

LA DESCODIFICACIÓN DEL MENSAJE EN LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

Berta Marco Stiefel



SUMARIO:

La alfabetización científica es un objetivo social amplio en el que participan la escuela y la sociedad. Se orienta a la formación permanente de los individuos para hacerlos capaces de entender el mundo científico-tecnológico en el que están envueltos. Uno de los problemas que comporta la alfabetización científica es el de la decodificación de los mensajes científicos actuales, proceso difícil por la cantidad de conceptos nuevos que surgen de la ciencia y la tecnología y por la rapidez con que emergen hoy las nuevas revoluciones científicas. El artículo se detiene en la trama conceptual emergente en los nuevos avances hacia el Proyecto Genoma Humano.¹

SUMMARY:

Scientific Literacy is a complex social goal in which both school and society participate. It is directed towards the on going formation of individuals to enable them to understand the scientific and technological world in which they are involved. One of the problems created in scientific literacy is the "decodification" of the scientific messages in the current issues, a difficult process because of the amount of new scientific concepts that arise in science and technology and also because of how quickly the new scientific revolutions appear nowadays. This article refers to the "decodification" of the emergent concepts in the latest advances towards the Human Genome Project.

En una línea de trabajo que trata de incorporar los nuevos enfoques a la enseñanza de las Ciencias de larga tradición en nuestro Instituto, se ha centrado últimamente la atención en el que propone la *alfabetización científica* de todos los ciudadanos, del que dan cuenta numerosas publicaciones de nuestro equipo. (Marco-Stiefel, 2000, Aguilar García, 1999 y Alberó González, 1999).

Alfabetización Científica y Ciudadanía

La formación de una ciudadanía científicamente culta no es sólo tarea de la escuela, aunque ésta afecta muy especialmente a la Enseñanza Secundaria Obligatoria, que es la dirigida a todos los ciudadanos, sino que alcanza también a la sociedad y presupone unos hábitos adquiridos en el período de la enseñanza formal.

Si alfabetizar supone adquirir andamiajes para descodificar mensajes no conocidos, en el terreno científico-tecnológico esta alfabetización entraña la descodificación de los conceptos científicos, tarea compleja en sí misma por ser las ciencias unas materias altamente conceptuales, pero tarea que se agrava, a su vez, por la rapidez con que se producen los descubrimientos científicos.

Se ha dicho, y no sin razón, que en la segunda mitad del siglo XX se han producido más descubrimientos científicos que en todos los siglos anteriores, lo cual significa que estamos en un mundo de continuas revoluciones científicas.

Si en el pasado, osar contradecir a los clásicos fue un problema para dar paso al avance científico (recuérdese, por ejemplo, la dificultad que tuvo Servet en su exposición de la circulación menor de la sangre por contradecir a Galeno, o la que tuvo Lavoisier para abrir paso a una química más científica y cuantitativa por moverse en el marco de una antigua revolución, la de la teoría del flogisto), actualmente estamos en el polo opuesto, no hay tiempo para caer en la cuenta de que una revolución se ha producido. Un análisis de fechas (en relación con algunos temas actuales) puede dar idea de la velocidad a la que se producen este tipo de acontecimientos (Ver cuadro adjunto).

Hitos en el Proyecto Genoma Humano

- 1953: James Watson y Francis Crick desvelan la estructura química del DNA
- 1957: se establece el dogma central de la biología molecular: la información genética fluye del DNA al RNA y de éste a las proteínas.
- 1966: se rompe el código genético: tripletes de bases del RNA codifican para cada aminoácido dando lugar a la formación de proteínas.
- 1972: primeras experiencias de clonaje de genes.
- 1983: se empiezan a buscar genes asociados a determinadas enfermedades genéticas, tales como, la fibrosis quística y la enfermedad de Huntington.
- 1984: se pone a punto la técnica del DNA-fingerprinting o huella genética.
- 1985: primeros encuentros para discutir la conveniencia de emprender el Proyecto relativo a la secuencia completa del genoma humano.
- 1988: el US National Research Council traza el plan sobre el genoma humano.
- 1990: se dedican 3 billones de dólares al Proyecto Genoma y se lanza como proyecto prioritario en USA. Su duración se estima de unos quince años.
- 1995: primer genoma secuenciado completo de un organismo vivo, el *Hemophilus influenzae*.
- 1998: se publica la secuenciación completa del gusano *Caenorhabditis elegans*. La compañía privada Celera con Craig Venter a la cabeza reta a los organismos oficiales aventurando secuenciar el genoma antes de los plazos fijados oficialmente. Fija la fecha en el año 2000.
- 1999: primer cromosoma humano secuenciado, el cromosoma 22.
- 2000: secuenciado el genoma completo de la *Drosophila melanogaster*. Y secuenciado también el cromosoma humano número 21. Se espera la secuenciación completa del genoma humano para este año.

