

PARA ACABAR

*¡Qué gran obra es un hombre! ¡Tan noble en razón!
¡Tan infinito en facultades! ¡En forma y movimiento, tan
exacto y admirable! ¡Como un ángel en acción!
¡Como un dios en percepción! ¡La belleza del
mundo! ¡El parangón de los animales!*

Hamlet, acto 2, escena 2

Así se expresa Hamlet durante su encuentro con sus viejos amigos Rosencrantz y Guildenstern al final del segundo acto. Como tantas otras veces, Shakespeare tenía razón, más de lo que él mismo podía suponer. Un hombre es una máquina termodinámica y una compleja obra de ingeniería de facultades infinitas, pero también muchas más cosas: una entidad polifacética, un producto de su época de caducidad asegurada.

Un producto de sus genes, también. A estas alturas usted ya sabe que los genes no lo son todo para usted, pero que son una gran parte, el armazón sobre el que se sostiene su persona. Todos los seres vivos tienen genes, y muchos de ellos son tan parecidos unos a otros que, vistos sin sus etiquetas, no podríamos decir cuál es nuestro, cuál de un ratón o cuál de una levadura. El mundo vivo tiene una trama que lo une, un lenguaje que es comprensible para todos. Si introducimos un gen de mosca en una bacteria, ésta lo entenderá y lo leerá. No todo es posible: la enzima más abundante en la naturaleza es la llamada “rubisco”, que interviene en la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía

proporcionada por el sol en energía química. No por el hecho de introducir el gen que codifica la rubisco en un ratón va a conseguir que el ratón pueda alimentarse sólo de la luz solar: los seres vivos somos tan complejos que no toleramos fácilmente los desequilibrios. Un ratón que sintetizara la rubisco necesitaría comer tanto como cualquier otro.

No todo es posible, pero los genes hablan. No sólo los investigadores de la salud y la vida, sino los que estudian a las personas en un contexto histórico o social tienen en el genoma humano una herramienta de estudio insospechada, un documento que habla de todas las generaciones humanas que no aparecen en los escritos de los historiadores de la Antigüedad.

¿Qué hemos aprendido con el genoma humano? ¿Qué nos queda por aprender? El Proyecto Genoma Humano y sus aspectos derivados han enseñado dos cosas a los biólogos sobre ellos mismos. Por un lado, que se puede colaborar en una empresa mundial sin por eso limitar el prestigio individual de cada uno. Por otro lado, este proyecto ha representado la pérdida definitiva de la inocencia, si es que aún había algo por perder. Los científicos son personas y, por si quedaba alguna duda, hemos visto bastantes ejemplos durante estos años de cómo es imposible separar la actividad científica de la vida personal.

En el aspecto científico, hemos aprendido que somos extraordinariamente iguales: para un observador imparcial acabado de llegar de otro planeta, somos uno. Cualquier hombre considerado al azar es un representante fiel de la especie, más de lo que lo pueda ser cualquier otro animal. Somos más homogéneos que cualquier especie salvaje, por no hablar de las domesticadas. Al mismo tiempo, las pequeñas diferencias en nuestros genomas tienen una repercusión lo suficientemente grande en nuestra persona como para que todos seamos individuos. Le debe sonar: es el tema del libro y, a estas alturas, lo debe de haber leído una docena de veces. A lo mejor aún habrá tiempo de repetirlo antes de concluir.

Hay quien teme entrar en detalles sobre estas diferencias.

Visto que el prejuicio no necesita argumentos, el riesgo de usar el conocimiento científico para establecer líneas divisorias entre las personas es mínimo comparado con el beneficio de saber cuál es la mejor manera de tratar las enfermedades de cada persona y de cada grupo humano. Ya disfrutamos de algunos de estos beneficios y, a medida que aumente la comprensión de los datos que tenemos, se podrán extender a prácticamente todo el mundo.

