

Ángel Gallardo y el electromagnetismo celular

Jorge Norberto Cornejo¹

Recibido 2 de agosto de 2021

Aceptado: 9 de septiembre de 2022

Resumen: Ángel Gallardo (1867-1934) fue Presidente de la Sociedad Científica Argentina (1895-1896), director de los *Anales de la SCA* en varios períodos, Director del Museo de Historia de la Ciudad de Buenos Aires (1897-1916), y Presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1927-1934); estos son solo algunos de los muchos puestos de relevancia que ocupó a lo largo de su vida. Formado inicialmente como Ingeniero Civil, su interés por las Ciencias Naturales fue casi paralelo a su carrera en Ingeniería, lo cual lo llevó a ocupar la cátedra de Botánica y luego la de Zoología en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. En esta última Facultad, en 1902 recibió el título de Doctor en Ciencias Naturales.

Su tesis, titulada “Interpretación dinámica de la división celular”, presentó una forma nueva de interpretar la mitosis o cariocinesis, basada en la visión de las células como entidades capaces de experimentar fuerzas de tipo electromagnético. Aun cuando esta concepción hoy se encuentra superada, en su momento recibió amplio reconocimiento y constituyó un avance significativo para la interpretación de los fenómenos cariocinéticos. Este trabajo está dedicado a describir y contextualizar esta teoría, valiosa tanto desde el punto de vista histórico como desde las nuevas ideas relativas al comportamiento celular.

Palabras clave: Ángel Gallardo, mitosis, magnetismo, electricidad.

Title: Ángel Gallardo and cellular electromagnetism

Abstract: Ángel Gallardo (1867-1934) was President of the Sociedad Científica Argentina (1895-1896), director of the *Anales of the SCA* in various periods, Director of the Museo de Historia de la Ciudad de Buenos Aires (1897-1916), and President of the Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1927-1934). These are just a few of the many important positions he held throughout his life. Initially trained as a Civil Engineer, his interest in Natural Sciences was almost parallel to his career in Engineering, which led him to occupy the chair of Botany and then that of Zoology at the Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. In this last Faculty, in 1902 he received the title of Doctor of Natural Sciences.

His thesis, entitled “Interpretación dinámica de la división celular”, presented a new way of interpreting mitosis or karyokinesis, based on the interpretation of cells as entities capable of experiencing electromagnetic forces. Even though this conception is now outdated, at the time it received wide recognition and constituted a significant advance for the interpretation of cariokinetic phenomena. This work is dedicated to describing and contextualizing this theory, valuable both from the historical point of view and from the new visions regarding cellular behavior.

Keywords: Ángel Gallardo, mitosis, magnetism, electricity.

¹ Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

✉ mognitor1@yahoo.com.ar |  [0000-0003-0337-0405](https://orcid.org/0000-0003-0337-0405)

Cornejo, J. N. Ángel Gallardo y el electromagnetismo celular. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 6(2), 5–19. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/article/view/34298>



1. Introducción: una breve historia de las teorías sobre la mitosis

El biólogo francés Jean Pierre Gourret (1995) realizó una sintética revisión de la historia de las teorías sobre la mitosis o cariocinesis, es decir, la división celular, que hemos seguido para el desarrollo del presente apartado. El autor referido afirma que los primeros trabajos al respecto fueron los de H. Fol y O. Bütschli, hacia 1873, al mismo tiempo que M. J. Schleiden y T. Schwann concebían la teoría celular. Las figuras cariocinéticas, con el áster, el huso, etc., habrían sido observadas por primera vez en 1876, y rápidamente se advirtió su semejanza con un espectro magnético, con sus dos polos y las limaduras de hierro distribuidas como en los experimentos típicamente realizados en la escuela primaria.

Resulta interesante notar que es en esa época cuando se intenta poner en evidencia experimentalmente los procesos cariocinéticos empleando esferas en suspensión en líquidos y mezclando estos últimos con sustancias fuertemente magnéticas capaces de adquirir polos bajo la influencia de imanes poderosos. Esta posibilidad experimental entusiasmó profundamente a Gallardo, y de hecho veremos que se constituyó en uno de sus intereses principales a la hora de intentar validar su teoría.

Ahora bien, de acuerdo con Damianovich (1942), mientras algunos investigadores comparaban la figura cariocinética con los espectros magnéticos, el citado Fol estableció la denominada teoría electrolítica de los movimientos protoplasmáticos, fundada en una interpretación del funcionamiento de las pilas, a las cuales comparaba con las organelas presentes en el citoplasma celular. Esta teoría fue calificada como “prematura y errónea”, y basada en “apariencias superficiales”, pero vale mencionarse por el hecho de haber introducido la cuestión eléctrica como una herramienta en la interpretación de la mitosis.

La naturaleza de los mecanismos de las fuerzas que actuarían sobre los cromosomas se transformó, entonces, en el eje central del debate. El mencionado Gourret (1995), siguiendo una síntesis publicada en 1910 por A. Prenant, afirma que las teorías rápidamente se dividieron en dos grandes grupos: las de los “vitalistas”, que suponían los movimientos cariocinéticos consecuencia de la contractibilidad de las “fibras” del citoplasma, concebidas como una especie de musculatura celular; y las de quienes buscaban interpretar los fenómenos biológicos desde un punto de vista físico, o en modelos inspirados en la física. A su vez, estos últimos se subdividieron en dos grupos: quienes, como O. Bütschli, L. Rhumbler y S. Leduc, se basaban en los fenómenos de difusión, ósmosis y tensión superficial; y aquellos que, como Gallardo y M. Hartog, se focalizaron en las leyes del electromagnetismo. R. Lillie, R. Kuwada y C. Darlington, entre otros, siguieron esta última línea de investigación.