Desde que la Real Sociedad Británica lanzó su Informe titulado: *The Public Understanding of Science* (Royal Society, 1985), considerado hoy punto de partida de muchas reflexiones en torno a la alfabetización científica, equipos de investigadores no han dejado de reflexionar acerca de los *niveles deseables* de esa alfabetización, sin que hasta el momento pueda darse por resuelto este problema (Marco-Stiefel, 1997). Se entiende, que, dada la rapidez a la que se producen los descubrimientos, la *alfabetización científica* ha de ser *funcional*, es decir, que ha de permitir integrar autónomamente nuevos conocimientos. Vamos también hacia una alfabetización científica *práctica*, no simplemente erudita, y hacia una alfabetización científica *comprometida*, que permita entrar en la discusión sobre los temas científicos y sus repercusiones de todo tipo y ejercer una ciudadanía activa. (Editorial, 1995). El trasfondo de esta última categoría es de amplio espectro, pues presupone entrar críticamente en la naturaleza de la Ciencia y hacerse una triple pregunta de tinte epistemológico: ¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?; ¿Cómo se fabrica la Ciencia? y ¿Cómo obtiene la Ciencia sus resultados?, preguntas prestadas de algunos libros de Chalmers. (Chalmers, 1992 y 1994).

Ciñéndonos al plano de la enseñanza de las ciencias en la etapa de la Secundaria Obligatoria, el acento se pondría en esa *alfabetización funcional, práctica, en cambio*, que permite al que la posee acceder al lenguaje de los media, seguir las noticias científicas diarias y estimar a la vez sus repercusiones para bien o para mal de los pueblos y de las sociedades diversas.

Estas tareas hay que conseguirlas, a su vez, en el marco global de las nuevas tecnologías, en el entramado de interconexiones que nos hace perder el acento local o de contexto para adentrarnos en perspectivas mundiales pero que, por otra parte, permite poner el dedo allí donde se producen los acontecimientos señalando los distintos rostros de esa ciencia global.

Internet hace posible estimar la fuerza de la infección del Ébola en una ciudad del interior del Congo, Kitwit, (Marco-Stiefel y Albero González, 1998), medir las consecuencias de un accidente químico en Bhopal, en el centro de la India, o seguir paso a paso los avances hacia el Genoma Humano desde los mismos lugares desde los que se pro-

ducen estas investigaciones pioneras. (Marco-Stiefel e Ibáñez Orcajo, 2000).

¿Basta hoy a la formación científica la información que aportan los libros de texto u otros materiales curriculares al uso o hay que procurar el acceso a otros medios de información para acercarnos al objetivo de la alfabetización científica?

El acceso a los conceptos científicos

Los avances que se están produciendo en las diferentes ramas del saber científico y su carácter multidisciplinar en muchos casos, hacen prácticamente inaccesibles los conocimientos. (Maddox, 1998) y (Unesco-ICSU, 1999).

Con dificultad, los formados en una cierta parcela del universo científico tienen la posibilidad de acceder a lo que se va construyendo en su propio campo, siempre que se mantengan activos e inquietos respecto a lo que ha sido su formación básica. Asomarse a otro panorama diferente de lo que hoy se considera ciencia viene siendo casi imposible a no ser que uno, por afición, vaya construyendo sus propios conocimientos. (Delacote, G., 1996).

La sensación de cambio es continua; los paradigmas se suceden con velocidad vertiginosa pero son estos paradigmas y no otros los que profundamente están tocando nuestras vidas. (Marco-Stiefel, 1999).

En esta coyuntura, la que nos presenta el horizonte del 2000, se sitúa la paciente tarea de descodificar códigos que es el meollo de la divulgación científica.

Mientras algunos -muy pocos- los divulgadores, los científicos y los profesores en su medida se esfuerzan por desbrozar la Ciencia que se produce -the science in the making - (VVAA-RAC, 1999), el resto de la ciudadanía permanece analfabeta científicamente hablando. (Gregory, J. y Miller, S, 1998 y Aguilar, T., 1999).