Entonces, ¿qué nos queda por aprender? Mucho, casi todo. Los biólogos, médicos y farmacéuticos de las próximas décadas tienen trabajo asegurado intentando descifrar las conexiones entre genes, el papel que cada uno desempeña en el difícil equilibrio que es la célula. Las enfermedades complejas como el cáncer, la diabetes o la osteoporosis pueden ser más comprensibles si conocemos cómo actúa cada gen. El avance del conocimiento de lo que hacen los genes es paralelo al conocimiento de lo que no hacen los genes. Gracias a esto llegaremos a entender de qué manera influyen los genes en fenómenos tan complejos como la conducta o el envejecimiento. Hay que evitar el determinismo, pero si un receptor neuronal defectuoso influye en su estado de ánimo es bueno saberlo para diseñar terapias basadas en un conocimiento científico sólido.

Las personas, individualmente o en grupo, proporcionan suficiente material de estudio para fomentar toda clase de vocaciones, ya sea la literatura, la antropología, la medicina o la filosofía. Hay quien emprende varias de ellas simultáneamente, lo cual no significa que sepa más que los demás. Simplemente, puede tener otros puntos de vista u otras referencias para analizar un mismo fenómeno. *Hamlet* habla de feudalismo, conflictos generacionales, complejos edípicos y verso yámbico a personas de educaciones diferentes. El genoma humano, con su carga de significados añadidos por nosotros mismos, también: los temores y las esperanzas de la especie humana son siempre los mismos aunque se presenten bajo formas ligeramente diferentes.

Cuando se celebró el centenario de la invención del cine,

en 1996, una exposición proponía, entre otras cosas, un puñado de argumentos básicos con los que se podían explicar prácticamente todas las películas. Buñuel explica en sus memorias cómo en el Hollywood de los años 30 elaboró una sistematización parecida y Borges reducía los argumentos posibles a sólo cuatro. Todos ellos han encontrado un reflejo en el genoma humano. Para unos es un viaje sin final como el de Ulises; para otros, una lucha quijotesca contra molinos de viento; para otros, una travesía por el desierto con rumbo a una tierra prometida que nadie ha visto.

Todos tienen razón, a su manera: las metáforas forman parte del lenguaje científico, porque siempre hay un momento en que las imágenes literales no son suficientes para expresar la realidad. Un sociólogo y un psicólogo no encontrarán lo mismo en el genoma, en parte porque cada persona es diferente y, en parte, porque lo que esperan obtener del genoma también lo es.

¿Qué punto de contacto tenemos, entonces, todos los que de una manera u otra nos asomamos al interior del hombre? ¿Qué esperanza de entendernos mutuamente? ¿Puede la genética, con su lenguaje de genes y mutaciones, explicar el genio, la desesperación o la ironía? Seguramente no del todo, pero cada cual en su lugar no hay razón para que no podamos dialogar. Póngase cómodo, porque nos va a llevar un buen rato.

PARA SEGUIR LEYENDO

Hoy en día es difícil encontrar un suplemento dominical que no incluya un reportaje sobre el genoma. Por lo general están bien escritos y son rigurosos; otras veces, las prisas pueden más que el rigor. Con lo que se ha dicho hasta ahora creo que dispone de los datos suficientes para separar el grano científico de la paja mediática. Pero no puede quedarse así: la mitad de las cosas que hemos visto en los capítulos anteriores será vieja dentro de poco, algunos resultados coincidirán con las previsiones y otros no, el avance del conocimiento es imparable y seguro que nos vamos a sorprender con el desarrollo de aplicaciones impensadas derivadas de la genética. Según el nivel de dificultad que esté dispuesto a asumir, puede encontrar información exacta, contrastada y de confianza en los siguientes sitios:

Nature y *Science*, las dos revistas generales de ciencia más prestigiosas, dedican cada semana las primeras páginas a analizar las últimas noticias científicas. El contenido no es más difícil que el de las páginas de economía de cualquier periódico, pero hay que saber inglés. Si sabe algo de inglés y tiene cerca alguna biblioteca universitaria, hojee los números especiales de *Science* y *Nature* dedicados al primer borrador de la secuencia del genoma humano, de febrero de 2001. Incluyen toda una sección de análisis muy bien escrita y figuras explicativas para lectores no especialistas. Se puede acceder a ellas gratuitamente en: www.sciencemag.org y www.nature.com/genomics e incluso se pueden pedir ejemplares gratuitos por correo.

