

DARWIN, GENÉTICA Y BIODIVERSIDAD

DARWIN, GENETICS AND BIODIVERSITY

GONZALO GAJARDO¹

Laboratorio de Genética, Acuicultura & Biodiversidad, Universidad de Los Lagos, ggajardo@ulagos.cl

RESUMEN

La celebración este año del bicentenario del natalicio de Darwin y de los 150 años de la publicación de su libro *El origen de las especies* es el preámbulo conceptual para dos eventos que ocurrirán con ocasión del bicentenario de la independencia nacional: el año de la biodiversidad y el congreso de la Asociación Latinoamericana de Genética, ALAG 2010, Viña del Mar. Los pilares conceptuales del darwinismo, Descendencia con Modificación y Evolución por Selección Natural, representan una idea revolucionaria y sin contrapeso para explicar el origen y diversidad del mundo viviente, que traspasa las fronteras biológicas e incluso tiene aplicación práctica. El lema del congreso ALAG, *Biodiversidad latinoamericana: el hombre y sus recursos genéticos*, evoca estos conceptos pero a la vez expresa los problemas que preocupan a la genética que Darwin no conoció. Por una parte, explicar las causas de la individualidad y de la diversidad humana y, por otra, los recursos genéticos como base para la estabilidad de los ecosistemas y para el bienestar humano. Celebrar el año de la biodiversidad requiere armonizar la explotación con la conservación de los recursos, dos fuerzas aparentemente antagónicas pero que sin embargo convergen bajo el concepto de sustentabilidad. Para que el desarrollo sea sustentable es necesario caracterizar y monitorear espacio-temporalmente el potencial de cambio evolutivo de poblaciones y especies, propiedad que reside en sus atributos genéticos. Finalmente, el artículo esboza la complejidad inherente a la relación organismo-fenotipo y medio ambiente, de donde surge la necesidad de unificar el conocimiento, un aspecto que deberá ser abordado en el congreso ALAG. Los fundadores y forjadores de la genética y evolución chilena, y otros actores relevantes en un período de gran efervescencia ideológica en torno al valor de la diversidad genética, son recordados hacia el final del texto.

Palabras clave: Darwin, biodiversidad, ALAG, genética.

ABSTRACT

The celebration of the bicentenary year of Darwin's birthday and of 150 years since the publication of his book "Origin of the Species" are the initial beginning of the two events that will occur with occasion of the bicentenary of our national Independence, the year of the biodiversity and of the Congress of the Latinamerican Genetic Association, ALAG 2010, that will take place in Viña del Mar, Chile. The central conceptual pillars of Darwinism, Descendence with modification and Evolution by Natural Selection represent a revolutionary idea and without counterpart to explain the origin and diversity of the living world which overcomes the biological limits and even has a practical application. The main topic of the ALAG Congress is LatinAmerican Biodiversity: man and his genetic resources, although these topics will be discussed, at the same time the problems concerning the Genetics that Darwin did not know at his time will be dealt with. On the one hand, it explains the causes of individuality and of human diversity, and on the other the genetic resources as the bases for the stability of the eco-system and human welfare. In order to celebrate the year of the bio-diversity it is important to join the exploitation with the conservation of

¹ Presidente Asociación Latinoamericana de Genética.

resources, two apparently opposite forces but that nevertheless have the same name concept of sustainability. In order for development to be sustainable, it is necessary to characterize and monitor space temporarily the potential development change of populations and species, property that lies in its genetic qualities. Finally the article deals with the inherent complexity of the organism-phenotype relation and the environment, when the need of unifying knowledge appears, an aspect that must be dealt with at the ALAG Congress. The founders and forgers of the Chilean evolution and genetics and other relevant actors in a period of great ideological concern the value of the genetics diversity are mentioned at the end of this paper.

Keywords: Darwin, biodiversity, ALAG, genetics.

Recibido: 15.07.09. Revisado: 30.07.09. Aceptado: 31.08.09.

