

El proceso adaptativo del entrenamiento - Abriendo la caja negra -

DR. CARLOS MAGALLANES

Doctor en Educación Física por la Universidade de Gama Filho (UGF), Magíster en Educación Física por la misma universidad. Especializado en Ciencias del deporte por la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
Contacto: camagallanes@gmail.com

Resumen: El Síndrome General de Adaptación (SGA) ha sido y continúa siendo el modelo explicativo utilizado por la gran mayoría de fisiólogos y entrenadores deportivos para dar cuenta del proceso adaptativo del entrenamiento. Si bien ese paradigma puede ayudarnos a comprender fenómenos simples como el aumento de las reservas de glucógeno muscular luego de un programa de entrenamiento, es incapaz de dar cuenta de procesos adaptativos más complejos. Con el propósito de fundamentar esta afirmación, comenzamos por analizar el significado que las nociones de adaptación y explicación poseen en Biología, para luego presentar lo que, en nuestra opinión, debe constituir el real paradigma explicativo del proceso de adaptación biológica al entrenamiento. Finalizamos con algunas reflexiones en cuanto a las posibilidades y desafíos que nos depara el reciente ingreso de la Fisiología del Ejercicio en la *era molecular*.

Palabras clave: Adaptación al entrenamiento. Fisiología molecular del ejercicio. Epistemología de la biología.

The Adaptative Process of Training - Opening the Black Box

Abstract: The General Adaptation Syndrome (GAS) has been and remains being the explanatory model used by the vast majority of sport physiologists and coaches to explain the adaptive process of training. While this paradigm can help us to understand simple phenomena such as the increase of muscular glycogen stores after a training program, it is unable to account for more complex training adaptations. In order to support this claim, first we analyze the biological meaning of the adaptation and explanation concepts. Then we present what should be, in our opinion, the real explanation of the biological process of training adaptation. We conclude with some thoughts about the possibilities and challenges that lie in the recent entry of Exercise Physiology in the *molecular era*.

Key words: Training adaptation. Exercise molecular physiology. Epistemology of biology.

EL PROCESO ADAPTATIVO: LA CAJA NEGRA DEL ENTRENAMIENTO

Basta una breve mirada a la historia de la ciencia para constatar que toda nueva disciplina científica que se constituye atraviesa una primera fase en la que sus estudios e investigaciones son, en su amplia mayoría, de tipo descriptivo. Posteriormente, y a medida que se van acumulando y relacionando más datos y observaciones, comienzan a elaborarse hipótesis y teorías que intentan explicar los fenómenos observados.

Durante esa primera fase *descriptiva* los científicos utilizan, de manera consciente o inconsciente, un modelo investigativo que podríamos denominar como de Caja Negra, en la medida que, en el transcurso de ese período inicial, aun no poseen ninguna teoría explicativa que pueda dar debida cuenta de los fenómenos registrados. Tiempo después, cuando el desarrollo del conocimiento alcanza el punto que posibilita la formulación de hipótesis y teorías, la Caja Negra comienza a abrirse.

Así ha sucedido con la Astronomía, la Física, la Biología y también con la Fisiología del Ejercicio. En los orígenes de esta disciplina y por varias décadas siguientes – fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX¹ –, cuando el foco principal de sus estudios se centraba en describir los procesos y modificaciones que ocurrían en el organismo como consecuencia de la práctica de actividad física, el proceso adaptativo del entrenamiento funcionaba a modo de una verdadera Caja Negra, es decir: *Entrenamiento realizado* → *Caja Negra* → *Adaptaciones registradas*.

Años más tarde – mediados del siglo XX – con el apareamiento y difusión de los célebres trabajos de Hans Selye sobre el estrés (1955, 1976, 1998), tanto fisiólogos del ejercicio como entrenadores creyeron haber encontrado en la tesis del Síndrome General de Adaptación – siempre en compañía de su clásico esquema de la Supercompensación – la solución al problema de la adaptación al entrenamiento.

Excede el propósito del presente artículo exponer en forma detalla las tres fases que conforman el SGA (SELYE, 1976). Apenas para que el lector no familiarizado con la temática pueda continuar acompañándonos, ilustramos con un ejemplo simplificado la manera en que suele aludirse a las fases del SGA para dar cuenta del proceso adaptativo del entrenamiento.

