia cardíaca o directamente en un paro cardíaco, la ciencia se enfrentó con un hecho tan inesperado como inexplicable. Este experimento, se convirtió en un clásico para la docencia y se repetía en todos los cursos de fisiología, como una curiosidad

biológica de causa ignorada. Dos décadas después, en 1866, Setchenov en Rusia, agregó nueva información al tema de la inhibición de origen central, cuando demostró, también en la rana, que la estimulación bulbo-mesencefálica, producía la inhibición de los reflejos medulares segmentarios.

Se debió esperar casi ochenta años para que la incógnita planteada por los hermanos Weber, fuera finalmente esclarecida. Ciertamente, valió la pena. Porque entretanto, la neurofisiología hizo grandes avances con Ramón y Cajal y su revolucionaria teoría de la neurona. Hasta ese momento, dominaba la concepción errónea sostenida por grandes científicos de entonces como Gerlach (1871), y especialmente Camilo Golgi (1885), de que el sistema nervioso central (SNC), estaba organizado en la forma de una red o retículo continuo de fibras anastomóticas, dentro del cual las neuronas funcionaban simplemente como nodos. La teoría correcta enunciada por Cajal a partir de 1888, puso literalmente las cosas en su lugar. El genio español sostuvo, con razón, que el SNC era un sistema discontinuo y que, entre las neuronas, por lo tanto, existían espacios intercelulares o lugares de contacto (lo que luego y actualmente llamamos sinapsis), pero no continuidad. Al mismo tiempo, se completó la comprensión de la anatomía del SNC, al entenderse por fin que, por definición, las neuronas eran las células propias del tejido nervioso, y las fibras que componen la red de-

scripta por los histólogos, axones y dendritas, dependencias de las mismas.

Otro sobreentendido que debió ocasionar postergaciones en la certidumbre de nuestras concepciones neurofisiológicas, pudo ser la tan extendida creencia de que detrás de cada fenómeno nervioso se debía encontrar un mecanismo eléctrico corriente. Ya anteriormente nos permitimos conjeturar respecto de la idea incorrecta del sabio maestro Müller, al sostener la imposibilidad de medir la velocidad de conducción del impulso nervioso, atribuyéndole valores comparables a la corriente eléctrica de cable. Toda esta alegoría neuroeléctrica, ejerció tanta influencia sobre el ánimo de los investigadores del área, que hasta bien entrado el siglo XX, personajes muy autorizados de la disciplina, conservaron la hipótesis de la transmisión eléctrica (Eccles, 1961). Este mismo autor, afirma que recién en 1951, con la aparición de los registros intracelulares "la transmisión eléctrica se demostró insostenible". No resulta sorprendente por lo tanto que, recién mucho más tarde, se cayera en cuenta que, el potencial de acción del nervio (fenómeno eléctrico), terminara por transducirse a un flujo de moléculas y iones (fenómeno químico), vertidos al espacio sináptico propuesto por Cajal y corroborado por la microscopía electrónica en el siglo XX.

3- Otto Löewi demuestra con un sencillo, económico y elegante experimento, la naturaleza humoral de la neurotransmisión. Un modelo perfecto de

diseño experimental.

Dijimos antes, que una buena recomendación para los evaluadores académicos del paradigma vigente, cuando se enfrenten con alguna anomalía (en términos kuhneanos), sería, tratar de no desterrarla para siempre del panorama de la ciencia, sino profundizar su indagación. En tal sentido, la sorprendente observación de los hermanos Weber, constituye un ejemplo absolutamente paradigmático. En efecto, realizado en 1845, el experimento permaneció como una curiosidad empírica sin sentido, que bien podría exhibir en plenitud las características de una anomalía, en la concepción del pensamiento científico de aquel momento. De pronto, la curiosa preparación, se convertirá en el instrumento fundamental de uno de los descubrimientos mayores de las neurociencias, casi 80 años después: el esclarecimiento del mecanismo de la neurotransmisión. Y algo más. Si bien se mira, su utilización contribuyó de manera radical a un cambio de paradigma en las neurociencias, al integrarse el tradicional modelo neuro eléctrico con el modelo neuroquímico.

Yendo ahora al detalle del experimento de Otto Löewi en 1921, digamos que este gran investigador alemán, fisiólogo y farmacólogo, se sirvió de la preparación de los hermanos Weber para llegar a descubrir el mecanismo de la neurotransmisión. Debemos reconocer que

su idea original era totalmente anómala, en tanto intuía la presencia de una molécula mediadora de la bradicardia y el eventual paro cardíaco provocado por la estimulación vagal, más allá de los fenómenos eléctricos concomitantes, privilegiados por el paradigma neuroeléctrico entonces dominante. La primera parte de su hipótesis (según su personal afirmación producto de un sueño), probó ser correcta sin mucha dilación (Figura 2).