La revista *New Scientist* es un semanario donde se pueden encontrar artículos sobre genética, generalmente bien escritos y sin exageraciones.

En castellano, *Investigación y ciencia* y *Mundo científico* son dos revistas que desde hace años trasladan la investigación científica al público en general mediante revisiones escritas por especialistas en diferentes campos. No son de actualidad semanal, pero son de toda confianza por lo que se refiere al rigor de la información.

Cómo no, a lo mejor le gustaría *ver* el genoma. Quizá la presentación más fácil de usar sea la de la Universidad de California en Santa Cruz (<http://genome.cse.ucsc.edu/>) pero seguramente lo encontrará aburrido al cabo de unos pocos miles de bases.

Cosas que hacen los genes (y cosas que no hacen)

BERG, P. y SINGER, M.: *Tratar los genes*. Omega, Barcelona, 1994. Aquí se explica la genética con mucho detalle y conocimiento. El doctor Berg estuvo implicado en la producción de la primera molécula de DNA recombinante usando enzimas de restricción, por lo que recibió el premio Nobel de Química en 1980, y fue uno de los impulsores de las conferencias de Asilomar en los años 70.

DAWKINS, R.: *El gen egoísta*. Salvat, Barcelona, 1988. De libro maldito a clásico en una década.

JUDSON, H. F.: Talking about the genome. *Nature* **409**: 765, 2001. El doctor Hudson destaca la importancia de usar correctamente el lenguaje de la genética.

LANDER, E. S. y WEINBERG, R. A.: Genomics: Journey to the center of biology. *Science* **287**: 1777-1782, 2000.

MARGULIS, L. y SAGAN, D.: *¿Qué es la vida?* Tusquets, Barcelona, 1996. Una reivindicación del papel de los microorganismos en la organización de la vida tal como la conocemos.

WATSON, J. D.: *La doble hélice*. Salvat, Barcelona, 1994. El doctor Watson explica en forma de novela los acontecimientos que llevaron al descubrimiento que cambió la genética. Aun siendo una memoria selectiva (como todas), ilustra muy bien que los científicos son humanos después de todo.

El Proyecto Genoma Humano

El portal del Proyecto Genoma Humano (www.ornl.gov/hgmis) es un punto de partida hacia cualquier aspecto que se le ocurra relacionado con la genética. Incluye material didáctico de primera calidad, publicaciones y *links* a otros lugares relacionados con el tema. Los centros donde se ha secuenciado mayoritariamente el genoma humano son estos, y también incluyen material didáctico:

The Sanger Centre	www.sanger.ac.uk
Baylor College of Medicine	www.hgsc.bcm.tmc.edu
Whitehead Institute for Biomedical Research/MIT	www-genome.wi.mit.edu
Genome Sequencing Center, UW	genome.wustl.edu/gsc/
Joint Genome Institute	www.jgi.doe.gov

Otras direcciones interesantes mencionadas en el capítulo son:

National Center for Biotechnology Information	www.ncbi.nlm.nih.gov
European Bioinformatics Institute	www.ebi.ac.uk
Celera Genomics	www.celera.com
OMIM	www.ncbi.nlm.nih.gov/OMIM/
The SNP Consortium	snp.cshl.org
Human Genome Organisation	www.gene.ucl.ac.uk/hugo/
ELSI	www.nhgri.nih.gov/ELSI/
Cancer Genome Anatomy Project	www.ncbi.nlm.nih.gov/CGAP/

BERG, P. y otros: Potential biohazards of recombinant DNA molecules. *Science* **185**: 303, 1974.