Por ejemplo, el botánico y fisiólogo belga L. A. Errera realizó experimentos en el decenio 1880-1890, considerando que entre el núcleo celular en reposo y el núcleo en actividad existe la misma diferencia que entre una barra de hierro dulce en estado ordinario y la misma barra imantada. Por medio de polos magnéticos y limaduras de hierro logró reproducir, hasta cierto punto, el espectro cariocinético, pero luego intentó aplicar un fuerte electroimán sobre células en mitosis, sin obtener resultados.

Asimismo, el zólogo Yves Delage, conocido por sus estudios sobre invertebrados y sus posturas neolamarckianas sobre la herencia, consideró la teoría como un hecho de

la realidad, no como una mera hipótesis y, según Gallardo, logró por medios artificiales de tipo magnético producir la partenogénesis del erizo de mar.

Sin embargo, hacia 1894 el biólogo Oscar Hertwig ya consideraba que la comparación con las acciones magnéticas debía tomarse solo a título de metáfora. El mismo año, Prenant hizo notar que, aun cuando los esquemas atractivos y repulsivos aislados y combinados reproduzcan las imágenes irradiadas y las figuras cariocinéticas, no se podía sostener que las fuerzas actuantes en los imanes fuesen las mismas que intervienen en las células. Por ello opinaba que “el fantasma cariocinético” era la imagen de fuerzas activas que en su época eran desconocidas.

Hacia mediados del siglo XX todos estos modelos que relacionaban electromagnetismo y mitosis comenzaron a ser criticados, y progresivamente desaparecieron de los libros de texto y de las publicaciones científicas. El empleo del microscopio electrónico permitió el estudio detallado de los elementos celulares que intervienen en la mitosis: fibras, filamentos y microtúbulos, entre otros, y tanto las teorías fibrilares-vitalistas como las electromagnéticas fueron paulatinamente olvidadas.

2. Ángel Gallardo, entre la ingeniería y la biología

Enumerar todos los logros académicos de Ángel Gallardo sería una tarea demasiado extensa; baste con indicar que fue Presidente de la Sociedad Científica Argentina (SCA, 1895-1896), director de los Anales de la SCA en varios períodos, Director del Museo de Historia de la Ciudad de Buenos Aires (1897-1916), y Presidente de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1927-1934). Formado inicialmente como Ingeniero Civil, su interés por las Ciencias Naturales fue casi paralelo a su carrera en Ingeniería; alcanza con mencionar que fue nombrado profesor de Ciencias Naturales en el Instituto Libre de Segunda Enseñanza (ILSE) en 1892 y en el Colegio Nacional de Buenos Aires en 1893, mientras que obtuvo su diploma de ingeniero en septiembre de 1894. Posteriormente ocuparía primero la cátedra de Botánica y luego la de Zoología en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UBA.

Gallardo había tenido como profesor en la escuela secundaria al entomólogo Carlos Berg, cuyas clases lo impresionaron profundamente y generaron su pasión por las Ciencias Naturales. Berg, nacido en Letonia pero con una extensa trayectoria en la Argentina, fue también un miembro destacado de la SCA y, justo es decirlo, un decidido opositor al darwinismo.

Gallardo volvió a encontrarse con Berg en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA, durante el período de espera que medió entre la presentación de su tesis para optar al título de ingeniero y la defensa de la misma. En ese intermedio, asistió a los cursos de zoología y de botánica dictados por Berg.

Posiblemente debido a la influencia de este último, el primer interés biológico de Gallardo fue la entomología, especialmente la historia natural de las hormigas. Pero en el viaje a Europa que realizó en 1896, además de asistir a las conferencias sobre radiactividad dictadas por Henri Bécquerel, Gallardo tomó en La Sorbonne numerosos cursos de biología, entre ellos los de Félix-Alexandre Le Dantec sobre biología matemática, que orientarían sus futuras investigaciones biológicas en el sentido de aplicar la matemática a la comprensión de los fenómenos de la vida. Sin embargo, la influencia más significativa resultó de un acontecimiento casi casual.

En el Museo de Ciencias Naturales de París, Ángel Gallardo asistió a las clases del botánico P. Van Tieghem. En las mismas se explicaba la mitosis o cariocinesis por medio de exposiciones que correspondían al conocimiento biológico de la época: no se tenían interpretaciones muy profundas y detalladas del fenómeno, pero sí se habían elaborado gráficos bastante precisos sobre las figuras trazadas por el huso, el áster y los centrosomas durante la mitosis. De hecho, el propio Gallardo afirmó que el profesor hizo “un gran dibujo muy detallado en la pizarra, para explicar el huso cariocinético”. Y quedó impresionado por la similitud que creyó encontrar entre el huso y el espectro magnético que forman las limaduras de hierro bajo la acción de un imán. Casi podemos imaginar la emoción que debió embargar a este hombre al advertir la posibilidad de casar los dos intereses de su vida intelectual: la ingeniería y la biología, y de esa forma lograr interpretar un fenómeno hasta ese momento inexplicado. Su intención fue, a partir de ese momento, aplicar la matemática a la biología, generando así lo que ha sido llamado “Citología Matemática”, y explicar el fenómeno celular en términos que él denominaba “mecánicos”, suponiendo esto último una concepción algo débil del electromagnetismo, dado que tiende a confundir las fuerzas magnéticas con las fuerzas electrostáticas.

