

La utilización del concepto de ADN en nuestra sociedad: tecnociencia, frases hechas y errores científicos

The use of the DNA concept in our society: technoscience, set phrases and scientific mistakes

Recibido: 06/09/11
Modificado: 07/10/11
Aceptado: 18/10/11

Francesc Mestres
Dept. Genètica
Universitat de Barcelona

Resumen: La tecnología científica relacionada con el ADN y sus aplicaciones ha revolucionado nuestra sociedad. La información respecto a estos progresos se ha extendido rápidamente mediante los medios de comunicación. A su vez, las personas han incorporado conceptos de las tecnologías relacionadas con el ADN en su cosmovisión. La utilización de frases hechas basadas en el ADN ha tenido un gran éxito mediático, pero algunas de ellas contienen errores científicos graves. En este artículo se pretende mostrar dichos errores y posibles vías de actuación para corregirlos.

Palabras clave: ADN, cosmovisión, frases hechas, selección natural, darwinismo, herencia de caracteres adquiridos, lamarckismo.

Abstract: Technology based on DNA and its applications has revolutionized our society. Information regarding these advances has rapidly spread by the media. Furthermore, people have incorporated the DNA technology concepts in their worldview. Several set phrases based on DNA have had a depth media success, but someone contain severe scientific mistakes. This paper is focused in presenting this errors and proposing different ways to overcome them.

Key-words: DNA, worldview, set phrases, natural selection, Darwinism, inheritance of acquired characters, Lamarckism.

INTRODUCCIÓN

Todos nosotros somos conscientes de los grandes avances de la tecnociencia desde mediados del siglo veinte. Entre los grandes avances la mayoría de nosotros seguramente destacaríamos la conquista del espacio, la informática y la genética molecular. Esta última ha tenido una evolución vertiginosa y arranca de los primeros experimentos que demostraron que la molécula de ADN¹¹ (ácido desoxirribonucleico) era la molécula portadora del material genético (Avery et al., 1944). Sin embargo la comunidad científica no se convenció del todo hasta los trabajos experimentales de Hershey y Chase (1952), publicados un año antes de que Watson y Crick presentaran la estructura en doble hélice del ADN (Watson and Crick, 1953). Este evento marca el inicio de la Genética molecular. Luego vino la descripción del dogma central (las relaciones entre el ADN, el ARN y las proteínas), el descifrado del código genético, los primeros procedimientos de secuenciación del ADN, los albores de la manipulación del material genético, etc. En pocos años, en concreto desde mediados de los años noventa del siglo pasado, se ha producido un gran desarrollo tecnocientífico en la secuenciación, análisis y manipulación del ADN. La Genética molecular se ha aliado con la informática dando lugar a la disciplina denominada Bioinformática. Sin el desarrollo también acelerado de los ordenadores con cada vez con mayor velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento de información y nuevos programas informáticos aplicados (*software*) sería imposible procesar y analizar toda la información obtenida en forma de secuencias de ADN. Actualmente la tecnología permite nuevas formas de secuenciar el ADN, las denominadas *Next generation sequencing* (Kwon and Ricke 2011), que permiten obtener las secuencias de genomas completos en tiempos y costes aceptables. Todos estos avances se han plasmado en un mejor conocimiento de algunas enfermedades humanas, con lo que a veces es posible realizar un diagnóstico precoz o realizar un tratamiento justo después del nacimiento para minimizar los efectos de la enfermedad (Strachan and Read 2010, Sudbery 2010). La Genética molecular, junto con la Genética del desarrollo ha abierto el camino a la utilización de las células madres en la regeneración de órganos o la superación de ciertas enfermedades (Bueno 2005). La ingeniería genética ha hecho posible, a pesar de las polémicas suscitadas, la mejora de ciertas cosechas al incorporar genes con propiedades alimenticias o de resistencia a plagas. Esta disciplina también ha permitido la obtención de ciertas moléculas que permiten superar algunas enfermedades, como la insulina o la hormona del crecimiento. Los beneficios de la ingeniería genética en nuestra sociedad son numerosos e importantes (Bueno 2008, Nicholl 2010). También la Genética evolutiva ha realizado un salto de calidad mediante las tecnologías del ADN y ahora podemos realizar comparaciones de genes individuales entre especies cercanas o no tanto o incluso entre genomas