COHEN, D.: *Los genes de la esperanza*. Seix Barral, Barcelona, 1994. En este libro se repasan los inicios del estudio del genoma humano desde el punto de vista de la persona

que, junto al premio Nobel Jean Dausset, puso en marcha el CEPH (*Centre d'Étude du Polymorphisme Humain*), un centro de referencia mundial financiado gracias a las donaciones a una maratón televisiva anual (el Téléthon) y el testamento de una coleccionista de arte. Un libro personal y riguroso.

DENNIS, C.; GALLAGHER, R y CAMPBELL, P. (eds.): The human genome. *Nature* **409**: 813-859, 2001.

LEE, T. F.: *El Proyecto Genoma Humano*. Gedisa, Barcelona, 1991.

VIARIOS AUTORES: The human genome. *Science* **291**: 1177-1266, 2001.

Encuentre más detalles sobre los objetivos del Proyecto de la Diversidad del Genoma Humano en:

www.stanford.edu/group/morrinst/hgdp/faq.html

Puede encontrar explicaciones animadas de las técnicas de PCR, secuenciación y muchas otras, y videos educativos sobre la genética, en estos sitios:

vector.cshl.org/resources/resources.html

celera.com/genomics/genomics.cfm

Mutantes, transgénicos y otros terrores

AYALA, F.: *La naturaleza inacabada*. Salvat, Barcelona, 1994.

JONES, S.: *Almost like a whale*. Anchor, Londres, 1999. Una revisión de *El origen de las especies* capítulo a capítulo utilizando datos recientes que actualizan el libro original. El clásico de Darwin no sólo es una interesante lectura sino una oportunidad de asomarse sin intermediarios a una de las mentes más brillantes de su época.

¿De quién son estos genes? Aspectos legales

BOBROW, M. y THOMAS, S.: Patents in a genetic age. *Nature* **409**: 763-764, 2001.

CRESPI, R. S.: Patents on genes: can the issues be clarified? *Bio-Science Law Review* **5**: 199-204, 1999/2000.

EDITORIAL: Profit at a cost? *Nature Cell Biology* **2**: E113, 2000.

GOLD, E. R.: Moving the gene patent debate forward. *Nature Biotechnology* **18**: 1319-1320, 2000.

HARRIS, R. F.: Patenting genes: is it necessary and is it evil? *Current Biology* **10**: R174-R175, 2000.

HELLER, M. A. y EISENBERG, R. S.: Can patents deter innovation? The anticommons in biomedical research. *Science* **280**: 698-701, 1998.

KEEFER, C. M.: Bridging the gap between life insurer and consumer in the genetic testing era: the RF proposal. *Indiana Law Journal* **74**: 1375-1397, 1999.

KNOPPERS, B. M.: Status, sale and patenting of human genetic material: an international survey. *Nature Genetics* **22**: 23-26, 1999.

SMAGLIK, P.: Tissue donors use their influence in deal over gene patent terms. *Nature* **407**: 821, 2000.

Direcciones relacionadas con los seguros y la genética en el Reino Unido:

Genetic Interest Group	www.gig.org.uk
Association of British Insurers	www.abi.org.uk
Human Genetics Commission	www.hgc.gov.uk
UK Forum for Genetics and Insurance	www.ukfgi.org.uk

Otras direcciones:

First Genetic Trust	www.firstgenetictrust.com
---------------------	--

Directiva 98/44/CE del Parlamento Europeo sobre la protección jurídica de las invenciones biotecnológicas.

La última revolución del siglo

VOGEL, G.: How the body's "garbage disposal" may help inactivate drugs. *Science* **291**: 35-37, 2001.