Sobre el rol de la matemática en ese período de la ciencia, Damianovich (1942), comentando la obra de Gallardo, en una especie de proclama que el mismo autor reconoce presentar resonancias pitagóricas, afirmó que:

Análoga transformación han sufrido ya otros ramos de las ciencias naturales. La primera fue la astronomía que de la simple observación de los cuerpos siderales pasó a ser una mecánica celeste. Vino luego la física que adquirió en muchos de sus ramos el carácter de una mecánica molecular. La química no ha terminado aún su transformación en mecánica atómica, cuando ya la biología comienza a entrar en su período matemático. La misma tendencia puede observarse también en las ciencias sociales, particularmente en economía política. (Damianovich, 1952, p. 73, en todas las citas se ha respetado la grafía original)

Cabe destacar que Gallardo fue más prudente que sus comentaristas en lo que respecta a la aplicación de la matemática a la biología, aun cuando reconoció la necesidad de lo que podríamos denominar “matematizar la vida”. En sus propias palabras:

No se aclara con esta aplicación matemática la esencia misma de los fenómenos, que permanece tan inaccesible como antes, pero se facilita y se precisa la comprensión del funcionamiento de las causas permitiendo enlazarlas con los efectos por medio de enunciados sintéticos susceptibles de expresión matemática y dignos por consiguiente del nombre de leyes. Se pasa, en una palabra, del análisis cualitativo de los fenómenos a un análisis cuantitativo que va convirtiendo en una hermosa realidad el intuitivo aforismo pitagórico: *Numeri regunt mundum*. (Gallardo, 1902, p. 47)

Con estas ideas en su mente, Gallardo comenzó entonces una febril tarea de investigación. Leyó todo lo que pudo encontrar sobre el tema, consultó a reconocidos biólogos franceses, pero no encontró lo que buscaba. Su propuesta, entonces, debía presentar una de las características que más entusiasmo a los hombres de ciencia: la originalidad.

Sin embargo, y quizás precisamente por ese último factor, la primera recepción de sus ideas entre los científicos argentinos no fue buena. El Dr. Berg le dijo que su

hipótesis era razonable, pero que él no podía entender la parte matemática. El Dr. Valentín Balbín, ingeniero y excelente matemático, rechazó con cierta ofuscación la hipótesis, afirmando que no veía qué tenían que ver los imanes con las células. A pesar de ello, el Dr. Berg lo alentó a publicar sus ideas, y estas, finalmente, fueron favorablemente acogidas en el mundo científico.

Ahora bien, ¿podríamos decir que Gallardo fue un “científico” en el cabal sentido de la palabra? Según Cecchetto (2017) no, dado que su carrera científica fue breve, extendiéndose desde 1896 hasta 1920, año a partir del cual se dedicó enteramente a la función pública. El autor referido agrega que Gallardo encaró su tarea científica como una obra individual, prácticamente como una “tarea de ratos ociosos”.

Opinión que no es compartida por todos los que han estudiado la obra de Gallardo; por ejemplo, Emiliano J. Mac Donagh, Jefe del Departamento de Zoología de la Universidad Nacional de La Plata, en un panegírico presentado en 1934, afirmó que Gallardo “era un biólogo nato y la Universidad lo formó”.

La obra de Gallardo sobre las figuras cariocinéticas abarca un período comprendido entre 1896 y 1916. Presentó su tesis sobre el tema en 1902 y la continuó con una serie de publicaciones; podemos mencionar entre las más importantes una nota aparecida en 1903 en la revista alemana “*Botanische Literaturblatt*”; otra sobre las propiedades de los coloides y la interpretación dinámica de la división celular, en los *Compte-Rendus* de la Academia de Ciencias de París; una nueva nota acerca de “La interpretación bipolar de la división carioquinética”, publicada en los *Anales del Museo Nacional* en enero de 1906; y en el mismo año, un trabajo sobre “La importancia del estudio de las soluciones coloidales para las ciencias biológicas”. Volvió a tratar el tema en 1909, exponiendo sus teorías acerca de la bipolaridad de la división celular, en la *Revista del Museo de La Plata*. En septiembre de 1909 se publicó en Leipzig, traducida al alemán, la memoria de Gallardo en que se pretendía demostrar que la división de las células es un fenómeno bipolar de carácter electro-coloidal. En 1912 apareció en el *Boletín de la Biblioteca Americana*, editado en París, un “Resumen de las teorías de la división celular”, y en *L'Année Biologique*, otro trabajo sobre las ideas teóricas del momento sobre la mecánica de la división celular. Y en 1916, a los veinte años de su primer trabajo de investigación biológica, retomó el tema y dedicó su disertación inaugural como Presidente de la primera Reunión Nacional de la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales, celebrada en Tucumán, a reseñar los estudios biológicos en la República Argentina (Damianovich, 1942).

Hacia ese último año la investigación en biología se orientó más hacia la estructura de los cromosomas y menos hacia el mecanismo de la mitosis, y Gallardo abandonó sus estudios sobre citología.

3. La tesis de Ángel Gallardo

Nos encontramos a fines del siglo XIX, cuando se creía que el único modo de reproducción celular era por el alargamiento del núcleo y su estrangulación por la mitad, de lo que resultaban dos células nuevas a expensas de la célula madre. Pero entonces se descubrió el modo de reproducción llamado carioquinético o cariocinético, y nació una febril carrera por interpretar las figuras que aparecen en la célula durante este proceso.

En 1902, Ángel Gallardo, en ese momento Ingeniero Civil, presentó su tesis, titulada “Interpretación dinámica de la división celular”, ante el tribunal examinador de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, para optar por el título de Doctor en Ciencias Naturales. Fue Director de la tesis el Dr. Juan J. Kyle, presidente de la SCA en dos períodos: 1874-75 y 1892-93.