¹ A pesar de que científicamente la nomenclatura correcta de la molécula es DNA, en este artículo utilizaré ADN por ser la forma en que es conocida habitualmente en nuestra sociedad, pues así aparece en los medios de comunicación, obras literarias, producciones cinematográficas, etc.

enteros (Mestres 2007, Caetano-Anollés 2010). También podemos conocer la diversidad a nivel de las moléculas de ADN de especies en peligro de extinción y así diseñar estrategias de conservación (Frankham et al. 2004, Mills 2007). Finalmente comentar la importancia del estudio del ADN en Genética forense, que ha permitido la resolución de casos criminales (asesinatos, robos o secuestros), una gran mejora en la precisión de las pruebas de paternidad, la identificación de cadáveres humanos irreconocibles por métodos convencionales (por ejemplo debido a accidentes o acciones terroristas), la identificación de fraudes alimentarios (comercializar una especie de baja calidad como si fuese otra muy apreciada), la detección de cepas bacterianas usadas en acciones bioterroristas, etc. (Mestres y Vives-Rego 2009a; Butler 2010).

Por todo ello, la presencia del ADN en informaciones y noticias es constante. Además en muchas producciones cinematográficas o televisivas actuales se habla reiteradamente de dicha molécula. Por todas estas razones el concepto de ADN ha pasado a formar parte de nuestras vidas y de nuestra sociedad.

IMPACTO DEL ADN EN NUESTRA SOCIEDAD

Uno de los primeros genios en valorar la importancia de la doble hélice del ADN y quedar fascinado por su estructura y significado fue el artista Salvador Dalí, que dedicó una serie de pinturas a esta temática, tales como “Butterfly landscape. The great masturbator in surrealist landscape with DNA” (1957-1958), “Árabes acidodesoxiribonucleicos” (1963), “Galacidalacidesoxyribonucleicacid” (1963), “Estructura del ADN” (1974) o “El ácido desoxiribonucleico y la escalera de Jacob” (1975). Sin embargo es desde hace unos diez años que el ADN aparece de manera reiterada y cotidiana en nuestra sociedad. De hecho, en nuestra sociedad casi todo el mundo tiene una cierta idea de qué es y qué representa el ADN. Pero en la mayoría de veces esta idea es imprecisa y depende, lógicamente, del nivel cultural y de conocimientos de cada persona. Por ejemplo, hay personas que piensan en una combinación indeterminada de las letras A, T, C y G (realmente son símbolos que representan a las bases nitrogenadas que son compuestos químicos que forman parte de los nucleótidos, monómeros que unidos entre si forman el ADN) con un significado enigmático, otras creen que es un mensaje codificado como el que se encuentra en las tumbas de las pirámides egipcias y que se puede descifran sabiendo el código y así un largo etcétera. En cambio no saben exactamente que es lo que está codificando. Por todo ello podemos afirmar que el ADN forma parte de la cosmovisión de las personas que forman nuestra sociedad. Según Cano y colaboradores, la cosmovisión puede definirse como “el conjunto de opiniones y creencias que conforman la imagen o concepto general del mundo que tiene una persona, época o cultura, a partir del cual

interpreta su propia naturaleza y la de todo lo existente” (Cano et al. 2010). En general parece que para nuestra sociedad el ADN es algo relacionado con la determinación de las características del ser humano (incluyendo las enfermedades) y de otros organismos vivos, y también está relacionado de alguna manera con la transmisión de los caracteres a las siguientes generaciones.