Löewi colocó en paralelo dos corazones de rana latiendo en distintos recipientes y baños nutritivos (líquido de Ringer), y estimuló eléctricamente el nervio vago de uno de ellos (**D**: dador o donante, en el diagrama original) y, como lo muestra el trazado correspondiente observó la bradicardia y el paro cardíaco correspondiente del corazón respectivo. Acto seguido, vertió el líquido del baño del corazón **D**, en el frasco en que estaba latiendo el corazón no estimulado (**R**: receptor), y para su regocijo, éste también se detuvo.

No existiendo ningún estímulo eléctrico involucrado, la única explicación posible era la presencia de una sustancia química en el baño **D**, producto de la estimulación **S** durante el tiempo **T**.

Conclusiones

Hemos tratado de presentar algunos ejemplos clásicos procedentes de nuestra disciplina, la neurofisiología, con la simple y honesta pretensión de señalar

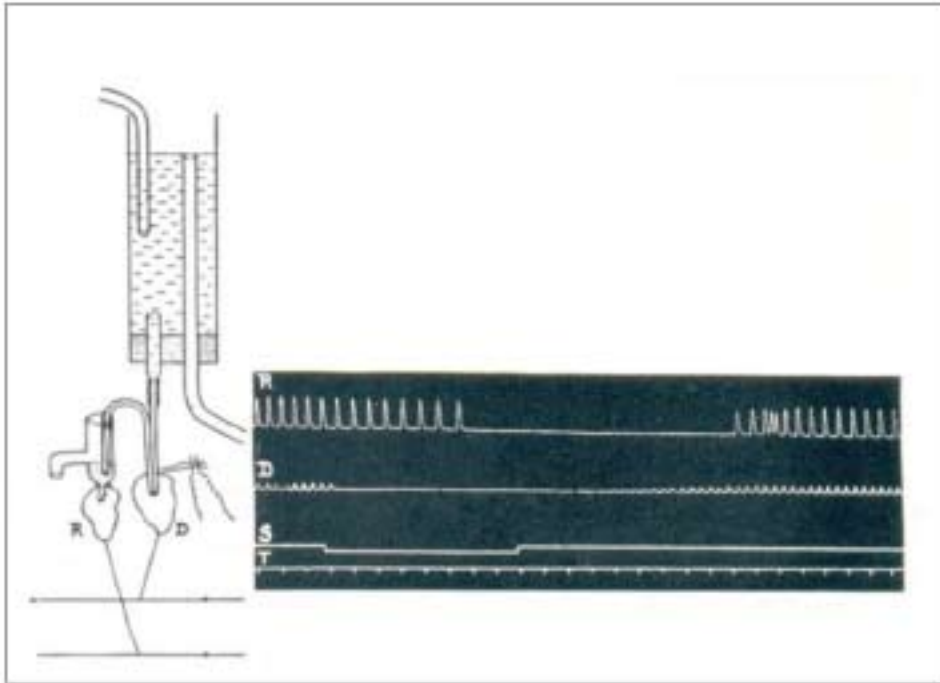


Figura 2. Esquema original del experimento de Löewi, 1921 de acuerdo con la versión hecha por Bain en 1932 y tomada de von Euler en 1959.

en ellos algún matiz que los aproxime en cierto sentido, al mundo de la estética. Creemos que, el original experimento de Galvani con su elemental e ingenua factura tecnológica, de perspectivas protocientíficas, resistiría un análisis en el aspecto sugerido por nuestra tesis.

En cuanto a la medición de la velocidad de conducción del nervio, debida al genio multifacético de Helmholtz, junto a la precisión de sus resultados, cuya vigencia llega inalterable hasta el presente, la belleza del diseño experimental, su elegancia, economía y simplicidad, nos eximen de mayores comentarios.

Forzoso es, por otra parte, admirar la valentía y la decisión del joven investigador, quien no vaciló en desafiar la autorizada y categórica opinión del maestro y

lanzarse a la búsqueda de una respuesta científica, en flagrante desafío con el conocimiento vigente.

Por su parte, el tan admirado experimento de Otto Löewi, surgido curiosamente de una anomalía de larga data (el hasta entonces inexplicable resultado de los hermanos Weber), agrega a la indudable belleza de su concepción, el excepcional mérito del cambio del paradigma neuroeléctrico al neuroquímico, en los mecanismos de transmisión nerviosa.

Nos permitimos finalmente, reiterar nuestra inicial sugerencia acerca de la confrontación apolíneo ("normal") vs. dionisiaco ("anómalo") que comparten sin ninguna duda, el artista y el científico, en el ejercicio de sus respectivas vocaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Adam, Leonhard (1954) *Primitive Art*. A Pelikan Book, 3th. Edition Penguin Books Inc. Melbourne, London, Baltimore.

Argan, Giulio C. (1977) *El Pasado en el Presente*. Colección Comunicación Visual, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Bernard, Claude (1859). *Leçons sur les propriétés physiologiques et les alterations pathologiques des liquides de l'organisme*. Bailière, Paris.