La introducción de la tesis comienza con un encendido elogio del Dr. Carlos Berg que, al decir de Gallardo, fue quien lo impulsó a continuar con un doctorado que se encontraba prácticamente abandonado. En un estilo muy diferente al que podríamos encontrar en una tesis de la actualidad, Gallardo se expresa poéticamente:

Cumpliendo, pues, sus deseos reanudé en la edad madura los estudios universitarios que comenzara en la juventud y no sin cierta melancolía he vuelto a recorrer los senderos escolares, que ya comenzaba a cegar la maleza, como un viajero que visita de nuevo el huerto que cultivara en la primavera de la vida y contempla después de ausencia prolongada los sitios que le fueron familiares durante su adolescencia. Curioso estado de ánimo de triste dulzura en que mil recuerdos gratos o dolorosos hacen revivir intensamente las épocas pasadas. (Gallardo, 1902, p. 8)

Califica a su trabajo como una “disertación teórica e hipotética”, conformada por apuntes que Gallardo había tomado en otra época, y según el propio autor, redactados en forma apresurada. Independientemente de esa declaración, cabe destacar que la tesis de Gallardo fue citada en numerosas publicaciones de la época, que generalmente lo reconocen como el autor de la teoría electromagnética de la mitosis.

Gallardo comienza su tesis con una serie de reflexiones que hoy calificaríamos como epistemológicas. Afirma que “el camino seguro para el progreso de la ciencia” es la acumulación de hechos que “vayan encontrando paulatinamente su colocación en el cuadro general de la naturaleza y dibujando de por sí la curva que expresa la ley que los rige”, ley que estaría conformada por enunciados sintéticos obtenidos a partir de la abstracción y generalización de los hechos experimentales.

A pesar de que esa declaración parecería hacer sospechar un inductivismo ingenuo, a continuación Gallardo pasa a describir las bondades de la elaboración de hipótesis provisorias, previas a la acumulación de hechos, que servirían “como los andamios que permiten proseguir el trabajo de una construcción [...] señalando rumbos a las pesquisas de los estudiosos”, siempre que, según el autor, se esté dispuesto a abandonarlas cuando los hechos muestren lo contrario. Finalmente, critica lo que él denomina “ciego empirismo”, calificando de “empirismo” a la concepción de que la investigación científica debe estar motivada solo por la posibilidad de sus aplicaciones prácticas. Y, además de considerar que la teoría y la práctica se complementan mutuamente, exalta la investigación “cuando satisface en algo la inextinguible curiosidad del hombre”.

3.a. “Interpretaciones de la figura cariocinética”

Este es el título del primer apartado en el cuerpo de la tesis de Gallardo. Según sus propias afirmaciones, la interpretación de la mitosis o cariocinesis era el problema central del que se ocupaba la biología celular en el momento, dependiendo de tal interpretación incluso las concepciones filosóficas relacionadas con la herencia y la forma en que los seres humanos adquieren sus rasgos característicos.

El título indica además que Gallardo, a partir del instrumental y de los conocimientos disponibles en la época, intentará explicar el fenómeno de la cariocinesis básicamente a través de la observación de la figura de la misma, dada por la posición y aspectos que durante la división celular adquieren los centrosomas, el áster, el huso, etc.

Comienza aceptando la división propuesta por H. E. Ziegler, quien clasificó los modelos sobre la división celular en dos grandes grupos: las teorías fibrilares y las teorías dinámicas, encontrándose la tesis de Gallardo en la segunda de estas categorías.

Define a las teorías fibrilares como aquellas que “interpretan el mecanismo de la cariocinesis fundándose en la hipótesis de la contractibilidad de los filamentos que parecen constituir la figura acromática de división”, y afirma que tal concepción era la que había predominado hasta hacía poco tiempo en la ciencia. Mac Donagh (1934) comparó estos filamentos contráctiles con una suerte de musculatura de la célula.

Según Damianovich (1942), las teorías fibrilares fueron aceptadas por eminentes etiólogos de la época (Th. Boveri, W. Fleming, O. Hertwig, entre otros), y dominaron hasta 1896, en que casi al mismo tiempo e independientemente Ziegler y Gallardo fundaron la teoría dinámica, según la cual las figuras de división celular son la expresión o revelación de las fuerzas que en ellas intervienen, es decir, espectros que exteriorizan la distribución de las líneas de fuerza.

Cabe destacar que el mismo Gallardo reconoció su simultaneidad en el descubrimiento con Ziegler, o al menos una analogía entre ambos:

Debemos advertir que, después de escrito dicho artículo, hemos leído en el N° del 31 de Enero de 1896 de la «Zoologisches Centralblatt» un resumen de la interpretación que ha propuesto el señor Ziegler en el «Verhandlung des deutschen zoologischen Gessellschaft» que tiene analogías con la nuestra, aunque no hemos podido juzgar exactamente hasta qué punto llega la similitud, desde que no se encuentra en Buenos Aires la revista donde apareció el trabajo in-extenso. (Gallardo, 1896, p. 15)

Volviendo a las teorías fibrilares, Gallardo efectúa primero una reseña histórica de las mismas, y es interesante advertir nuevamente la forma en que se realizaban las contrastaciones experimentales, generalmente alejadas de observaciones con el microscopio, y consistentes en utilizar bandas de goma, tiras elásticas, anillos de material flexible y elementos similares con los que, dispuestos sobre una tabla o flotando sobre alguna solución de líquidos, se intentaba reproducir la figura cariocinética. Más allá de lo primitivo de tales recursos, ponen de manifiesto un sincero interés científico en resolver experimentalmente el problema, una sincera inquietud que alentaba las investigaciones realizadas en aquella época.