En este contexto ha tenido éxito una frase hecha que no es más que la versión moderna de una clásica de la lengua castellana y que también existe en otras lenguas peninsulares. Así, es bien conocida la expresión tradicional “esta persona presenta tal característica *hasta los tuétanos*”. El significado es que dicha característica se encuentra totalmente arraigada en aquella persona, hasta lo más íntimo y profundo. La idea subyacente es que ha penetrado hasta una parte de nuestro cuerpo tan interna como los tuétanos que se encuentran dentro de los huesos y protegidos por su cubierta mineralizada y por tanto muy resistente. Si por ejemplo, se dice que “Margarita está enamorada de José hasta los tuétanos” el significado es que su amor es ciertamente muy profundo. Esta frase hecha existe también en lengua catalana, con el mismo significado y traducida de manera literal: “fins el moll de l’os”, donde ‘fins’ significa ‘hasta’ y ‘moll de l’os’ es el ‘tuétano’). La forma actual o moderna de esta expresión es “esta persona presenta tal característica *en su ADN*”. El concepto que se pretende transmitir es el mismo, la característica está en lo más profundo o íntimo de su ser. Esta frase hecha se ha extendido gracias a los medios de información disponibles en la actualidad. Ha sido una frase que ha hecho fortuna y que ha sido favorecida por la selección cultural: aquellas expresiones que son exitosas se extienden por nuestra sociedad. La selección cultural es en cierto modo similar a la evolución biológica, según la cual aquellos individuos mejor adaptados se reproducirán más. Podemos citar muchos ejemplos donde se utiliza esta frase hecha, tales como: “Raúl es del Real Madrid hasta su ADN” o “Xavi lleva el Barça en su ADN”. Otro caso es el del lema para persuadir a los antiguos alumnos de la Universitat de Barcelona para que pasen a formar parte de su asociación. La frase en cuestión es: “*Per als que portem la UB a l’ADN*” (que traducido es, “Para los que llevamos la UB en el ADN). Sin embargo, esta frase hecha socialmente afortunada contiene un gran problema, oculto para el gran público que la utiliza, y es que conceptualmente se basa en una hipótesis científica incorrecta, la denominada herencia de los caracteres adquiridos. A continuación se presentará el por qué.

LA HERENCIA DE LOS CARACTERES ADQUIRIDOS

Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, caballero de Lamarck (1744–1829) fue un gran naturalista y el primero en postular el cambio evolutivo de las especies, pero sin embargo su explicación respecto a como se producía dicho cambio era incorrecta (Lamarck, 1809). Un

breve y buen resumen de sus ideas puede encontrarse en Ridley (1993). Su hipótesis evolutiva se basaba en una serie de principios, como la existencia de unas fuerzas internas (de origen desconocido) que impulsaban a los seres vivos a cambiar. También exponía que el número de linajes, o líneas evolutivas, era fijo y los organismos iban acumulando modificaciones hasta dar lugar a una nueva especie. De hecho, el proceso evolutivo que él propugnaba era un transformismo. Por último, y quizás el aspecto más conocido, era su modelo genético de la herencia de los caracteres adquiridos. Según Lamarck todo esfuerzo, accidente, enfermedad, etc. que sufre un individuo queda reflejado en sus células germinales (las que darán lugar a los gametos o células reproductoras) y por lo tanto estas alteraciones se transmitirán a la descendencia. Esta hipótesis hereditaria para explicar su modelo evolutivo es errónea. Históricamente se han realizado diferentes experimentos que demuestran inequívocamente que no es cierta. Por ejemplo, el científico alemán Weismann (1834-1914) se dedicó a cortar colas de ratones y ver si esta modificación pasaba a la descendencia. En la generación siguiente no aparecían ratones con la cola corta. Este proceso lo repitió durante más de veinte generaciones y cortando la cola a unos 1500 individuos obteniendo siempre el mismo resultado, los ratones descendientes presentaban una cola de longitud normal (Weismann, 1889). A mediados del siglo XX se realizaron otros experimentos con bacterias y virus que demostraron inequívocamente que las mutaciones son preadaptativas (Luria and Delbruck, 1943; Lederberg and Lederberg, 1952), es decir, existen antes de que tenga lugar un cambio ambiental y la selección natural darwinista escoge entre la variabilidad preexistente aquellas combinaciones genéticas que permiten una adaptación a las nuevas condiciones ambientales. De vez en cuando algún científico publicaba que había encontrado alguna situación de evolución lamarckista, pero hasta ahora siempre se ha podido demostrar que la explicación del fenómeno desde dicha óptica era incorrecta (un buen y relativamente reciente ejemplo puede encontrarse en Lenski et al. 1989). Otro reducto clásico del lamarckismo era la generación de anticuerpos por parte del sistema inmunológico. Ciertos investigadores han apoyado esta visión lamarckista incluso en épocas recientes (Steele et al. 1998). Durante muchos años no se sabía como nuestro organismo era capaz de producir tanta diversidad de estas macromoléculas. Se había postulado que la entrada de un antígeno determinado en el organismo humano dirigía la biosíntesis de un anticuerpo específico (lamarckismo). Sin embargo, la Genética molecular ha demostrado inequívocamente los mecanismo subyacentes a la generación de esta gran diversidad molecular de anticuerpos y como se seleccionaban aquellos específicos (una buena revisión puede encontrarse en Watson et al. 1988). Se escoge de entre todos los posibles anticuerpos preexistentes aquel que es el más adecuado para actuar sobre un determinado antígeno.