Las encuestas realizadas por sociólogos en diversos países para medir niveles de alfabetización científica, expresan interés por la ciencia pero un gran desconocimiento acerca de ella. (Macllwain, C, 1998). Uno de los datos que aportan más claramente es el del desconoci-

miento del lenguaje científico, es decir, de su base conceptual, de sus códigos propios, que son los conceptos científicos (Miller, 1998).

Un divulgador con sentido de responsabilidad o un científico con conciencia social deseoso de hacer un servicio público a través de sus conocimientos, tiene que hacer el esfuerzo de descodificar los lenguajes, divulgando los conceptos involucrados en la producción del conocimiento. (VVAA, 1999) y (Marco-Stiefel, 2000).

Las materias científicas son altamente conceptuales.(VVAA, 1999) Las fronteras de las disciplinas extienden sus tramas conceptuales continuamente de modo que sólo la lectura de la actualidad científica permite vislumbrar el significado de los nuevos conceptos. Aunque hoy día proliferan los diccionarios especializados, inmediatamente quedan carentes de actualidad y, en muchos casos, obsoletos, con lo cual las personas interesadas en saber lo que se está produciendo tienen que entregarse a la tarea de elaborar sus propios glosarios para entenderse.

Sucede, además, que las materias científicas reconceptúan continuamente sus conceptos básicos. Pasa también con los modelos explicativos que tienen una base tentativa y sirven a la ciencia por un tiempo poco definido. A medida que se suceden los descubrimientos los conceptos se redimensionan o pierden efectividad; esto los hace aún menos asequibles. Un ejercicio notable y muy formativo es el de constatar las distintas acepciones de los conceptos a lo largo del tiempo. Hay conceptos que cambian la concepción del mundo. En este sentido, cuando se constató que los genes eran *DNA* puede decirse que nació una nueva ciencia. Otros conceptos como el de *planeta*, acuñado por los griegos, que significa errante, hoy pierde su valor ante la pregunta por su origen, su estructura y su composición. Algo así pasa con el concepto de *átomo* -el "indivisible" de Demócrito, o los nuevos de *apoptosis* (el término refiere a la caída de la hoja en otoño y se aplica a la muerte celular programada), *dendrúmera* (cascada de moléculas en forma de árbol, se aplica a cierto tipo de polímeros), etc.

La descodificación del mensaje

La buena divulgación científica se toma la ilustrativa tarea de desbrozar la información en sus fuentes originales. Aunque sabemos que

las vías de llegada de la información son múltiples, y todas válidas, especialmente para aquellos que se dedican al periodismo, un científico o un periodista científico que se precie, no deja de acudir a las fuentes primarias, es decir aquellas, de rango internacional, donde se da cuenta de los nuevos conocimientos.

Es sorprendente constatar cómo las revistas de más prestigio² tienen un estilo que permite el acceso a lo más genuino de la información aunque no se sea especialista en el campo. Esto no quiere decir que sea fácil, pero es posible.

Otra constatación personal de lectora asidua de este tipo de fuentes es que, a medida que los conceptos se van reconceptualizando, se van clarificando en su esencia y son más fácilmente divulgables. Quiere esto decir que el campo de conocimiento del que directamente emergen se va convirtiendo en ciencia. Los conceptos nacen en el caldo de cultivo de los nuevos descubrimientos y van creciendo como familias en campos semánticos. Su madurez se alcanza cuando se hacen transferibles a otras parcelas del conocimiento. El concepto *ecosistema*, que configura el campo de la ecología, es hoy un concepto fecundo en el entramado social.

Otros conceptos se convierten en símbolo y logran así una amplia popularidad. El concepto de *DNA* no se identifica hoy con el contenido de sus siglas -ácido desoxirribonucleico- que responde a su composición química, sino que se identifica con la vida y con su transmisión, con la dotación genética y con el lenguaje cifrado de su molécula. Hemos pasado de la estructura a su función, un problema clave en el amplio horizonte biológico de nuestros días.

Acceder a la información científica a partir de sus fuentes primarias supone esta aventura de desbrozamiento del terreno hasta llegar a hacer posible el acceso, para todos, a ese lugar común que es la ciencia que se está haciendo -the science-in-the making-, un campo con frecuencia intrínsecamente controvertido pero siempre apasionante.

El proceso de descodificación de los mensajes científicos actuales presupone un paso previo: la lectura de la información portadora de los conceptos científicos. Un ejemplo práctico puede servir de guía para abordar este proceso.