INTRODUCCIÓN

Junto con celebrar este año el bicentenario del nacimiento de Charles Darwin (12 febrero 1809) y los 150 años de la publicación de *El origen de las especies* (24 de noviembre de 1859) (Darwin, 1859), los genetistas y evolucionistas chilenos estamos trabajando para celebrar el bicentenario de la independencia nacional junto a otros dos eventos igualmente trascendentes: el año de la biodiversidad y el congreso de la Asociación Latinoamericana de Genética, ALAG 2010, en Viña del Mar. Homenajeando a Darwin, este breve ensayo sugiere que el bicentenario de la independencia, el año de la biodiversidad y los temas que actualmente preocupan a la genética, y que serán considerados en el congreso ALAG 2010, se relacionan estrechamente con el mecanismo propuesto por él para explicar el origen y diversificación del árbol de la vida, cuyos pilares conceptuales son la Descendencia con Modificación y Evolución por Selección Natural. Éstos gozan de generalizada aceptación en el mundo académico, incluso más allá de las fronteras de la biología como, por ejemplo, en las ciencias sociales, económicas y matemáticas. Igualmente en el mundo aplicado, donde el darwinismo aporta soluciones en el ámbito médico, agroforestal, farmacéutico, biotecnológico e informático (Bull & Wichman, 2001).

Los 200 años de independencia evocan el proceso de mezcla de patrimonios genéticos, locales e inmigrantes, que sumados a las influencias culturales, ambientales y a la insularidad geográfica forjaron nuestra identidad genética y cultural. Nuestras fortalezas y debilidades, el tipo morfológico distintivo a pesar de la diversidad, la conducta, capacidad creativa y de innovación, entre otros muchos fenotipos que nos identifican como una sociedad relativamente particular, han sido y serán gobernadas por los mismos procesos naturales que Darwin descubrió. De la misma forma, la biodiversidad que alberga nuestra loca geografía de norte a sur, de océano a cordillera y a través de una gran diversidad de ecosistemas acuáticos (dulceacuícolas, humedales, salares, estuarios, fiordos), surgió y se ramificó sujeta a los mismos principios naturales. Por su condición de isla bio-geográfica, Chile cuenta con recursos genéticos que por ser altamente endémicos son de importancia para la diversidad global. El 2010 corresponde revisar hasta qué punto los firmantes de la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB) (www.cbd.int/convention) lograron el objetivo de reducir la actual tasa de pérdida de biodiversidad a nivel global, regional y nacional (Balmford *et al.*, 2005). Chile como país firmante del CBD se enfrenta con la realidad de un modelo de desarrollo económico basado principalmente en la explo-

tación de recursos naturales, situación preocupante por el impacto que podría tener sobre un patrimonio de biodiversidad que es propio de este rincón del planeta, como señalamos. Para enfatizar la magnitud de este impacto baste señalar que la pesca y la caza de poblaciones naturales por el hombre tienen un impacto ecológico y evolutivo muy superior (>300%) al producido por causas naturales. Lo grave es que los cambios evolutivos toman más tiempo que los ecológicos en recuperarse, o pueden ser irreversibles como se ha demostrado para la talla y tiempo a la madurez sexual en el bacalao, uno de los ejemplos más representativos.

En este escenario se realizará el congreso ALAG en Chile, el segundo en un período de 23 años que esperamos sea inaugurado por el Presidente que debería conducir al país más allá del umbral del desarrollo, un objetivo originalmente pensado para alrededor del 2010. El congreso ALAG es la oportunidad para evaluar el cumplimiento de las metas propuestas para el 2010 por los firmantes de la CBD, pero también para comparar el esfuerzo efectivo realizado por cada nación latinoamericana por mejorar sus capacidades científicas con relación a las necesidades específicas que este desafío demanda. La ciencia ha sido lamentablemente el gran ausente en recientes foros mundiales sobre biodiversidad, como denunció recientemente un grupo de científicos suecos (Laikre *et al.*, 2008).