Por último es de destacar que, en alguna ocasión, el lamarckismo ha producido graves repercusiones sociales. Por ejemplo entre finales de los años 40 y principios de los 60 del siglo

pasado, las directrices para la producción agrícola de la Unión Soviética estaban sustentadas en unos principios basados parcialmente en el lamarkismo. Desgraciadamente, este incorrecto enfoque tecnocientífico trajo como consecuencia unas pésimas cosechas y abundantes pérdidas para el país (para detalles puede consultarse a Rose 1976).

LA FRASE HECHA SOBRE EL ADN Y LA HERENCIA DE LOS CARACTERES ADQUIRIDOS

Conceptualmente, decir que alguien lleva una convicción “hasta su ADN”, es considerar una situación de herencia de los caracteres adquiridos, y por lo tanto desde un punto de vista científico es incorrecto. Así, si analizamos una de las expresiones citadas anteriormente nos daremos cuenta del error científico: “Xavi lleva el Barça en su ADN”. Esta expresión en el fondo implica lo siguiente: cuando el famoso futbolista nació, no era del Barça (ni seguidor, ni jugador, ni tenía genéticamente ninguna relación con dicho club deportivo), pero empezó de pequeño a demostrar cualidades para el fútbol, ingresó en el internado para jugadores noveles (La Masía) y ha acabado siendo un gran jugador. El enunciado de la frase indica que en algún momento su actividad (jugar a fútbol en un determinado club) ha modificado su material genético (su ADN) y por lo tanto podrá transmitir dicha característica a su descendencia. El otro ejemplo, el de llevar la Universidad de Barcelona en el ADN, es un caso similar. Cuando uno nace no pertenece a ninguna universidad, es más, puede ser que jamás ingrese en una institución universitaria. La frase tiene la connotación de herencia de los caracteres adquiridos, pues representa que ir a la Universidad de Barcelona de alguna manera modifica nuestro ADN. Sin embargo en nuestro contexto social esta idea aparece como natural. Las personas no especializadas en biología hacen razonamientos del tipo: “Este chico es un gran futbolista como ya era su padre; claro, lo ha heredado”. Esta línea de razonamiento es incorrecta, el joven habrá heredado unas ciertas cualidades físicas y su ambiente familiar le ha inducido a practicar el mismo deporte que su padre. Estos comentarios los podemos oír en nuestra sociedad con hijos (o hijas) que han “heredado” una actividad de su padre (o madre). Sin embargo, es clarificador fijarse en el caso de una famosa tonadillera española. Su hija también se dedica a esta actividad profesional, pero es una hija adoptiva y por tanto no puede haber heredado esta característica genéticamente sino que proviene de su entorno familiar (Mestres 2002). El problema es que en nuestra sociedad la herencia de los caracteres adquiridos aparece como más intuitiva. En cambio, entender el concepto de la selección natural es complejo y es difícil llegar a comprender toda la riqueza de su significado (Mestres 2002 y Mestres 2010).