De entre las noticias que podrían elegirse para penetrar en sus pro-

fundos significados no cabe duda, de que en esta mitad del año 2000 el camino casi diario hacia el desciframiento completo de la información genética humana es el cuerpo de conocimientos más importante. Una nueva revolución científica está teniendo lugar en un plazo muy corto de tiempo. Cuando el Proyecto Genoma Humano desvele definitivamente el número de genes que tiene el hombre y la información genética que lleva involucrada, habrá un antes y un después para la humanidad, incluso se producirá una polarización científica hacia los nuevos campos de la *Genómica* y la *Proteómica*³ que se prometen especialmente fructíferos.

La revolución a la que nos referimos viene anunciada de lejos. Citaremos aquí las secuencias ya logradas de los genomas de bacterias y otros organismos procariontes pero no cabe duda de que se desata a partir del anuncio del desciframiento del cromosoma humano nº 22.

Los hitos hasta ahora marcados merecen un análisis que permita estimar: las *fechas* en las que se producen los descubrimientos (la de la publicación de sus trabajos originales en las llamadas fuentes primarias- revistas internacionales de frecuencia semanal), las *cifras* de que nos hablan, la *significatividad* que expresan, el futuro al que abocan y los interrogantes que plantean.

El orden cronológico nos permite señalar los siguientes datos y fechas:

Desciframiento del cromosoma humano número 22
2 de diciembre de 1999

Desciframiento del genoma completo de la Drosophila melanogaster, primer genoma de un eucariota secuenciado
24 de marzo del 2000

Desciframiento del cromosoma humano número 21
9 de mayo del 2000

Las fechas permiten descubrir el carácter de "carrera" que presenta el Proyecto Genoma Humano.

La lectura de los artículos originales aproxima la trama conceptual que se va generando en torno a este nuevo campo científico, el que emerge de los nuevos datos.

Los artículos correspondientes, y en su caso los resúmenes oficiales aportados por las revistas donde aquellos se publican, expresan inmediatamente los datos, de los que se deduce su posterior significatividad.

Análisis de los textos originales

La secuenciación del cromosoma humano nº 22 apareció publicada en la emblemática revista *Nature*, bien conocida por los científicos, en su número del 2 de diciembre de 1999 y está firmada por un equipo dirigido por I. Dunham del Sanger Centre en Cambridge, Inglaterra.

La entradilla del artículo es ya una obra maestra en cuanto que acierta a penetrar en la significatividad del descubrimiento. Se destacan, a continuación, algunas de sus afirmaciones:

La secuencia genómica completa de un organismo permite una aproximación sistemática a la definición de sus componentes genéticos. Suministra acceso a la estructura de todos sus genes, incluidos los de función no conocida, y, por inferencia, a las proteínas para las que codifica...

La secuencia es una rica y permanente fuente de información para el diseño de posteriores estudios biológicos de los organismos y para el estudio de la evolución a través de estudios comparados de las secuencias de las distintas especies.... El último objetivo es el de la secuencia completa del genoma humano. Aquí presentamos la secuencia de la parte eucromática del cromosoma 22. La secuencia consiste en doce segmentos contiguos que componen un total de 33.4 megabases que contienen al menos 545 genes y 134 pseudogenes y suministran la primera visión cromosómica del panorama cromosómico completo que se verá en el conjunto del genoma. (Dunham y col, 1999).

El contenido del artículo aquí esbozado es importante como marco en el que ensamblar la trama conceptual básica. Si está bien hecha la entradilla ésta se convierte en una guía muy adecuada para desbrozar la información esencial que aporta el artículo. En éste, referido al cromosoma 22, el párrafo introductorio dice que se presenta "la secuencia de la *parte eucromática* del cromosoma 22 ". Y se aporta, además, en qué consiste, en una serie de *genes* y *pseudogenes*.

Al contenido concreto del artículo se le da una perspectiva más amplia, es decir, la aportación del mismo es una contribución a la secuencia genómica de un individuo (en este caso el hombre), lo que significa acceder al conjunto de sus genes y a su significado biológico. Aquí ya relaciona estructura-función. Este conocimiento será una fuente permanente de información y servirá para estudios comparados entre especies.

Guiados por esta presentación, la lectura del artículo permite distinguir algunas palabras clave: genes, pseudogenes, todo lo relativo a la secuencia, los modos de situar los genes en la cadena de DNA -lo referente al *mapeado*-, etc., así como otros datos acerca de la estructura del cromosoma y las partes más significativas de éste desde el punto de vista genético.