El bicentenario de la independencia, el congreso ALAG y el año de la biodiversidad convergen en un tiempo de grandes desafíos para la humanidad, por la magnitud del impacto antropocéntrico que no sólo afecta de manera radical el clima, que ha recibido especial atención por parte de los gobiernos, políticos, la comunidad científica y la sociedad en general, sino porque igualmente afecta la evolución de las especies animales. Y, lo que podría ser más grave aún, nuestro propio devenir como especie. Nuestra fragili-

dad no sólo se hará evidente frente al cambio climático, sino que ya es patente frente al universo microbiológico, virus y bacterias, que son extraordinariamente eficientes para sobrevivir y reproducirse, que son las características especialmente evaluadas por la selección natural y cuyo efecto es mantener la continuidad del patrimonio genético de un individuo, población o especie. Hay egoísmo en esto de sobrevivir, ha señalado el británico Richard Dawkins, autor del aclamado libro *El gen egoísta (The Selfish Gene)* (Dawkins, 1989), puesto que los genes utilizan –si pudiéramos decirlo así– a los individuos ventajosos como vehículos o máquinas para auto-perpetuarse. Los genes son las unidades discretas que postuló Mendel, responsables de nuestras grandezas y miserias (Ridley, 1999), por medio de una intrincada y compleja trama de interacciones, entre genes y entre éstos y el ambiente. Mientras los genes tienen larga vida, aunque no infinita, los individuos tienen una supervivencia menor.

Retomando la muy sorprendente capacidad de los virus para perpetuar su información genética, a pesar de que difícilmente podemos considerarlos seres vivos, la pandemia provocada por el A (H1N1) que causa la influenza humana, es un ejemplo muy didáctico del actuar de la selección natural. El potencial de cambio evolutivo depende de la variación heredable cuya fuente primaria son las mutaciones, y los virus tienen una gran capacidad para mutar y de esta forma generar variantes que se transmiten horizontal y verticalmente. En otras palabras, una población de virus dispondrá casi siempre de una variante que puede resistir el ataque del ambiente para replicarse exitosamente. Estos verdaderos replicones, o máquinas de auto-perpetuación, nos demuestran que las mejores soluciones adaptativas en la naturaleza no son siempre las más complejas. En otras palabras, no hay un único diseño ventajoso en esto de perpetuarse.

BIODIVERSIDAD

En *El origen de las especies*, Darwin brindó una solución y un mecanismo para una de las cuestiones más relevantes de la biología contemporánea como es entender el origen y diversidad de los organismos, pasados y presentes. Al hacerlo generó una verdadera revolución conceptual (Ruse, 1999), no tan sólo por introducir ya casi al término de su libro la palabra evolución, sino que por conceptualizar este fenómeno de una manera menos transgresora como *descendencia con modificación*, brindando de esta forma una oportunidad para que la conservadora sociedad de la Inglaterra victoriana, centrada en una visión no natural del orden biológico y social, pudiera asimilarla de manera menos traumática. Pero esta revolución fue más profunda al proponer Darwin la selección natural como el mecanismo natural capaz de explicar cómo a partir de formas simples se alcanzan mayores complejidades en un proceso gradual de transformaciones en el tiempo. Hoy sabemos con más propiedad que este proceso gradual se inicia con la divergencia genética de poblaciones que habitan ambientes diferentes (adaptaciones locales), diferencias que al acrecentarse pueden generar las discontinuidades que conocemos como especies. El cambio evolutivo ocurre sin un horizonte determinado, de manera inconsciente y sin otro propósito o finalidad que la auto-perpetuación de las poblaciones y especies. Es probable que por no disponer de una visión adecuada de los mecanismos de la genética que aportaría Mendel posteriormente, ni menos de la estructura del ADN que propusieron el año 1953 Watson y Crick, Darwin se refiriera al proceso de formación de las especies como *misterio de misterios*. La genética es inicialmente necesaria para entender el rol de las mutaciones como fuente primaria de variación entre individuos. Pero incluso sin esta información Darwin visualizó la importan-

cia de estas *pequeñas variaciones*, según lo expresó en su libro, como sustrato para la acción de la selección natural. Difícilmente dos organismos exhiben caracteres que no varíen ampliamente y es por ello que las poblaciones y especies son reservorios de una gran diversidad. Las variaciones ventajosas son transferidas a los descendientes para que a su vez se auto-perpetúen, ya sea en el ambiente de sus padres o eventualmente en otros gracias a la variabilidad que aporta la recombinación genética resultante de la reproducción sexual. Las barreras geográficas y de otro tipo que condicionan los tipos de apareamiento, por ejemplo las económicas y socio-culturales e incluso religiosas en el caso humano, acrecentarán las diferencias entre los grupos.