1. Fase de Alarma (ej: sesión de entrenamiento de resistencia o de fuerza): Ante una situación de amenaza para su equilibrio, el organismo emite una serie de respuestas físicas instantáneas y automáticas – mediadas por la activación del eje hipofisis-suprarrenal – con la finalidad de mantener su homeostasis.
2. Fase de Resistencia y eventualmente Adaptación (ej. continúan los entrenamientos sistemáticos de resistencia o de fuerza): Ante la continuidad de los factores que desestabilizan su equilibrio, el organismo modifica estructuras y funciones con el fin de alcanzar un nuevo estado de homeostasis (adaptación).
3. Fase de Agotamiento (ej: fatiga crónica o sobreentrenamiento): Esta fase se presenta cuando la *agresión* se repite con una frecuencia, intensidad

o duración tal que supera las posibilidades de adaptación del organismo para alcanzar un nuevo nivel de homeostasis.

Al juzgar por la actual literatura del área de la fisiología del ejercicio y del entrenamiento, y también por lo que se observa en el ambiente académico y deportivo, el Síndrome General de Adaptación continúa siendo el paradigma ampliamente utilizado por la *Comunidad del Deporte* para explicar el proceso adaptativo.

No obstante, creemos que si bien ese paradigma o modelo puede ayudarnos a entender – y apenas como analogía – fenómenos simples como puede ser el aumento de las reservas de glucógeno muscular que ocurre en la recuperación de una sesión prolongada de ejercicio o luego de un programa de entrenamiento, fracasa completamente al intentar utilizarlo para dar cuenta de la enorme mayoría de procesos adaptativos más complejos. ¿Cuáles son los mecanismos por los que el entrenamiento de resistencia y el entrenamiento de fuerza producen adaptaciones diferentes y específicas? ¿Cuál es la secuencia de eventos que hacen que un entrenamiento de resistencia culmine en la síntesis de nuevas mitocondrias y vasos sanguíneos? ¿Cuál es la “señal anabólica” primaria del ejercicio de fuerza que dispara la secuencia de eventos que conducen al crecimiento muscular: la tensión, el estiramiento, el daño fibrilar? Las respuestas a este tipo de cuestiones envuelven una intrincada cascada de eventos imposibles de ser explicados meramente a través del SGA.

En otras palabras, y he aquí nuestro punto central: pensamos que el SGA le ha aportado a la Caja Negra apenas un bonito nombre (por cierto más científico y quizás por lo mismo convincente y tranquilizador), pero en esencia, ha sido muy poco lo que ha contribuido en la real comprensión del proceso biológico de adaptación al entrenamiento. En el actual *estado del arte* de las ciencias biológicas – Biología Celular y Molecular, específicamente – continuar recurriendo al SGA y/o a su clásico esquema de la supercompensación para dar cuenta del proceso adaptativo del entrenamiento nos parece estar constituyendo un *obstáculo epistemológico* (BACHELARD, 1985) para el avance del conocimiento.

Con el propósito de fundamentar esta afirmación, comenzaremos por analizar el significado que las nociones de *adaptación* y *explicación* poseen en Biología, para después presentar lo que, en nuestra

¹ Suele considerarse al libro de Fernand Lagrange “Physiology of Bodily Exercise” publicado en 1889 como el primer libro-texto de Fisiología del Ejercicio. Creemos poder afirmar que la consolidación de esta disciplina como ciencia ocurrió, paulatinamente, durante los 20 años de existencia del histórico “Harvard Fatigue Laboratory” (1927 a 1947).

opinión, debe constituir el real paradigma explicativo del proceso de adaptación biológica al entrenamiento. Finalmente y a modo de conclusión, realizaremos algunas reflexiones en cuanto a las oportunidades y desafíos que el ingreso de la Fisiología del Ejercicio en la *era molecular* nos depara.

ADAPTACIÓN Y EXPLICACIÓN EN BIOLOGÍA

Las dos Adaptaciones

El término *adaptación* posee en Biología dos significados que resulta muy importante distinguir. Por un lado está la noción darwiniana o evolutiva del término, y por otro, la noción que se le atribuye en el contexto, por ejemplo, de la fisiología. En el primer caso, la adaptación se refiere a una característica (estructura anatómica, proceso fisiológico, rasgo del comportamiento, etc.) que posee una especie o población de organismos que ha evolucionado durante un período de tiempo, usualmente prolongado, mediante selección natural. En el segundo caso, la adaptación se refiere a la respuesta, más o menos inmediata, que presenta un organismo individual frente a una perturbación generada por el ambiente externo o interno; dicha respuesta le permite al organismo preservar o recuperar su homeostasis.