Pero, finalmente, las teorías dinámicas recibieron una mejor aceptación que las fibrilares. Teorías dinámicas que también experimentaron un proceso de lenta construcción, y de constante modificación. Al respecto, en el pensamiento de Gallardo podemos distinguir tres etapas en la concepción de la figura cariocinética:

- a) La visión “magnética”
- b) La visión “mecánica”
- c) La visión “eléctrica”

3.b. La visión magnética

En un primer momento, Gallardo parece haber seguido los conceptos del ya mencionado Ziegler, quien observó la semejanza entre las figuras de la división cariocinética con los espectros magnéticos y mostró la posibilidad de reproducir aquéllos por medio de imanes y limaduras de hierro, llegando a las conclusiones siguientes:

- 1) los husos cariocinéticos no son imágenes preformadas sino estructuras originadas por la acción de los centros de fuerza que entran en juego;
- 2) los llamados filamentos contráctiles y de unión, son producidos por acciones dinámicas entre los cromosomas y los centrosomas, probablemente acciones químicas recíprocas;
- 3) los filamentos del huso central no son esencialmente diferentes de los otros filamentos.

Ahora bien, cuando Gallardo aplicó la matemática para la descripción de la mitosis, finalmente llegó a considerar que la comparación con espectros magnéticos era demasiado vaga.

Primero afirma que:

De todo ésto puede deducirse teóricamente que el huso nuclear y las radiaciones de los ásteres no son otra cosa que la exteriorización de las líneas de fuerza del campo engendrado por los dos centrosomas. Como este campo de fuerza se origina en el seno del protoplasma, substancia heterogénea, de estructura alveolar, granulosa ó fibrosa, según las diversas hipótesis, es natural que sus alveolos, granulos ó fibras, se orienten según las líneas de fuerza del campo, del mismo modo que se orientan las limaduras de hierro en el imán. (Gallardo, 1896, p. 19-20)

Pero luego tiende a inclinarse por considerar esto como una imagen metafórica, y no como un hecho (aquí Gallardo está traduciendo textualmente un párrafo de Hertwig):

Para servirme de una metáfora, diré que durante la división tienen lugar acciones recíprocas entre el protoplasma y el núcleo, análogas á las que existen entre las limaduras de hierro y un imán. Gracias a la fuerza magnética, las limaduras de hierro se polarizan y son capaces de agruparse radialmente alrededor de los polos del imán [...]. En la célula, las acciones recíprocas entre protoplasma y núcleo se expresan de una manera significativa por la formación de los centros polares y de las figuras radiadas que hemos descrito [...]. La consecuencia de estas acciones recíprocas es que el núcleo trata siempre de ocupar el centro de su esfera de acción... es para nosotros la expresión misma de la ley, ya que todos los campos de fuerza tanto magnéticos como cariocinéticos están regidos por las mismas leyes aplicables á todas las fuerzas centrales newtonianas, desde la gravitación universal, que rige los movimientos de los astros, hasta las energías que gobiernan la célula ó presiden el mundo infinitamente pequeño de las moléculas y los átomos. (Gallardo, 1896, p. 23)

Nótese que aquí ya se habla de los campos de fuerza magnéticos y cariocinéticos como de dos entidades diferentes. Más allá de lo interesante de enmarcar la cariocinesis en el conjunto de un proceso cósmico, en una visión unificada de, valga la redundancia, el Universo, advertimos aquí que Hertwig presenta la debilidad que notamos en las ideas de Gallardo: el considerar el magnetismo como una “fuerza newtoniana”, en el sentido de

una fuerza central. No podemos establecer si alguno de los dos autores es la fuente del error en el otro, o si tal concepción errónea fue simultánea.

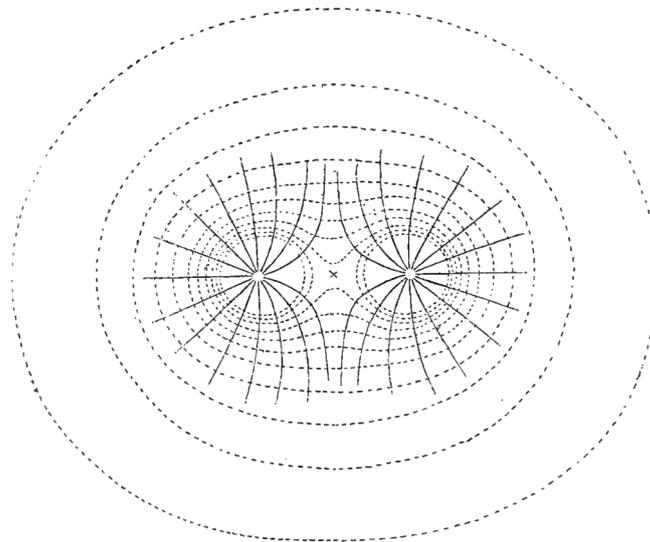
3.c. “La visión mecánica”

Esta forma de pensar la figura cariocinética recibió mayor desarrollo que la visión magnética en los trabajos de Gallardo, y se vincula con la frase de nuestro autor que acabamos de citar en el anterior apartado. En efecto, según esta nueva visión, superadora de la concepción magnética, la división celular sería un fenómeno exclusivamente mecánico, consecuencia de una fuerza desconocida a la que Gallardo, al igual que otros autores, denomina *fuerza cariocinética*, la que debería responder, como cualquier otra fuerza, a las leyes newtonianas.