IMPACTO SOCIAL DE LA GENÉTICA Y POSIBLES ACTUACIONES

Es correcto y necesario que se realice divulgación científica de la tecnociencia actual. Las personas que forman nuestra sociedad tienen el derecho a conocer los avances que se van realizando, pues una fracción importante de los logros de la ciencia y de la técnica ha sido financiada con fondos públicos. Pero es responsabilidad de los investigadores que esta información llegue de forma clara, comprensible y sin errores científicos. La tarea no es fácil, pues en nuestro caso ya he comentado que la frase hecha ha tenido éxito y se ha extendido en muchos ambientes de nuestra sociedad. En mi opinión existen dos líneas de actuación, a nivel de la enseñanza secundaria y de los medios de comunicación social. En el primer ámbito es importante que los docentes de secundaria tengan claro que la hipótesis evolutiva lamarckista es incorrecta y ha sido rechazada utilizando el método científico. Es lamentable aún en nuestros días oír a algún docente (de secundaria e incluso universitario) que dice tener dudas sobre si el lamarckismo aún se está estudiando o si puede ser que sea correcto. Así pues debe conseguirse la concienciación de todo el colectivo docente y después transmitir a los alumnos de forma clara las pruebas científicas que llevan a rechazar la hipótesis de Lamarck. En esta dirección es encomiable los esfuerzos del equipo coordinador de las Pruebas de Acceso a la Universidad (comúnmente conocidas como la Selectividad) de Catalunya, pues llevan a cabo reuniones y seminarios especializados para docentes de secundaria donde se exponen los conocimientos actuales de la teoría evolutiva (la denominada teoría Sintética de la Evolución). Además, a los correctores de las Pruebas de Acceso a la Universidad se nos advierte que respuestas de tipo lamarckista en los exámenes se consideran errores graves. A nivel de los medios de comunicación es responsabilidad del investigador dar una información precisa y clara, verificando también que el periodista responsable de la difusión de la noticia haya entendido bien el avance tecnocientífico que se le está presentando. Es una buena costumbre realizar la supervisión del texto redactado por el periodista antes de su difusión y así poder corregir malas interpretaciones y errores. Es evidente que un profesional del periodismo no tiene que ser especialista, por ejemplo en Genética molecular. Considero fundamental que la noticia sea correcta, pues ello evitará malas interpretaciones entre las personas que forman nuestra sociedad. A su vez es importante enviar cartas a los medios de comunicación explicando correctamente las informaciones tecnocientíficas que han sido redactadas y publicadas conteniendo errores. Por último, otro aspecto a tener en cuenta es no generar falsas expectativas a la sociedad sobre cuando se alcanzará la solución, por ejemplo de una enfermedad (el cáncer, el SIDA, enfermedades hereditarias complejas, etc.). Muchos profesionales del periodismo creen importante saber cuando se alcanzará un objetivo tecnocientífico, pero los que nos dedicamos a la investigación sabemos que no pueden darse plazos.

Por último me gustaría hacer una breve generalización sobre el impacto social de los avances de la Genética. Desde los albores de la Genética molecular, con la posibilidad de manipular los