Por clara y obvia que pueda resultar esta diferencia conceptual, existen situaciones – creemos que no raras entre fisiólogos y entrenadores deportivos – en que el uso del término se confunde. Ilustramos dicha confusión con el siguiente ejemplo: es muy probable, sino seguro, que la capacidad que los seres humanos tenemos de adaptarnos al entrenamiento (hipertrofiar músculos con ejercicios de fuerza, aumentar el consumo máximo de oxígeno con ejercicios de resistencia, etc.) sea una cualidad que le otorgó a nuestros ancestros, mayores posibilidades de sobrevivencia y éxito reproductivo. Si así fuese, y tal es nuestra convicción, la posibilidad de adaptarnos al entrenamiento constituiría una característica que evolucionó por selección natural, y representaría actualmente una verdadera adaptación en el sentido darwiniano. Sin embargo, el aumento de síntesis proteica que se produce con el entrenamiento de fuerza o la biogénesis mitocondrial que ocurre con el entrenamiento de resistencia, no son adaptaciones darwinianas (no son efectos de la selección natural, no son fenómenos po-

blacionales) sino respuestas de sistemas individuales autopoieticos² – o autoorganizadores, si se prefiere – frente a estímulos del medio. Es decir, adaptaciones en la acepción fisiológica del término. Por lo tanto, y contradiciendo lo que a veces aparece escrito en libros y artículos, sostenemos que resulta innecesario e inadecuado recurrir a Darwin o a la noción de selección natural para dar cuenta de las respuestas y adaptaciones morfo-fisiológicas que se producen en la persona que se ejercita.

Las dos Explicaciones

Con el concepto de *explicación* ocurre algo muy similar a lo que arriba mencionamos con relación a la noción de adaptación. Es decir, que pueden distinguirse dos significados del término según sea el área de la Biología en que dicho término es utilizado.

Siguiendo a autores como Mayr (1989, 2006), Jacob (1999), Ayala (1998), entre otros, nos parece que la mejor manera de comprender esta diferencia es distinguir entre dos grandes perspectivas epistemológicas en la que se puede estudiar cualquier fenómeno biológico. Utilizando la terminología propuesta por Mayr (1989), dichas perspectivas son, por un lado la de la *Biología Funcional* y por otro la de la *Biología Evolutiva*³.

La primera es la biología que, actuando a nivel del organismo individual y utilizando métodos experimentales similares a los de la física y la química, se ocupa de estudiar y explicar los mecanismos físico-químicos a través de los cuales se encadenan e integran los diferentes procesos biológicos en la constitución de estructuras y funciones.

La segunda es aquella biología que, actuando a nivel poblacional y recurriendo a una variada gama de herramientas metodológicas (registros fósiles, datos moleculares, evidencias geológicas y climáticas, etc.) se ocupa, darwinismo de por medio, de inferir y comprender los sucesos históricos que pudieron haber ocurrido para que las diferentes especies y grupos

² Maturana y Varela (1997) denominan autopoiesis al conjunto de los procesos por medio de los cuales un organismo individual se constituye y preserva en su propia organización.

³ Importa destacar que las diferentes áreas que componen la Biología se articulan de manera coherente y no existe entre las mismas nada semejante a lo que pudiera denominarse una inconmensurabilidad de paradigmas (KUHN, 1971). No obstante, para abordar en profundidad los diversos problemas de los que se ocupa la Biología, creemos conveniente diferenciar esas dos maneras en la que se puede estudiar lo viviente.

de organismos evolucionaran del modo que lo hacen y/o lo hicieron.

O como lo sintetiza brillantemente Caponi (2002, p.81): mientras la Biología Funcional nos lleva en la dirección de una *física de los organismos*, la Biología Evolutiva nos invita a una *hermenéutica de lo viviente*.

Teniendo en cuenta lo expuesto en los párrafos anteriores y volviendo al tema de nuestro interés, resulta evidente que la explicación del proceso de adaptación al entrenamiento pertenece al ámbito de la Biología Funcional y no al de la Biología Evolutiva.