Mac Donagh (1934) dice que la introducción de la “fuerza cariocinética” fue un acto de medida de Gallardo, mientras que otros autores habían anticipado la hipótesis eléctrica sin tener un fundamento sólido para la misma. Posiblemente, Gallardo, que repite constantemente el término “fuerza mecánica”, quiere oponerse a los teóricos de la fuerza vital, que concebían que los fenómenos de la vida tienen que ser consecuencia de una fuerza especial, distinta de las fuerzas de la materia. Sin embargo, a pesar de su carácter puramente mecánico, aquí ya se encuentra presente la hipótesis eléctrica, dado que Gallardo supone la presencia en la célula de un campo eléctrico dipolar, conformado por dos polos de diferente signo.

3.d. “La visión eléctrica”

Esta es la visión que específicamente aparece en la tesis de Gallardo, siendo su denominación exacta “teoría electrocoloidal”. Considera que los centrosomas y los



(Fig. 2).

Figura 1: Analogía entre la división celular y los campos de fuerza.

A. Gallardo. En “Significado dinámico de las figuras cariocinéticas y celulares”, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo XLIV, 1897, p. 133. Imagen en dominio público. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/item/97746>

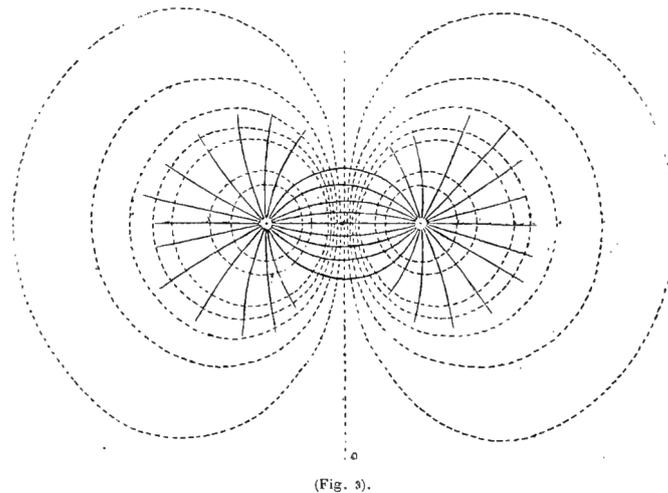


Figura 2: Representación de Gallardo para la “fuerza cariocinética”.

A. Gallardo. En “Significado dinámico de las figuras cariocinéticas y celulares”, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo XLIV, 1897, p. 135. Imagen en dominio público. Disponible en <https://www.biodiversitylibrary.org/item/97746>

cromosomas presentan cargas eléctricas de signo contrario, “aunque de idéntico potencial entre ellos mismos”. De acuerdo con esta teoría la “fuerza cariocinética” sería de naturaleza eléctrica, y la interpretación de la mitosis estará marcada por el concepto de *bipolaridad*, concepto que luego atravesará toda la obra biológica de Ángel Gallardo.

Para explicar la mitosis, Gallardo considera que la cromatina tiene un potencial de signo contrario al del citoplasma, mientras que los centrosomas serían de igual polaridad y se repelerían, y de polaridad contraria a la de los cromosomas, a los que atraerían, formando así las figuras cariocinéticas. Textualmente: “la división normal reposa, pues, sobre la polarización positiva intensa de los centrosomas seguida de la polarización negativa intensa de la cromatina” (Gallardo, 1909, p. 27).

Por lo tanto, habría en su visión dos “momentos” para la fuerza cariocinética, a saber:

1. Repulsión: en el instante de la mitosis los centrosomas adquieren idéntica polaridad y se repelen, pero ello da como resultado la formación del huso que los liga y que va creciendo a medida que los centrosomas se dirigen a los extremos de la célula. Esto daría lugar a la aparición del espectro cariocinético.
2. Atracción: los cromosomas, de polaridad opuesta a la de los centrosomas, se dividen longitudinalmente y se dirigen hacia estos últimos.

3.e. “La visión de la fuerza cariocinética”

Gallardo se pregunta (notar que incurre en una contradicción, pues incluye una referencia a la fuerza vital, que era sostenida por los partidarios de las teorías fibrilares):

Pero ¿cuál es la esencia íntima de la fuerza carioquinética? ¿Es alguna de las manifestaciones de fuerza estudiadas en física y química, como la electricidad, el magnetismo, la fuerza quimiotáctica, etc., ó bien una combinación de ellas? ¿Se tratará de una manifestación especial de la energía

encargada de presidir este importante fenómeno vital? Nada podemos afirmar al respecto, pues el raciocinio es absolutamente incapaz de dirimir la cuestión, la cual sólo podrá ser resuelta por la experimentación. Pero poco importa el conocimiento de la fuerza misma para la verdad de la interpretación que proponemos, ya que, cualquiera que sea la fuerza activa, basta que ella sea central newtoniana para que la formación de los husos ó espectros carioquinéticos responda á la ley matemática general deducida para todas las fuerzas newtonianas. ¿No se aclara ya con ésto sólo el estudio de la división nuclear indirecta, al saberla sometida á leyes perfectamente estudiadas en física matemática? Recuérdese que «no se conoce bien un fenómeno mientras no es posible expresarlo en números», según dice Lord Kelvin (Sir William Thompson). Con todo, hay ciertas razones que inducirían á pensar que se trata de manifestaciones eléctricas. Es sabido que en el interior de la célula se desarrollan fuerzas eléctricas y varios fisiólogos, entre los que se cuenta Sachs, han hecho experimentos que lo demuestran. (Gallardo, 1896, p. 20)

Gallardo, después de hacer notar la analogía existente entre la figura acromática en la metafase y los espectros magnéticos y eléctricos; después de hacer una síntesis dedicada a los lectores poco familiarizados con las matemáticas, relativa a las fuerzas centrales newtonianas (centros de fuerza, potencial, superficies y curvas equipotenciales o de nivel, líneas de fuerza que cortan normalmente a las superficies de nivel, etc.), explicaba la construcción gráfica de las curvas de nivel y líneas de fuerza para un sistema de uno o dos centros de acuerdo con la teoría electromagnética de Maxwell. En su pensamiento escuchamos el eco de resonancias platónico-pitagóricas, y el concepto de que la matemática impera sobre todo el Universo, incluyendo también la materia viva.