genomas de los organismos, se han planteado toda una serie de cuestiones de tipo bioético (Suzuki and Knudtson 1990). Los avances a nivel de la Genómica, fundamentados en las nuevas tecnologías de secuenciación y de análisis de los datos, abren nuevos interrogantes y debates a nivel social. Hace unos años nos preguntábamos cuestiones tales como: ¿Se estudiarán nuestras características genéticas antes de acceder a un determinado puesto de trabajo? ¿Analizarán las compañías de seguros nuestro genoma y según como sea nos permitirán tener una póliza con ellas? ¿Se volverán a plantearse programas eugenésicos? Estos interrogantes son cada vez menos un tema de futuro y más de presente. Sin embargo la Genética nos da respuesta a algunas de estas cuestiones. Muchas veces se olvida la primera lección de todo curso básico de Genética. Las características que mostramos para un carácter concreto (el color de la piel, la estatura, la predisposición a una enfermedad), es decir, lo que técnicamente se denomina el fenotipo dependen de dos factores: el componente genético o genotipo (que puede deberse a un solo gen, pero en la mayoría de veces hay un conjunto de genes implicados y no actuando todos por igual) y el ambiente (en el sentido más amplio posible: biológico, físico, cultural, social, etc.). Este punto es crucial y sin embargo muchas veces o se desconoce o se olvida. El efecto del ambiente modulando las características humanas no es conocido ni por la mayoría de periodistas ni por la mayor parte de los miembros de nuestra sociedad, que consideran (erróneamente) que algunas características genéticas determinarán inexorablemente el destino de los individuos que las poseen. Por ello, hay que hacer notar a nuestra sociedad que el hecho de conocer que una persona presenta una predisposición genética a una enfermedad no implica que forzosamente acabará por padecerla (Lemke 2002, 2004). Es más, la sociedad puede beneficiarse del conocimiento de este riesgo genético, pues las personas, al conocer sus posibles predisposiciones a ciertas enfermedades, pueden actuar libremente tomando medidas para evitar, mitigar o retardar el desarrollo de la dolencia (Lemke 2002, 2004). Además, a nivel genómico, todos los miembros de la sociedad presentan seguramente alguna predisposición genética a un tipo u otro de enfermedad.

Sin embargo existe la posibilidad real de tener recopilados los datos genéticos de los ciudadanos. Una de las mejores armas con las que cuenta nuestra sociedad para combatir la delincuencia es la Genética forense, que permite conocer los perfiles genéticos de los individuos y relacionarlos con ciertos delitos cometidos. La eficiencia del sistema se basa en acumular la información del mayor número de individuos en los bancos de datos policiales. La instauración y expansión de dichos bancos de datos abre nuevos debates éticos, legales y sociales (Mestres y Vives-Rego 2009b; Krimski and Simoncelli 2011), pues se plantean preguntas como: ¿Quién debe estar incluido en un banco de datos policial? ¿Quién puede tener acceso a estos bancos de datos y bajo qué condiciones? Una vez incluido el perfil genético de una persona en un banco de datos, ¿lo estará a perpetuidad? Además, existe otra vertiente aún más importante. En algunos

países (como por ejemplo los Estados Unidos) además de almacenarse informáticamente los perfiles genéticos individuales de las personas también se guardan muestras sanguíneas en fichas con sustancias que preservan el DNA (fichas FTA). Por tanto, puede reanalizarse el contenido genético de dichos individuos (incluso muchos años después de haber obtenido la muestra sanguínea) y conocer potencialmente todo su genoma. Surgen pues más cuestiones de interés social, legal y ético: ¿Es lícito que se pueda almacenar dicho material biológico? ¿Quién y en qué condiciones puede acceder a él? ¿Con qué finalidad se autorizará un reanálisis del material genético de una persona? Todas estas cuestiones están relacionadas directa e indirectamente con la Genética y necesitarán un enfoque pluridisciplinar para obtener respuestas adecuadas a las inquietudes de nuestra sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

- Avery, D. T., McLeod, C. M. and McCarty, M. (1944): "Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a desoxyribonucleotid acid fraction isolated from pneumococcus type III", *J. Exp. Med.*, 79, 137-158.
- Bueno, D. (2005): *Òrgans a la carta*. Omnis cellula – Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Bueno, D. (2008): *Convivint amb transgènics*. Omnis cellula – Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. Barcelona.
- Butler, J. M. (2010): *Fundamentals of forensic DNA typing*. Elsevier Academic Press, Burlington (MA). USA.
- Caetano-Anollés, G. (2010): *Evolutionary genomics and systems biology*. Wiley-Blackwell. Hoboken (NJ), U.S.A.
- Cano, M., Vives-Rego, J. y Mestres, F. (2010): "La Weltanschauung (Cosmovisión) en el comportamiento medioambiental del siglo XXI: cambios y consecuencias", *Ludus vitalis*, 18, 275-278.
- Frankham, R., Ballou, J. D. and Briscoe, D. A. (2004): *Introduction to Conservation Genetics*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Hershey, A.D. and Chase, M. (1952): "Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage", *J. Gen. Physiol.*, 36, 39-56.
- Krimsky, S. and Simoncelli, T. (2011): *Genetic Justice*. Columbia University Press. N. Y.