En resumen: explicar el proceso de adaptación biológica al entrenamiento significa describir la secuencia de eventos físico-químicos que se inician con el estímulo del ejercicio y culminan con la respuesta adaptativa específica.

Quizás también aquí valga la pena destacar que dicha explicación – del proceso adaptativo – tampoco necesita de la noción de selección natural ni hacer referencia a narrativas evolutivas. Sin embargo, si saliendo del ámbito restringido del *cómo* del proceso adaptativo (causación mecánico-funcional, nexos necesarios y suficientes) nos preguntamos por el *porqué* del mismo (porqué el proceso adaptativo es como es y no de alguna otra manera), la única manera científica de responder a esa pregunta es, en nuestra opinión, la que Darwin nos enseñó.

“Nothing in biology makes sense except in the light of evolution” solía decir Dobzhansky (1973), y hacemos coro junto con él.

ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO: UN PROCESO ESENCIALMENTE MOLECULAR

Habiendo abierto camino en el terreno conceptual, pasamos a presentar brevemente lo que, a nuestro entender, representa la esencia del proceso adaptativo.

No se requiere más que un primer acercamiento a la fisiología para constatar que la adaptación que ocurre a nivel del organismo individual como respuesta a cambios o estímulos del entorno – como constituye el caso del ejercicio físico – es regulada a dos niveles: un primer nivel global, que involucra al organismo entero y que es fundamentalmente controlado por los sistemas nervioso y endócrino; y un segundo nivel

celular, en el que los sistemas reguladores que contienen las células responden a hormonas y otras moléculas señaladoras presentes en la circulación – o en el ambiente inmediato externo o interno de la célula – activando o desactivando procesos moleculares de transcripción, translación, división celular, etc.

El primer nivel global de adaptación ha sido el foco de estudio tradicional de la Fisiología del Ejercicio y es éste – este nivel general – donde la Teoría del Estrés de Selye posee su campo de acción. No obstante, no es a este nivel – global, enfatizamos – donde ocurren los principales y determinantes mecanismos adaptativos. La adaptación al entrenamiento está fundamentalmente regulada a nivel celular y no a nivel del organismo entero.

Creemos posible prescindir de citas bibliográficas o de la necesidad de una incursión detallada en la fisiología para sustentar esta afirmación. A modo de argumento, simplemente le recordamos al lector que existen centenares de publicaciones mostrando que células y/o músculos aislados, cuando son sometidos a estímulos eléctricos que mimetizan protocolos de entrenamiento, manifiestan adaptaciones (síntesis de proteínas, por ejemplo) similares a aquellas que ocurren en las células y músculos de las personas que se ejercitan; y es de destacar que en esas situaciones “*in vitro*” tales respuestas adaptativas se procesan, obviamente, sin la participación del primer nivel global de adaptación. O sin necesidad de recurrir a estudios de laboratorio como forma de respaldo, basta simplemente la experiencia u observación cotidiana para constatar que las adaptaciones se concentran, no exclusiva pero sí fundamentalmente, en la musculatura ejercitada (piernas del futbolista, brazo hábil del tenista o del herrero, etc.). De hecho, la naturaleza esencialmente local de las respuestas a los estímulos del ejercicio es uno de los fundamentos del *Principio de Especificidad* que debe orientar todo programa de entrenamiento.

En definitiva, y he aquí el punto fundamental: habremos explicado el proceso de adaptación biológica al entrenamiento, y abierto finalmente la Caja Negra, cuando consigamos identificar y describir la secuencia en cascada de eventos que se inician con la “señal” del ejercicio y culminan con la respuesta adaptativa específica; esto incluye – y lo destacamos especialmente – los intrincados procesos y mecanismos que ocurren a nivel celular y molecular.



EL INGRESO DE LA FISIOLÓGÍA DEL EJERCICIO EN LA ERA MOLECULAR: COMENZANDO A ABRIR LA CAJA NEGRA

En los orígenes de la Fisiología del Ejercicio, cuando los conocimientos de genética y biología celular eran precarios, y el foco de interés se centraba en determinar las respuestas del organismo a las demandas fisiológicas de la actividad física, era imposible abordar cuestiones sobre cualquier evento que pudiera estar ocurriendo a nivel molecular.