DI CARLO, G. y otros: St. John's wort: Prozac from the plant Kingdom. *Trends in Pharmacological Sciences*. **22**: 292-297, 2001.

Unos y diversos

CAVALLI-SFORZA, L.L.: *Genes, pueblos y lenguas*. Crítica, Barcelona, 1997. Este libro defiende la idea de una única raza humana, habla del origen de la humanidad en África y relaciona la distribución de la humanidad con la evolución de las lenguas.

MARSHALL, E.: DNA studies challenge the meaning of race. *Science* **282**: 654-655, 1998.

OWENS, K. y KING, M-C.: Genomic views of human history. *Science* **286**: 451-453, 1999.

SKORECKI, K. y otros: Y chromosomes of Jewish priests. *Nature* **385**: 32, 1997.

La ética de los genes

HOLTZMAN, N. A.: Are genetic tests adequately regulated? *Science* **286**: 409, 1999.

KNOPPERS, B. M.: From medical ethics to "genethics". *The Lancet Perspectives* **356**: s38, 2000.

KNOPPERS, B. M. y otros: Commercialization of genetic research and public policy. *Science* **286**: 2277-2278, 1999.

LACHMANN, P.: Stem cell research-why is it regarded as a threat? *EMBO reports* **2**, 165-168, 2000.

MICHIE, S. y otros: Nondirectiveness in genetic counseling: an empirical study. *American Journal of Human Genetics* **60**: 40-47, 1997.

MOTULSKY, A. G.: If I had a gene test, what would I have and who would I tell? *Lancet* **354** (supp I): 35-37, 1999.

ROBERTSON, J. A.: Human embryonic stem cell research: ethical and legal issues. *Nature Reviews Genetics* **2**: 74-78, 2001.

WERTZ, D. C.: *Ethics: what is it and why is it important?*:
www.shriver.org/Research/SocialScience/Staff/Wertz/ethics.htm

Convención del Consejo de Europa sobre Derechos Humanos y Biomedicina:

<http://conventions.coe.int/treaty/EN/cadreprincipal.htm>

Declaración Universal de la UNESCO sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos:

www.unesco.org/human-rights/hrbc.htm

Declaración del HUGO sobre reparto de beneficios:

www.gene.ucl.ac.uk/hugo/benefit.html

Vea un documento del GIG sobre las pruebas genéticas y la eugenesia (*Genetic testing, screening and "eugenics"*) en www.gig.org.uk/policy.htm

Un organismo independiente de estudio de la bioética es el Nuffield Council on Bioethics:

www.nuffieldfoundation.org/bioethics

La mayor colección de artículos, noticias y links relacionados con la bioética, incluidos los puntos de vista no europeos, se encuentra en el Eubios Ethics Institute:

www.biol.tsukuba.ac.jp/~macer/index.html

*Profetizar es fácil, o el poblado limbo
entre la ciencia y la ficción*

BROAD, W. J.: Saga of boy clone ruled a hoax. *Science* **211**: 902, 1981.

MAKGOBA, M. W.: HIV/AIDS: the peril of pseudoscience. *Science* **288**: 1171, 2000.

THOMPSON, C.: In search of a cure for CJD. *Nature* **409**: 660-661, 2001.

TURNER, J.: *Frankenstein's Footsteps*. Yale University Press, New Haven, 1998.

SCHIRMEIER, Q.: Testing times for BSE. *Nature* **409**: 658-659, 2001.

Lea el informe Phillips en: www.bseinquiry.gov.uk

Declaración de Durban: www.durbandeclaration.org
Información sobre la encefalopatía espongiiforme bovina:
www.eeb.es

Homo sapiens visto desde dentro

BOBROW, M. (ed.): Molecular medicine. *Lancet* **354** (Suppl I): 1-37, 1999.

EISEN, J. A.: Gastrogenomics. *Nature* **409**: 463-466, 2001.