Posteriormente, Gallardo repite el error que ya mencionamos en más de una ocasión, consistente en identificar el magnetismo como una fuerza central:

Llámase fuerzas centrales á aquellas fuerzas, cuyas direcciones pasan por puntos fijos y cuyas intensidades son función de la distancia. Gran parte de las fuerzas naturales, como la gravitación universal, la electricidad, el magnetismo, son fuerzas centrales, y sus intensidades proporcionales á los cuadrados de las distancias. Estas fuerzas se denominan fuerzas newtonianas. Si se considera á las fuerzas centrales concentradas en puntos físicos se obtienen centros de fuerzas y el espacio en que ellas actúan será el campo de fuerza. (Gallardo, 1896, p. 16)

Dado este paso, muestra que la notable semejanza de la figura acromática de la cariocinesis con el sistema de líneas de fuerza originado por dos centros de igual potencial y de signo contrario, con lo que comete un error bastante elemental, dado que previamente había considerado que los centrosomas eran de igual polaridad.

Aclaremos que Gallardo distingue entre el concepto de “líneas de fuerza”, habitual en física, que considera un esquema geométrico, teórico, y el de “cadena de fuerza”, consistente en la figura que realmente se observa en la célula, formada por elementos materiales, y que se aproxima a la figura de las líneas de fuerza, pero no llega a ser exactamente igual a la misma. En términos más modernos, está tomando la imagen de las líneas de fuerza como un modelo aproximativo de la realidad.

4. No solo la mitosis

Gallardo intentó entonces ampliar su teoría a otros ámbitos: por ejemplo, interpretar la reproducción humana, la unión del óvulo y del espermatozoide, desde el punto de vista de la polaridad. Dice Gallardo:

La fecundación, según Strasbnger, completa la célula por medio de dos incompletas. En nuestra interpretación cada uno de los gérmenes sexuales es capaz de una sola polaridad, habiendo perdido la opuesta durante el proceso de reducción. La fecundación regeneraría, pues, una célula completa con sus dos polaridades y capaz de dividirse, por la reunión de dos células incompletas, con la mitad del número normal de cromosomas y con una sola polaridad. (Gallardo, 1896, p. 25)

En esta conjetura de Gallardo, la función del espermatozoide sería completar la “fuerza cariocinética” presente en el óvulo, a los efectos de generar una manifestación completa y unificada. Aparentemente, su idea era generar una gran visión de la vida centrada en la fuerza cariocinética, que, según sus propias afirmaciones, actuaría en tres órdenes de fenómenos: celulares, ontogenéticos y hereditarios.

5. La “electrogenética”

Ahora bien, paralelamente a la aplicación de las ideas “electromagnéticas” a la división celular fue desarrollándose una disciplina que estudiaba la interacción de la materia viva con las corrientes y los campos eléctricos.

Se definía la “electrogenética” como la aplicación de la electricidad a la materia viva, y sus cultores la consideraban una rama importante de la ciencia aplicada. En particular, el interés radicaba en su utilización en materia agrícola, pues algunas investigaciones parecían sugerir que el empleo de corrientes eléctricas podía mejorar el rendimiento de los cultivos. El genetista y agrónomo italiano Alberto Pirovano fue uno de los iniciadores de esta disciplina, mientras que, en la Argentina, uno de sus principales exponentes fue, durante las primeras décadas del siglo XX, el ingeniero Carlos Vercellio, de quien no hemos podido hallar, todavía, datos biográficos de significación.

¿Qué relación presenta esto con las ideas de Gallardo? La cuestión es que la electrogenética estaba basada completamente en las ideas de nuestro científico. En palabras del propio Vercellio:

Para poder demostrar que era posible intervenir con acciones eléctricas sobre los cromosomas, como lo demostraba Pirovano, era menester dar antes una interpretación eléctrica a las figuras cariocinéticas, lo que hice, ignorando en absoluto los trabajos anteriores del Dr. Angel Gallardo- con el cual me honro de haber coincidido con su primera aquella de hacer conocer los trabajos y los resultados conseguidos por Pirovano. Sin embargo actualmente en posesión de las publicaciones del Dr. Gallardo, debido a la amabilidad del Dr. Fernández, me es grato volver sobre el tema. (Vercellio, 1929, p. 34)

De todas formas, los propios seguidores de la electrogenética reconocían el carácter misterioso de esta disciplina, de la que Vercellio afirmó que se encontraba: “*en los confines del saber con lo incomprensible.*”

Qué ocurrió y por qué fue finalmente abandonada la electrogenética es tema de otra investigación; aquí nos hemos limitado a señalar su relación con las ideas de Gallardo.

6. Conclusiones

Los supuestos esenciales sobre los que descansa la hipótesis final de Gallardo pueden enunciarse de la siguiente manera:

- (1) los centrosomas y el citoplasma son coloides cargados positivamente mientras que los cromosomas están cargados negativamente;
- (2) las fuerzas de atracción entre los cromosomas y los dos centrosomas, y las de repulsión entre estos dos últimos, son responsables de la aparición del huso y del movimiento anafásico de los cromosomas;
- (3) el eje está formado por cadenas de fuerza materialmente “reales” y no representa exactamente las líneas de fuerza del campo electrostático; y
- (4) la división de cada cromosoma es causada por un proceso de crecimiento, que toma la forma de condensación de los coloides del núcleo, en el cual la carga electrostática aumenta hasta que su fuerza es mayor que la fuerza de tensión superficial que mantiene unido el cromosoma.