Uno de los tantos desafíos del congreso ALAG en el año de la biodiversidad será cómo armonizar el progreso económico basado en la explotación de los recursos genéticos con la conservación de los mismos. Esto es teóricamente posible si la explotación ocurre sustentablemente, concepto frecuentemente utilizado pero poco valorado en su dimensión trans-generacional que sugiere que el uso de la diversidad biológica no debe arriesgar su potencial evolutivo, es decir, la continuidad temporal y espacial de los recursos como para comprometer las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes y futuras. Mantener el potencial evolutivo de una especie requiere conocer, monitorear y conservar la diversidad genética que reside a diferentes niveles, desde las variaciones alélicas en un gen, que son la fuente última para el cambio evolutivo, las adaptaciones locales que residen a nivel de las poblaciones, hasta las especies que representan líneas evolutivas irremplazables (Mace, 2005). Finalmente, el ecosistema es la integración funcional de todo aquello, pero un sistema finito cuya capacidad de carga y resiliencia son limitadas y generalmente desconocidas. Por el horizonte de in-

mediatez del desarrollo económico la visión ecosistémica es una de las omisiones relevantes cuando se explotan los recursos, responsabilidad que recae en los grupos de interés: gobierno, empresarios, fondos que financian y priorizan la ciencia, comunidad científica y la comunidad. Producto de esta omisión es probable que la biodiversidad del país esté siendo severamente afectada sin que siquiera lo sepamos. El desarrollo salmonicultor es una de las actividades productivas más importantes del país, pero a la vez un ejemplo de un modelo que privilegia lo económico. Los salmones son exóticos, es decir, no nativos en nuestros ecosistemas, y se sabe que la introducción de especies exóticas es la segunda causa de pérdida de biodiversidad después de la fragmentación del hábitat (Gajardo & Laikre, 2003). Hay entonces un riesgo inherente para el ecosistema y las especies que contiene al disponer de una inmensa biomasa de especies exóticas que por definición se escapan, ya sea a pulsos regulares o masivamente. La industria salmonera se desarrolló bajo el paradigma de crecimiento sostenido en un ecosistema sensible y limitado en recursos que, además, es poco conocido (Gajardo & Laikre, 2003; Buschmann *et al.*, 2009). La aparición del virus ISA que provoca una anemia hemorrágica cortó este ascenso triunfal orientado a la maximización de las ganancias, sumiendo a la industria y al país en una severa crisis económica y social. Curiosamente esta crisis era predecible, pues responde a un principio ecológico fundamental que señala que al traspasar la capacidad de carga del ecosistema se genera contaminación y en estas condiciones los microorganismos y parásitos tienen un ambiente óptimo para salir de sus huéspedes ocasionales, que son generalmente desconocidos, para reproducirse. Darwin llegó precisamente a la idea de lucha por la sobrevivencia luego de entender que las especies no pueden crecer indefinidamente si los recursos en el ecosistema

son limitados. Y también escribió sobre el peligro que representaban las especies exóticas (Ludsin & Wolfe, 2001).

BIODIVERSIDAD LATINOAMERICANA: SUS HABITANTES Y SUS RECURSOS GENÉTICOS

Un congreso internacional de genética en el marco de las celebraciones del bicentenario y en el año de la biodiversidad es una oportunidad única para revisar el estado de avance de la genética en todos sus ámbitos, desde el gen a la sociedad. El lema del congreso señalado en el subtítulo de esta sección resalta el valor de la diversidad y de la genética como factor de desarrollo y de bienestar humano. Esto último no sería posible sin la adecuada caracterización, monitoreo y explotación sustentable de los recursos genéticos. Las fortalezas y debilidades de nuestros países en las diferentes áreas del conocimiento genético-evolutivo, y en ciertos organismos en particular, reflejan las prioridades establecidas por los gobiernos y agencias de financiamiento. Lamentablemente muchas veces no hay coherencia entre las necesidades objetivas de conocimiento, el organismo estudiado y los recursos asignados, lo que es una gran debilidad pensando en el desarrollo sustentable y en una aproximación ecosistémica.