GRAVELEY B. R. Alternative splicing: increasing diversity in the proteomic world. *Trends in Genetics* **17**: 100-107, 2001.

HUTCHISON III, C. A. y otros: Global transposon mutagenesis and a minimal mycoplasma genome. *Science* **286**: 2165-2169, 1999.

LI, H. C. y otros: The presence of ancient human T-cell lymphotropic virus type I provirus DNA in an Andean mummy. *Nature Medicine* **5**: 1428-1432, 1999.

MAURON, A.: Is the genome the secular equivalent of the soul? *Science* **291**: 831-832, 2001.

PETROV, D. A.: Evolution of genome sizes: new approaches to an old problem. *Trends in Genetics* **17**: 23-28, 2001.

POLLACK, A. *When gene sequencing becomes a fact of life; test helps doctors find best AIDS drugs*. New York Times, 17/01/2001 (en: www.nyt.com).

ROSES, A.: Pharmacogenomics and the practice of medicine. *Nature* **405**: 857-865, 2000

Cautelosas perspectivas de futuro

BRODER, S. y VENTER, C.: Whole genomes: the foundation of new biology and medicine. *Current Opinion in Biotechnology* **11**: 581-585, 2000.

HARTWELL, L. H. y otros: From molecular to modular biology. *Nature* **402**: C47-C51, 1999.

OFFENHÄUSSER, A. y KNOLL, W.: Cell-transistor hybrid systems and their potential applications. *Trends in Biotechnology* **19**: 62-66, 2001.

SOLTER, D.: Mammalian cloning: advances and limitations. *Nature Reviews Genetics* **1**: 199-207, 2000.

VARIOS AUTORES: *Beyond the genome*. New Scientist, pp. 28-50, 4/11/2000.

El doctor Ian Wilmut es el director del Roslin Institute:
www.roslin.ac.uk

GLOSARIO

Alelo. Cada una de las variantes que puede presentar un gen. Una persona tiene dos alelos para cada gen, que pueden ser iguales o no, pero un gen puede tener un número mayor de alelos.

Aminoácido. Componente básico de las proteínas. Cada aminoácido es codificado por una combinación de tres bases nitrogenadas.

Asesoría genética. Servicio mediante el cual una persona o una familia reciben información sobre las posibilidades de que ellos o sus hijos sufran una enfermedad genética, y se les ofrecen las opciones que mejor se ajusten a su situación y sus convicciones.

Ayuste. Eliminación de los intrones mediante cortes en el RNA mensajero. Más conocido en su forma inglesa *splicing*.

Célula. Componente básico de todos los organismos vivos.

Cigoto. Célula que se forma tras la unión de dos células germinales (el óvulo y el espermatozoide). También se puede formar tras introducir el núcleo de una célula adulta en un óvulo al que previamente se le ha extraído el núcleo.

Código genético. Correspondencia que relaciona diferentes combinaciones de tres bases nitrogenadas con sus aminoácidos equivalentes.

Cromosoma. Molécula de DNA de tamaño variable, limitada por un telómero a cada extremo (el término está formado por dos palabras griegas que significan “cuerpo coloreado”,

y se refiere al aspecto que tenían los cromosomas en las primeras preparaciones microscópicas). El DNA de los organismos eucariotas se encuentra en forma de cromosomas, en un número diferente para cada especie.

DNA. Ácido desoxirribonucleico. A veces se abrevia como ADN, pero es más recomendable utilizar la nomenclatura internacional de abreviación de compuestos químicos. La información genética de la mayor parte de los organismos se mantiene en moléculas de DNA, y por eso a veces se usa el término “DNA” como sinónimo de “material genético”, sin tener en cuenta que el RNA también es material genético.

Eucariota. Célula que contiene el DNA en un compartimento celular llamado “núcleo”. A veces se habla de “organismos eucariotas” para referirnos a aquellos que están formados por células eucariotas.