- Kwon, Y. M. and Ricke, S. C. (2011): *High-throughput next generation sequencing: methods and applications (Methods in Molecular Biology)*. Humana Press Inc., Springer Protocols, N.Y.
- Lamarck, J. B. (1809): *Philosophie Zoologique*, Paris.
- Lederberg, J. and Lederberg, E. (1952): "Replica plating and indirect selection of bacterial mutants", *J. Bacteriol.*, 63, 399-406.
- Lemke, T. (2002): "Genetic Testing, Eugenics, and Risk", *Critical Public Health*, 12, 283-290.
- Lemke, T. (2004): "Disposition and determinism-genetic diagnostics in risk society", *The Sociological Review*, 52, 550-566.
- Lenski, R. E., Slatkin, M. and Ayala, F. J. (1989): "Mutation and selection in bacterial populations: Alternatives to the hypothesis of directed mutation", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86, 2775-2778.
- Luria, S. E. and Delbruck, M. (1943): "Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance", *Genetics*, 28, 491-511.
- Mestres, F. (2002): "El difícil concepto de selección natural", *Ludus vitalis*, 10, 221-226.
- Mestres, F. (2007): "Presente y futuro de la genética evolutiva", *Ludus vitalis*, 15, 221-226.
- Mestres, F. (2010): "Consideraciones respecto de dos conceptos fundamentales en Biología evolutiva: a selección natural e a noción de tempo", *Roteiros*, 4, 123-134.
- Mestres, F. y Vives-Rego, J. (2009a): "Genética forense: entre la tecnociencia y la imaginación", *Ludus vitalis*, 17, 447-450.
- Mestres, F. y Vives-Rego, J. (2009b): "Bancos y bases de datos genéticos para usos forenses", *Revista del Poder Judicial*, 89, 239-263.
- Mills, L. S. (2007): *Conservation of wildlife populations. Demography, genetics, and management*. Blackwell Pub., Malden (MA), U.S.A.
- Nicholl, D. S. T. (2008): *An introduction to Genetic Engineering*. Cambridge University Press, N.Y.
- Ridley, M. (1993): *Evolution*. Blackwell Sci. Pub., Inc., Cambridge (MA), U.S.A.
- Rose, S. (1976): *The history and social relations of genetics*, The Open University. Walton Hall. U. K.
- Strachan, T. and Read, A. (2010): *Human molecular genetics*. Garland Science Pub. Inc., N.Y.

- Steele, E. J., Lindley, R. A. and Blanden, R. V. (1998): *Lamarck's signature. How retrogenes are changing Darwin's natural selection paradigm?* Allen and Unwin Pty Ltd., Sydney, Australia.
- Sudbery, P. (2010): *Human molecular genetics*. The Benjamin/Cummings Pub., Inc., Menlo Park (CA), USA.
- Suzuki, D. T. and Knudtson, P. (1990): *Genethics: the clash between the new Genetics and human values*. Harvard University Press, Cambridge (Mass), USA.
- Watson, J. D. and Crick, F. C. (1953): "Molecular structure of nucleic acids. A structure for desoxyribose nucleic acids", *Nature*, 171, 737-738.
- Watson, J. D., Hopkins, N. H., Roberts, J. W., Steitz, J. A. and Weiner, A. M. (1988): *Molecular Biology of the gene*. The Benjamin/Cummings Pub., Inc., Menlo Park (CA), U.S.A.
- Weismann, A. (1889): *Essays upon heredity and kindred biological problems*. Clarendon Press, Oxford, U.K.