Años más tarde, con el desarrollo de la bioquímica enzimática, las posibilidades comenzaron a ampliarse significativamente. Las nuevas técnicas disponibles dieron lugar a una serie de estudios más minuciosos sobre diversos procesos metabólicos que ocurren durante o como consecuencia de la práctica de actividad física.

No obstante, ha sido apenas en los últimos 15 o 20 años que el explosivo avance del campo de la genética y biología molecular – en conocimientos y especialmente en tecnologías – les ha permitido a los investigadores comenzar a comprender algunos de los modos fundamentales en los cuales funcionan y son reguladas nuestras células, tejidos, órganos y sistemas dentro de nuestro cuerpo.

En lo que a la Fisiología del Ejercicio y al proceso adaptativo se refiere, estas tecnologías posibilitaron el inicio de estudios destinados a comprender los eventos intracelulares que median la adaptación al entrenamiento. Actualmente ya se han identificado numerosos mecanismos por los cuales diferentes formas de ejercicio – de resistencia, de fuerza, etc. – activan procesos y secuencias de eventos de señalización intracelular que acaban en la síntesis de proteínas y/o en la regulación de la expresión de diferentes genes y mecanismos moleculares. En otras palabras, la Caja Negra de la adaptación al entrenamiento, finalmente, ha comenzado a abrirse.

Además de procurar explicaciones para antiguas observaciones, la aplicación de técnicas de biología celular y molecular al estudio de cuestiones vinculadas a la actividad física, está permitiéndole a los fisiólogos del ejercicio abordar cuestiones antes imposibles de ser siquiera formuladas. Por ejemplo, además de la identificación de genes y eventos regulatorios que median las adaptaciones específicas a diferentes tipos de ejercicio, la secuenciación del genoma humano y técnicas como el “*Single Nucleotide Po-*

lymorphism” o los “*Genotyping Chips*”, entre otras, posibilitan registrar asociaciones entre ciertos genes individuales y formas específicas de rendimiento deportivo.

En definitiva, la introducción de tecnologías oriundas de la biología celular y molecular le está permitiendo a la Fisiología del Ejercicio profundizar y ampliar enormemente su campo de estudio. Tal es así que algunos autores (MOOREN; VÖLKER, 2004; SPURWAY; WACKERHAGE, 2006) ya le han asignado un nombre propio a esta nueva área de especialización: el de *Fisiología Molecular del Ejercicio*⁴.

Molecular Exercise Physiology is the study of genetics and signal transduction in relation to exercise. Molecular exercise physiologists aim to identify the genetic determinants of human performance on a molecular level and characterize the mechanisms responsible for adaptation of cells and organs to exercise (SPURWAY; WACKERHAGE, 2006, p. 123).

FISIOLÓGÍA MOLECULAR DEL EJERCICIO: OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS QUE NOS AGUARDAN

Todo progreso tecno-científico posee una cuota de ambivalencia: al mismo tiempo que nos beneficia en muchos contextos de la vida, también nos genera nuevos inconvenientes. Así ha sucedido – y continúa sucediendo – con el desarrollo industrial y sus repercusiones ambientales, con el avance de las telecomunicaciones y la pérdida de privacidad individual, o con el diseño de nuevos antibióticos y la evolución de bacterias resistentes a los mismos; apenas para mencionar algunos ejemplos. No es de extrañar, por tanto, que el mismo tipo de situación esté aconteciendo con el reciente ingreso de la Fisiología del Ejercicio en su fase molecular. Es decir, el poder llegar a identificar cuales son los genes y eventos moleculares responsables de las adaptaciones específicas a diferentes tipos de ejercicios abre valiosas oportunidades, interesantes cuestiones y nuevas problemáticas.

⁴ El término “Fisiología Molecular del Ejercicio” es, en realidad, una abreviatura de “Fisiología Celular y Molecular del Ejercicio” o mismo de “Biología Celular y Molecular del Ejercicio”. En la bibliografía actual aparecen los distintos términos, pero parecería que, por brevedad, es la primera denominación la que está comenzando a prevalecer.

Con el propósito de apenas esbozar la variada gama de posibilidades y desafíos que nos depara la Fisiología Molecular del Ejercicio, finalizaremos el artículo exponiendo – a modo de tópicos para evitar extendernos más de lo imprescindible – algunos ejemplos de Oportunidades, Cuestiones y Problemáticas.