Exón. Secuencia de DNA que codifica una parte de un RNA mensajero.

Expresión. Proceso mediante el cual un gen es copiado en una molécula de RNA. Normalmente la expresión de un gen implica la síntesis de la proteína codificada por este gen, pero esto no siempre es así. La expresión de un gen puede variar en diferentes tejidos o en distintos momentos del desarrollo.

Gen. Unidad de información genética. Fragmento de DNA (o RNA) que contiene la información necesaria para producir una proteína o un RNA funcional. La definición de gen también puede incluir el DNA que no codifica pero interviene en la regulación de la expresión del gen.

Heterocigoto. Que tiene alelos diferentes para un gen. Tanto este término como el de “homocigoto” se refieren siempre a un gen, no a la persona portadora de este gen. Todos somos heterocigotos para algunos genes y homocigotos para otros.

Homocigoto. Que tiene la misma variante en los dos alelos de un gen.

Homólogo. Que realiza la misma función. En este libro nos hemos referido a cromosomas homólogos (los que se identifican con el mismo número y que se heredan de cada uno de

los progenitores) y genes homólogos (genes que intervienen en los mismos procesos pero se encuentran en diferentes especies).

Intrón. Secuencia de DNA no codificante que separa dos exones. Los intrones son copiados a RNA, pero la célula los elimina antes de traducir el mensaje.

Microbio. Organismo vivo demasiado pequeño para ser visto sin la ayuda de un microscopio. También recibe el nombre de “microorganismo”.

Mitocondria. Compartimento de la célula donde se da la transformación del oxígeno en energía, un proceso llamado “respiración”.

Mutación. Cambio en la secuencia de bases del DNA que modifica la actividad del producto de un gen.

Mutante. Organismo que presenta una mutación para una característica concreta.

Patente. Monopolio temporal que se concede a un inventor a cambio de que haga públicos los detalles de su invento.

PCR. Reacción en cadena de la polimerasa (del inglés: *Polymerase Chain Reaction*). La PCR es un método para amplificar exponencialmente un fragmento de DNA mediante una reacción en cadena.

Polimorfismo. Cambio en la secuencia de bases del DNA que no modifica el producto de un gen, o que no impide el funcionamiento de su producto.

Procariota. Célula que no almacena su DNA en un compartimento separado del resto de los componentes de la célula. Las células procariotas no forman organismos pluricelulares.

Proteína. Molécula formada por una cadena de aminoácidos. Puede tener una función estructural, de transmisión de señales, también puede llevar a cabo reacciones químicas o intervenir en cualquier proceso de la vida de una célula.

RNA. Ácido ribonucleico (del inglés: *Rybonucleic acid*). Las moléculas de RNA intervienen en diferentes momentos de la expresión de los genes: el DNA es copiado en moléculas de RNA, y otras moléculas de RNA traducen esta información, formando una proteína según el código genético. Algunos

virus almacenan sus genes en una molécula de RNA; para ellos el material genético es RNA, no DNA.

SNP. Polimorfismo de un nucleótido concreto (del inglés *Single Nucleotide Polymorphism*). Punto en el genoma que puede variar de una persona a otra.

Telómero. Estructura formada por una agregación de DNA y proteínas que se encuentra al extremo de cada cromosoma y lo mantiene estable.

Traducción. Proceso mediante el cual la célula lee una molécula de RNA mensajero y, según el código genético, construye una cadena de aminoácidos. Se da en el citoplasma de la célula.

Transcripción. Proceso mediante el cual la célula copia una secuencia de DNA en una molécula de RNA, llamada RNA mensajero. Se da en el núcleo de la célula.

Transgénico. Organismo que contiene uno o más genes procedentes de otra especie.

Vía metabólica. Sucesión de reacciones químicas en que cada una se da con el producto resultante de la anterior. La combustión de las grasas o la transmisión de señales entre células son vías metabólicas.