Blanc Charles (1867) *Gramática de las artes del dibujo* http://books.google.com.ar/books?id=ghs-AAAAcAAJ&printsec=front-cover&dq=grammaire+des+arts+du+dessin&hl=es&ei=FfmQTLqeEoOB8gbUrPyxDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CC0Q6AEwAQ#v=onepage&q&f=false

Bradshaw, John L. (1997) *Human Evolution*. Psychology Press, East Sussex, UK.

Brazier, Mary A. (1959) *The historical development of neurophysiology*. En *Handbook of Physiology*. Section I: Neurophysiology, volumen I, American Physiological Society, Washington D.C., Eds. John Field, H. W. Magoun; Victor E. Hall.

Ramón y Cajal Santiago (1888) *Estructura de los centros nerviosos de las aves*. Rev. Trim. de Histología Normal y Patológica. (Citado por Eccles (1964). Chevreur, Michel-Eugène (1839)

Sobre la ley del contraste simultáneo de los colores http://books.google.com.ar/books?id=I91OAAAAMAAJ&pg=PA53&lpg=PA53&dq=The+Principles+of+Harmony+and+Contrast+of+Colours,+and+Their+Applications+to+the+Arts&source=bl&ots=VxiwiPa7uf&sig=GiFxdkUKSzSFlvV6xkmwY1TQFZc&hl=es&ei=n_KQTJvIB8K88gac3fTvDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCsQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false

Darwin, Ch. (1984) La expresión de las emociones en los animales y en el hombre. Alianza Ed. Madrid.

Da Vinci, Leonardo (2004) Tratado de la Pintura. Buenos Aires, Editorial Losada.

Eccles, John C. (1964) The physiology of synapses. New York Academic Press Inc., Publishers. Berlin-Göttingen-Heidelberg Springer-Verlag

Eibl-Eibesfeldt, Irenäus (1989) Human Ethology. Aldine de Gruyter, New York

Gerlach, J. (1871) Von dem Rückenmarke. In: Handbuch der Lehre von den Geweben, Bd. 2, Ed. STRICKER. (Citado por Eccles (1964)).

Golgi, C. Sulla minuta anatomia degli organi centrali del sistema nervoso. Milano 1885. (Citado por Eccles (1964)).

Kandinsky, Vassily (1970) La gramática de la creación. El futuro de la pintura, Editorial Denoël-Gonthier.

Kandinsky, Vassily (1998) Punto

y línea sobre el plano. Ediciones Andrómeda, Buenos Aires.

Kandinsky, Vassily (2006) Sobre lo espiritual en el arte. Ediciones Libertador, Editorial Andrómeda Buenos Aires.

Kemp, Martin (2007) La Ciencia del Arte. Editorial Akal, Barcelona.

Klee, Paul (2003) Bases para la estructuración del Arte. Ediciones Andrómeda, Buenos Aires

Kuhn, Thomas S. (1962) The Structure of Scientific Revolutions (1962) Phoenix Book L University of Chicago Press, Chicago & London.

Löewi, O. (1921) Über humorale Übertragbarkeit der Herzwirkung. Plügers Arch. Ges. Physiol. 189: 239-242. (Citado por Eccles (1964)).

Luquet, George H. (1927) Children's Drawings ('Le Dessin Enfantin'). Translated with an introduction and notes by Alan Costall. London: Free Association Books.

Nietzsche, Friedrich W. (2007) El origen de la tragedia, Argentina, Ediciones Andrómeda.

Ragon, Michel (1959) La Peinture Actuelle. Librairie Arthème Fayard, Paris.

Read, Herbert (1961) The Meaning of Art. Pelikan. Books Ltd.

Read, Herbert (1976) Arte y Alienación. Editorial Proyección

S.R.L. 2ª Ed. Buenos Aires.

Rilke, Rainer M. (2004) Cartas a un joven poeta: selección de poemas. Buenos Aires, Editorial Losada.

Rood Ogden (1879) Cromática Moderna

http://books.google.com.ar/books?id=7JDkC1_hirkC&printsec=frontcover&dq=Modern+Chromatics:+With+Applications+to+Art+and+Industry&hl=es&ei=xBORTlbvNcG88gbpuNXjDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDkQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false

Rudel, Jean (1960) La Technique de la Peinture. Que sais-je? N° 435, PUF, Paris, France.

Segura, Enrique C. (2010) Revista Ciencia e Investigación <http://aargentinapciencias.org/images/stories/tomo60-2/tomo60-2.pdf>

Toledo Agüero Yolanda. Sección Aurea en Arte; Arquitectura y Música

http://matematicas.uclm.es/ita-cr/web_matematicas/trabajos/240/La_seccion_aurea_en%20arte.pdf

Von Euler, U. (1959) Autonomic neuroeffector transmission. Chapter VII. Handbook of Physiology, Section 1: Neurophysiology, Vol. 1, American Physiological Society, Washington, D.C.