Por otra parte, los recursos humanos disponibles en el país y los temas que abordan reflejan la tradición en ciertas áreas, pero también el esfuerzo-país por fortalecerlas pensando en un propósito definido. La capacitación de recursos humanos en áreas deficitarias, como sería la caracterización genética de especies explotadas y de aquellas sobre-explotadas y de otras nativas vulnerables, requiere un esfuerzo inmediato.

Los avances tecnológicos y bio-informáticos que han incrementado la resolución para escudriñar las profundidades del genoma, la

fidelidad de su reproducción y el significado de su mensaje, permiten probar la fortaleza de la teoría darwiniana. Conceptos como el de gen han evolucionado de la mano de estos avances (Gerstein *et al.*, 2007). La revolución de las *ómicas* (genómica, proteómica, metabolómica) revela cómo ha evolucionado el conocimiento en el aspecto clave del paradigma darwiniano: la relación del organismo con su medio ambiente y viceversa, aclarando –o complejizando– el entendimiento de los factores que afectan la sobrevivencia y reproducción que son parámetros de la adecuación biológica (*fitness*), tanto en humanos como animales. Se han develado igualmente procesos genómicos y se han descubierto genes que producen aislamiento reproductivo, que es la prueba “ácida” que reconoce el nacimiento de una especie según el concepto biológico de especie, proceso que incrementa la biodiversidad. Finalmente la genética y la biología evolutiva tienen aplicación industrial en un amplio espectro de actividades. Por ejemplo, las técnicas filogenéticas que se sustentan en el principio de descendencia con modificación, permiten monitorear enfermedades e identificar especies de interés médico-farmacológico, normalmente microorganismos, y especies que es necesario conservar, mientras que la evolución por selección natural se usa en ámbitos tan dispares como la creación de nuevas drogas para la medicina y de enzimas para uso industrial, o para contrarrestar o evitar microbios resistentes, y en el diseño de nuevas tecnologías computacionales.

La selección natural como mecanismo conductor de la evolución se ha extendido a diversos ámbitos del conocimiento. Así lo demuestra un reciente estudio (Pagel, 2009) que analizó la presencia del término selección natural en el título o en las palabras claves de alrededor de 14.000 artículos publicados el 2008 en revistas ISI. Como era esperable, el término está ampliamente re-

presentado en revistas de genética y herencia, pero también en un número importante de artículos publicados en revistas de matemáticas, nutrición y dietética, neurociencias, meteorología, patología, biotecnología, sociología, ciencias sociales, cardiología, pediatría, ciencias veterinarias y químicas. Se desprende de ello la amplia aceptación de los principios darwinianos, pero también nos indica que la relación genoma-individuo-medio ambiente puede ser más compleja que lo percibido desde la propia disciplina, razón por la cual se requeriría unificar el conocimiento, como ha sugerido E. O. Wilson, el padre de la sociobiología (Wilson, 1998). Un ejemplo de esta complejidad es el fenotipo que debe responder a las variaciones ambientales en tiempo real, mientras que los cambios genómicos ocurren en otra temporalidad. En el caso humano interesa saber de qué manera interactúan y contribuyen a la sobrevivencia y reproducción la compleja biología de los individuos, su mente organizada en memes, o unidades cognitivas, y los elementos culturales que la moldean por efecto de la selección (Pagel, 2009).

EVOLUCIÓN DE LA GENÉTICA NACIONAL

Así como Darwin concibió su teoría influenciado por diversos pensadores, tanto dentro como fuera del ámbito disciplinario, el desarrollo de la genética chilena tiene su nodo fundacional en los profesores Danko Brncic, Gustavo Hoecker y René Cortázar (Fig. 1), socios-fundadores de la Sociedad de Genética de Chile (SOCHIGEN) y Premios Nacionales de Ciencia por sus exitosas líneas de investigación, formación de discípulos y de recursos humanos para la ciencia nacional. Cada uno desde su campo de acción abrazó el darwinismo y su versión posterior, la teoría sintética de la evolución, que in-



Foto 1. (Izq. a der.) Profesores Danko Brncic, René Cortázar y Gustavo Hoecker, fundadores de la Sociedad de Genética de Chile (SOCHIGEN), Premios Nacionales de Ciencias y mentores de importantes discípulos en sus líneas de investigación: genética-evolutiva, ciencias agronómicas e inmunogenética.