Refiriéndose a la división directa o amitótica, sostiene que la principal diferencia con la indirecta, cariocinética o mitótica, consiste en que en esta última, «por falta de condiciones adecuadas, no se produce la exteriorización visible de las líneas de fuerza que actúan en la división», del mismo modo que en el caso del magnetismo la ausencia de partículas de hierro impide observar el espectro, sin que podamos negar la existencia del campo de fuerza.

En síntesis, para Gallardo la mitosis no es un hecho circunstancial referido específicamente a la dinámica de la vida, sino la expresión de una ley universal, a partir de la cual todos los campos de fuerza, sean estos magnéticos, eléctricos, gravitatorios, carioquinéticos, etc.; regirían en forma equivalente tanto el micro como el macrocosmos, casi en sintonía con el conocido axioma hermético que proclama “Como es arriba, es abajo”. Su teoría fue, entonces, un atrevido intento de unificar en una y grandiosa visión lo muy grande y lo muy pequeño, y de esa forma darle al término “Universo” su más profundo y casi literal significado.

Y esa visión quiso extenderse hacia otros fenómenos, llevando la polaridad a un principio explicativo fundamental válido para toda la Naturaleza. Sin embargo, cuando Gallardo intentó aplicar la polaridad a una explicación de la herencia, se detuvo y consideró sus ideas solo como hipótesis:

se podría, sin duda, establecer una teoría mecánica de la herencia, pero esto nos llevaría demasiado lejos y es necesario proceder con suma cautela en el terreno hipotético. No pretendemos haber explicado en lo que antecede todas las particularidades de la división carioquinética, fecundación, etc. No se nos ocultan las muchas deficiencias que aún tiene la interpretación, pero hemos considerado que el mejor modo de perfeccionarla consiste en suscitar sobre ella la discusión. Esperamos las objeciones. Ellas modificarán y completarán la interpretación, dándole así su forma definitiva. Será para nosotros altamente satisfactorio, si este ensayo de interpretación puede contribuir á

arrojar alguna luz sobre estos interesantes y trascendentales fenómenos de la vida. (Gallardo, 1896, p. 34)

Tal interés por una visión unificada del Cosmos fue compartida por otros científicos de la época, aun cuando trabajaran en campos muy diferentes a la biología celular; por ejemplo, entre aquellos vinculados con la temática de los rayos X y la radiactividad (Cornejo & Puceiro, 2020).

En la actualidad la mitosis se describe a partir de la acción de los microtúbulos, que forman las fibras del huso, encargadas de separar los cromosomas durante la mitosis. Los microtúbulos, componentes fundamentales del citoesqueleto de la célula, recuerdan a las teorías fibrilares, a las que Gallardo y sus seguidores se opusieron. Si bien numerosas propiedades de las células se explican a partir de polaridades eléctricas, el concepto es muy diferente a lo que Gallardo interpretaba como “polaridad”.

Quizás todavía quede espacio para futuras investigaciones en el campo de la relación del electromagnetismo con la vida celular. Hoy, por ejemplo, se investiga la acción orgánica de las radiaciones no-ionizantes (RNI) a nivel de las células y los tejidos de los seres vivos a partir de interacciones de tipo cuántico entre las mencionadas RNI y los electrones que componen los átomos de la célula.

Sus ideas, por lo tanto, no impactaron sobre la biología contemporánea, pero de todas formas quisiera cerrar este trabajo con sus palabras: “Aunque nuevos datos demostraran más tarde la falsedad de mi hipótesis, puedo sin embargo declararme contento, desde que ellos han servido para suscitar la investigación” (Gallardo, 1949, p. 40).

Referencias

- Cecchetto, S. (2017). La naciente genética y el movimiento eugenésico argentino. *Ludus Vitalis*, XV (28), 119-139.
- Cornejo, J., & Puceiro, A. (2020). Las radiaciones ionizantes en los Anales de la Sociedad Científica Argentina (1895-1910). *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 5(1), 26-40. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/afjor/article/view/29659>
- Damianovich, H. (1942). Ángel Gallardo: Características de sus Investigaciones Científicas. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Entrega I — Tomo CXXXIII, 58-64.
- Gallardo, Á (1896), La carioquinesis, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo XLII, 5-34.
- Gallardo, Á (1897), Significado dinámico de las figuras cariocinéticas y celulares. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, Tomo XLIV, 124-140.
- Gallardo, Á. (1902). *Interpretación dinámica de la división celular*. Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Disponible en https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n0042_Gallardo.
- Gallardo, Á. (1909). *Bipolaridad de la división celular*. Memoria presentada al IV Congreso Científico (Primero Panamericano) reunido en Santiago de Chile el 25 de Diciembre de 1908 al 5 de Enero de 1909, y publicada en la *Revista del Museo de La Plata*, Tomo XVI, 7-31.

- Gourret, J. P. (1995). Modelling the Mitotic Apparatus. *Acta Biotheoretica*, 43, 127-142.
- Mac Donagh, E. J. (1934). Semblanza del Doctor Ángel Gallardo, discurso de homenaje pronunciado en el Centro de Estudios de Ciencias Naturales. En: *Notas preliminares del Museo de La Plata* (Tomo III, pp. 203-219). Buenos Aires: Imprenta y Casa Editora Coni.
- Vercellio, C. (1929). Interpretación eléctrica de las figuras cariocinéticas y el aporte de la electricidad a la Genética. *Revista de la Universidad Nacional de Córdoba*, 16(5-6), 134-146.