Oportunidades

- En la medida que las modificaciones moleculares que ocurren con el ejercicio físico pueden ser detectadas en tiempos de minutos u horas – a diferencia de las semanas o meses necesarios para registrar cambios en el fenotipo –, los tests moleculares podrán facilitar el control y ajuste de los estímulos y programas de entrenamiento; ya estén éstos destinados al rendimiento físico o a la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles.
- Si bien la mayoría, sino todas, las características fisiológicas que influyen en cualidades complejas (como puede ser la resistencia, la fuerza, la velocidad, etc.) están muy probablemente afectadas por un gran número de genes, actualmente se pueden aplicar tests genéticos a grandes poblaciones • para obtener suficiente significancia estadística – e identificar cuáles son los genes determinantes ya sea de formas particulares de rendimiento deportivo o de la sensibilidad para responder a estímulos específicos de entrenamiento. De manera análoga, también es posible realizar tests genéticos para detectar alteraciones que implican un riesgo potencial de muerte súbita durante el ejercicio.

Cuestiones

- Recientes investigaciones muestran que la AMPK activa la biogénesis mitocondrial y que el glucógeno, entre otros componentes, inhibe dicha enzima (HARDIE, 2004; HUDSON *et al.*, 2003). Por lo tanto, se plantea la cuestión de si para deportistas de resistencia – y en dirección contraria a lo que típicamente se recomienda – el entrenar en estados de baja concentración de glucógeno pudiera ser un recurso a utilizar en determinados períodos del entrenamiento.
- Una estrategia efectiva que suele utilizarse para maximizar los efectos del entrenamiento es generar en el organismo, a través de la ingesta de

determinados alimentos, un *ambiente anabólico* durante y/o inmediatamente finalizada la sesión de ejercicios. Componentes fundamentales de este ambiente anabólico son la elevación de glucemia y el aumento de la secreción de hormonas como la IGF-1. Por otro lado, recientes estudios moleculares ajenos al deporte han mostrado que un medio hiperglucémico podría inducir la diferenciación de células madre de origen muscular en adipositos (AGUIARI *et al.*, 2008). También existen trabajos sugiriendo que la IGF-1 podría favorecer el desarrollo de procesos cancerígenos (SMITH *et al.*, 2000). Si estas evidencias se confirmasen deberíamos, como mínimo, comenzar a proceder con mayor cautela a la hora de realizar recomendaciones nutricionales a los atletas.

Problemáticas

- Nos parece que la principal dificultad que se levanta con la Fisiología Molecular del Ejercicio es de naturaleza ética. Es decir, la cuestión de la legitimidad de utilizar tests genéticos o estudios moleculares para detectar individuos con mayores o menores probabilidades de tornarse futuros deportistas de rendimiento⁵. A modo de ejemplo: algunas variedades del gen ACTN3 no se registran en atletas de potencia y velocidad de elite (YANG *et al.*, 2003). Un test para dicho gen podría, en principio, ser utilizado para identificar jóvenes con escasas probabilidades de tornarse deportistas de buen nivel en estas modalidades de pruebas. ¿Sería éticamente adecuado realizar este tipo de test?
- Por otra parte, y por mejores que sean las intenciones de los biólogos moleculares en su práctica científica, es preciso tomar conciencia que los conocimientos y tecnologías que los mismos producen, son la puerta de ingreso hacia la nueva generación del doping deportivo: el doping genético. “*Marathon Mouse*” (ratones diseñados genéticamente para correr más del doble de la distancia que sus pares normales), “*Super Toddler*” (animales extremadamente musculosos debido a la manipulación del gen que codifica la Miostatina), “*Exercise Pill*” (píldoras con químicos que

⁵ Al escribir estas palabras no podemos evitar recordar la famosa serie de la Fundación de Isaac Asimov, así como otros libros y películas de ficción científica donde test genéticos son utilizados con propósitos eugenésicos o discriminatorios.

estimulan receptores y desencadenan los mismos procesos de quema de grasas que se activan durante el ejercicio físico), son apenas algunos de los modernos *recursos ergogénicos* que ya hoy está produciendo la Biotecnología⁶. Y la historia del Deporte nos ha enseñado que, lamentablemente y pese los esfuerzos del Barón Pierre de Coubertein, el *Fair Play* no es un valor inherente al *Homo Sportivus*.