Profesor Ricardo Cruz-Coke, organizador del congreso ALAG, Viña 1986 y Presidente Honorario del Congreso ALAG 2010, genetista humano, estudió y formó discípulos en genética de poblaciones de comunidades aborígenes y chilenas en las cuales investigó diversos factores evolutivos. Profesor Tito Ureta utilizó destacadamente el modelo de las hexoquinasas, para defender la visión neutralista, en contraposición a la seleccionista, en una época de gran ideologización respecto del valor de la variabilidad genética.

corporó la genética al estudio de la adaptación y especiación, cuyo máximo exponente fue Theodosius Dobzhansky, creador de la célebre frase: “Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución”.

El profesor Danko Brncic, quien trabajó con Dobzhansky en Nueva York, desarrolló la genética evolutiva con la mosca *Drosófila*, organismo de preferencia en estos estudios al permitir comparar la situación natural con la experimental o de laboratorio. El Prof.

Brncic estudió con gran éxito la integración del genotipo en poblaciones geográficas, en donde las inversiones cromosómicas protegen complejos adaptativos de genes al evitar la recombinación. Detalles de la vida de Danko Brncic aparecen en un merecido homenaje realizado por la *Revista Chilena de Historia Natural* (Godoy-Herrera & Gajardo, 2001). El profesor Gustavo Hoecker desarrolló la inmunogenética, una disciplina relevante para la sobrevivencia y reproduc-

ción de los organismos que él estudió utilizando el complejo HLA en humanos y H-2 en ratones, dos modelos de complejos adaptativos. El Dr. René Cortázar fue pionero en la genética agrícola y mejoramiento genético animal y vegetal, destacándose por su esfuerzo por introducir nuevas tecnologías y desarrollos conceptuales para aumentar la productividad de cultivos como el trigo.

El Dr. Ricardo Cruz-Coke, quien es uno de los Presidentes Honorarios del congreso ALAG 2010, fue responsable, junto a la Dra. Nelly Lafuente, del congreso ALAG de Viña del Mar el año 1986. El Dr. Cruz-Coke impulsó el desarrollo de la genética humana teniendo como sustrato conceptual el darwinismo, como lo demuestra en un reciente artículo en la *Revista Médica de Chile* (Cruz-Coke, 2009), a propósito del bicentenario de Darwin, en donde recuerda que la población chilena y diversos grupos aborígenes han evolucionado (cambio en la frecuencia de sus genes) sometidos a los mismos principios que rigen a los animales. Por una parte, variación genética producida por mutaciones, recombinación y migrantes (flujo génico) y, por otra, selección y deriva genética. Junto con demostrar el rol de la selección, el Dr. Cruz-Coke y colaboradores demostraron cómo la relajación de la selección se expresa en patologías que afectan la sobrevivencia y reproducción, tema de gran interés médico. La Dra. Lafuente investigó el impacto mutagénico y cancerígeno de agentes ambientales (genotóxicos) y muchos de sus discípulos se agrupan hoy en ALAMCTA (Asociación Latinoamericana de Mutagénesis, Carcinogénesis y Teratogénesis Ambiental), entidad dirigida por el Dr. Enrique Zamorano-Ponce y que co-organiza el congreso ALAG.