Un primer análisis permite subrayar una serie de palabras que, en principio, no van a ser imprescindibles para captar el mensaje, pero que conviene destacar en lo que llamaríamos trama conceptual del artículo.

En un segundo momento, el ejercicio básico de descodificación consistiría en extraer el significado de las palabras del propio texto. Como se ha apuntado al comienzo de este trabajo, la calidad de las revistas científicas, en este caso *Nature* y el rigor que se pide a las aportaciones originales, facilita la tarea del divulgador que puede comprobar cómo emergen los conceptos en su propio nicho ecológico. Hecho este ejercicio, la ayuda de algún diccionario específico con la debida actualización, si lo hubiere, permitiría perfilar la trama conceptual. La tarea del divulgador científico no puede olvidarse tampoco en este extremo, pues consiste en darle funcionalidad a los conceptos, es decir, hacer posible que no sólo puedan ser aprendidos sino que puedan ser posteriormente utilizados para integrar nuevos conocimientos.

El genoma de la *Drosophila* ha sido publicado en la revista *Science* en su número del 24 de marzo del 2000. La entrada del artículo es también ilustrativa de su contenido y deja entrever la significatividad del conjunto de la información que le sigue:

La mosca Drosophila melanogaster es uno de los organismos más intensamente estudiados en biología y sirve como sistema modelo para las investigaciones de muchos procesos y desarrollos celulares comunes a los eucariotas incluido el hombre... Hemos determinado la secuencia de nucleótidos de casi todas las 120 megabases de la sección eucromática del genoma de la Drosophila...El genoma contiene 13.600 genes, unos pocos menos que el del genoma del Caenorhabditis elegans, pero con una diversidad funcional comparable.

... Hemos empezado por secuenciar la Drosophila por dos objetivos preferentes:

1. Para comprobar el método (de un genoma eucariota complejo como antesala para la secuenciación del genoma humano de secuenciación, se entiende) y 2. Para presentar a la comunidad científica la secuencia completa de un organismo de alta significación como avance en la investigación en este campo.

... Aparte de su gran tamaño, los genomas eucariotas contienen grandes cantidades de secuencias repetitivas que interfieren en el proceso de secuenciación. (Adams, M.D. y otros, 2000).

El texto destaca el carácter de "modelo" que tiene este organismo como referente de otros eucariotas más diferenciados. También importa mucho destacar cómo los autores del trabajo, con esta secuencia, están tratando de validar, de cara a la comunidad científica el método de secuenciación utilizado. Y se deja entrever la posibilidad que ya ofrecen las investigaciones en curso para plantear estudios comparados entre los genomas de las diversas especies, de los que esperan sacarse datos respecto a su origen, campo nuevo de la *Genómica Comparada*. (Lacadena, 2000).

La trama conceptual que aquí se distingue tiene que ver con *procariontas/eucariotas* y con las formas y partes de los cromosomas.

Las primeras noticias acerca del desciframiento del cromosoma humano número 21 se difundieron por Internet a través de la sección *scienceupdate* de la revista *Nature*. El texto destaca la significatividad del mismo:

En uno o dos meses conoceremos la secuencia completa de los 23 cromosomas humanos. Como prelude de ese importante momento, se anuncia en Nature la secuencia completa del cromosoma 21, uno de los más pequeños y más interesantes de los cromosomas humanos, el segundo de los que se ha publicado su secuencia completa. El Informe procede de un consorcio de 62 científicos de Japón, Alemania, Francia, Suiza, Gran Bretaña y USA.

El cromosoma 21 es particularmente importante a causa de su implicación en el síndrome de Down... Comparado con el cromosoma 22, el 21 parece un desierto genómico. Un hecho chocante es que contiene menos de 300 genes. La extrapolación de estas observaciones implica que el conjunto del genoma humano puede contener menos de 40.000 genes, muchos menos de los que se pensaban.

El texto se abre con la noticia de la secuencia completa del cromosoma nº 2. Transmite, después, datos importantes en orden a la significatividad: está relacionado con el síndrome de Down, se trata de un "desierto genómico" y el conjunto de la información obtenida, junto con la del cromosoma 22, aproximan el número de genes que suponemos contendrá el genoma humano total.