Una última reflexión para terminar. A pesar que la bibliografía disponible en este campo es ya abundante y que la investigación en fisiología del ejercicio se está focalizando cada vez más en el estudio de los fundamentos celulares y moleculares de las respuestas y adaptaciones al ejercicio, nos llama poderosamente la atención que, con la excepción de algunas pocas instituciones norteamericanas y europeas, la mayoría de esos conocimientos – y menos, naturalmente, las técnicas de laboratorio – aun no han empezado a integrar los contenidos de los cursos tradicionales de las dichas Ciencias del Ejercicio.

Para modificar esta situación y poder enfrentar los desafíos arriba mencionados de manera responsable, nos parece imprescindible y urgente comenzar a dialogar sobre estos temas con profesionales de otras áreas (genética, biología celular y molecular, bioética, etc.). Haciendo de esta opinión una enfática sugerencia, ponemos punto final a nuestra reflexión.

REFERENCIAS

- AGUIARI, Paola; LEO, Sara; ZAVAN, Barbara. *et al.* High glucose induces adipogenic differentiation of muscle-derived stem cells. **PNAS**, v. 105, n. 4, p. 1226-1231, 2008.
- AYALA, Francisco. Teleología y adaptación en la evolución biológica. In: MARTÍNEZ, Sergio; BARAHONA, Ana (Ed.). **Historia y explicación en biología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1998.
- BACHELARD, Gaston. **The new scientific spirit**. Beacon Press, 1985. 190 p.
- CAPONI, Gustavo. Explicación seccional y explicación funcional: la teleología en la biología contemporánea. **Episteme**, Porto Alegre, n. 14, p. 57-88, 2002.
- DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **American Biology Teacher**, Baltimore, n. 35, p. 125-129, 1973.
- HARDIE, Grahame. AMP-activated protein kinase: a key system mediating metabolic responses to exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 1, p. 28-34, 2004.
- HUDSON, Emma et al. A novel domain in AMP-activated protein kinase causes glycogen storage bodies similar to those seen in hereditary cardiac arrhythmias. **Current Biology**, v. 13, n. 10, p. 861-866, 2003.
- JACOB, François. **La lógica de lo viviente**. Barcelona: Laia, 1999. 320 p.
- KUHN, Thomas. **Estructura de las revoluciones científicas**. México: Fondo de Cultura Económica, 1971. 360 p.
- MATURANA, Humberto; VARELA, Francisco. **De máquinas y seres vivos**. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 1997. 136 p.
- MAYNARD SMITH, John. **Los problemas de la biología**. Madrid: Cátedra, 1987. 190 p.
- MAYR, Ernst. **Toward a new philosophy of biology: observations of an evolutionist**. Harvard University Press, 1989. 575 p.
- MAYR, Ernst. **Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica**. Madrid: Katz Editores, 2006. 280 p.
- MOOREN, Frank; VÖLKER, Klaus. **Molecular and Cellular Exercise Physiology**. Human Kinetics, 2004. 464 p.
- POPPER, Karl. La reducción científica y la incompletud esencial de toda ciencia. In: AYALA, Francisco; DOBZHANSKY, Theodosius (Ed.). **Estudios sobre la filosofía de la biología**. Barcelona: Ariel, 1983.

⁶ “Marathon Mouse”, “Super Toddler”, “Exercise Pill” son temas que aparecen con reiterada frecuencia en los medios masivos de comunicación; de ahí que nos parecen innecesarias las referencias bibliográficas. Por mayor información sobre estos temas, simplemente sugerimos buscar en Internet.

- SELYE, Hans. Stress and disease. **Science**, v. 122, n. 3171, p. 625-631, 1955.
- SELYE, Hans. **The stress of life**. New York: McGraw-Hill, 1976. 515 p.
- SELYE, Hans. A syndrome produced by diverse noxious agents. **The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences**, n. 10, p. 230-231, 1998.
- SMITH, George; GUNNEL, David; HOLLY, Jeff. Cancer and insulin-like growth factor-I (editorial). **British Medical Journal**, v. 321, n. 7265, p. 847-848, 2000.
- SPURWAY, Neil; WACKERHAGE, Henning. **Genetics and Molecular Biology of Muscle Adaptation**. Churchill Livingstone Elsevier, 2006. 273 p.
- YANG, Nang *et al.* ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. **The American Journal of Human Genetics**, v. 73, n. 3, p. 627-631, 2003.