Finalmente, y para introducir al profesor Tito Ureta, me tomo la libertad de un pequeño preámbulo. La época en la que vivieron mis homenajeados (Fig. 1), congreso ALAG 1986 incluido, fue muy fecunda cien-

tíficamente a pesar de los limitados recursos disponibles para la investigación, para el intercambio de investigadores y para reclutar doctorandos (los posdoctorados no habían nacido para la realidad nacional). Igualmente fue una época muy ideologizada científicamente, y recuerdo agitados seminarios departamentales en la Facultad de Medicina Norte de ese entonces en torno al problema de moda por largos años, referido al valor de la variabilidad genética en las poblaciones naturales. El profesor Brncic defendía la postura seleccionista, es decir que la variabilidad genética ampliamente distribuida en el universo biológico tenía un rol adaptativo, mientras que otros que como el Dr. Francisco Rothhammer, que trabajaba en grupos humanos pequeños, abrazaban la visión contraria (neutralismo). En este contexto destaco el rol activo que jugó el Dr. Tito Ureta, a quien conocí en mis años de estudiante en la Facultad de Ciencias, como participante habitual en discusiones sobre esta temática, aportando desde la visión molecular, específicamente desde la óptica de las hexoquinasas que son enzimas que catalizan la fosforilación de la glucosa por medio de ATP. Por su importante rol en la generación de energía para la sobrevivencia y reproducción de las máquinas de auto-perpetuación que son los organismos, su valor adaptativo es alto y el Dr. Ureta aprovechó muy astutamente y con la complicidad del código genético que es redundante, la neutralidad adaptativa que se verificaba al ocurrir mutaciones que alteraban la secuencia de aminoácidos en las hexoquinasas sin que ello representara un cambio funcional detectable. Más aún, veo como importante para la época que un bioquímico, normalmente centrado en las profundidades de la maquinaria del metaboloma, traspasara los límites de su disciplina para pensar en otras complejidades, y en eso creo que Tito Ureta se anticipó a los tiempos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Enrique Zamorano por la invitación para escribir este ensayo. La Dra. Alicia Ramos respondió prontamente a mi solicitud de contar con fotos del profesor Hoecker, mientras que el Dr. Roberto Neira hizo lo mismo con la del profesor Cortázar. El profesor Ureta fue igualmente diligente y me apoyó adicionalmente con literatura actual y lo mismo hizo el Dr. Cruz-Coke. Agradezco a todos por permitirme plasmar en una foto el recuento histórico de este artículo.

REFERENCIAS

- BALMFORD, A. *et al.* (2005) The Convention on Biological Diversity's 2010 Target. *Science*, 307: 212-213.
- BULL, J.J. & WICHMAN, H. A. (2001) Applied Evolution. *Annual Review of Ecological Systematics*, 32: 183–217
- BUSCHMANN, A. *et al.* (2009) Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean & Coastal Management* 52: 243-249.
- CRUZ-COKE, R. (2009) Bicentenario de Darwin. *Revista Médica de Chile*, 137: 446 (cartas al Editor).
- DARWIN, C. (1859) *On the Origin of Species*. John Murray. London.
- DAWKINS, R. (1989) *The Selfish Gene*. Oxford University Press.
- GAJARDO, G. & LAIKRE, L. (2003) The Chilean Aquaculture Boom is based on Exotic Salmon Resources: a Conservation Paradox. *Conservation Biology*, 17 (4): 1173-1174.
- GERSTEIN, M. B. *et al.* (2007) What is a gene, post-ENCODE? History and updated definition. *Genome Research*: 669-681. www.genome.org
- GODOY-HERRERA, R. & GAJARDO, G. (2001) Homage to Danko Brncic. *Revista Chilena de Historia Natural*, Vol. 74.
- LAIKRE, L. *et al.* (2008) Wanted: Scientists in the CBD Process. *Conservation Biology*, 22 (4): 814-815.
- LUDSIN, S. A. & WOLFE, A. D. (2001) Biological invasion theory: Darwin's contributions from the Origin of Species. *Bioscience*, 51: 780- 789.
- MACE, G. (2005) Biodiversity: An index of intactness. *Nature*, 434: 32-33
- PAGEL, M. (2009) Natural selection: 150 years on. *Nature*, 457, 808-811.
- RIDLEY, M. (1999) *Genome. The Autobiography of a Species in 23 Chapters*. Fourth Estate. London.
- RUSE, M. (1999) *The Darwinian Revolution*. The University of Chicago Press. Chicago, London.
- WILSON, E.O. (1998) *Consilience. The Unity of Knowledge*. Little, Brown & Company. London.
- www.cbd.int/convention.