Otras aportaciones importantes de este comunicado tiene que ver con la comparación de los datos obtenidos en las secuencias de los cromosomas 22 y 21 y los de éstos y los de otras especies que parecen ir abriendo paso a la Genómica Comparada, siguiendo un hilo que permita, en un futuro, apuntar hacia qué y cuáles genes son supuestamente esenciales para la vida por el hecho de repetirse en todos los organismos ya secuenciados.

Trama conceptual y descodificación del mensaje

El conjunto de la información sobre estos tres hitos hacia el genoma humano lleva a destacar una serie de conceptos básicos, que son los siguientes:

genoma:

- genes
- función de los genes
- proteínas

genes/pseudogenes

autosomas/ cromosomas sexuales

cromatina

- eucromatina
- heterocromatina

eucariotas/procariotas

cromosomas

- tamaño
- brazos largos y cortos
- centrómero
- telómero

mapeado

- mapeado físico
- mapeado genético

secuenciación (concepto)

- métodos utilizados

terapia génica

En la descripción del cromosoma 22 se introduce el concepto de *pseudogén*, entendido como una secuencia de bases que en un cierto punto está interrumpida y de la que no se conoce su función. En consecuencia, el concepto de *gen* define un conjunto de bases a lo largo del DNA que codifica para una determinada proteína (es decir, cuya función se conoce, esa función consiste en dar lugar a una proteína).

Es curioso que muy recientemente, una revista científica divulgaba el concepto gen de esta manera: "un gen es un trozo de la molécula de DNA que le dice a la célula cómo hacer una proteína". (VVAA-Genome Special, 2000). Este concepto, el de gen, es uno de los que han sufrido más reconceptualizaciones a lo largo de los últimos cincuenta años.

El *genoma* es el conjunto de la dotación genética de un individuo.

La función de los genes está intrínsecamente unida a la de las proteínas para las que codifican.

Se dice de los cromosomas 21 y 22 que son *autosomas*. En este caso hay que definirlos por contraposición a los cromosomas sexuales, los X y los Y los autosomas, en consecuencia, son todos los demás.

La *cromatina* es el material genético de los *eucariontes* antes de la división celular. Cuando ésta tiene lugar, se forman los cromosomas. Estos contienen unas partes en las que la cromatina está densamente empaquetada que se denomina *heterocromatina*. Es la parte que no contiene genes. La *eucromatina*, por contraste, es la zona que contiene los genes. A ella se refieren los datos que aportan los artículos antes mencionados.

La *Drosophila*, dice el texto que habla de su genoma, es un *eucarionte*. Se denominan así los organismos que tienen diferenciado el núcleo celular, por contraposición a otros, más simples, llamados *procariontes*, entre los que se encuentran las bacterias.

Cuando nos referimos a los cromosomas en esta temática lo hacemos en referencia a los eucariontes, la *Drosophila* y el hombre. Podemos definirlos entonces como los elementos nucleares contenedores del material genético. En su interior contienen la molécula de DNA y unas proteínas llamadas *histonas*.

La forma de los cromosomas es importante, pues los artículos originales se refieren a los brazos largos o cortos de los cromosomas, al *centrómero* (parte central) y al *telómero* (extremo inferior) de gran importancia por su relación con el envejecimiento celular. El telómero ha saltado a la prensa frecuentemente a propósito de las especulaciones sobre la edad de la oveja Dolly.

En la trama conceptual que se ha destacado figuran también otras palabras que casi son obvias en el tema del genoma. Una de ellas es el

mapeado. Se distinguen dos modalidades en este vocablo: el *mapeado físico* y el *mapeado genético*. El primero refiere al hecho de poner señales a lo largo del DNA, es decir, a localizar unos genes respecto de otros. El mapeado genético consiste en la localización del conjunto de genes en la molécula de DNA.

Otra palabra básica es *secuencia*. Consiste en el establecimiento del orden de las bases químicas en la cadena de DNA y en ver qué conjunto de bases constituyen los genes.

En los trabajos originales que expresan los últimos descubrimientos aquí descritos, se hace alusión a los diferentes modos de secuenciar los genomas. Hay dos procedimientos en curso que pueden usarse aisladamente o combinados. El clásico, llamado "*clon-by-clon strategy*" consiste en trocear la molécula de DNA paso a paso, clonar los trozos, y después averiguar la secuencia de bases químicas. El segundo método, el que está produciendo los más rápidos resultados, se denomina "*at random*". En este método se trocea de una vez toda la molécula de DNA, se averigua la secuencia de cada trozo y después, por métodos informáticos, se recompone el conjunto de la cadena. Este es el método utilizado por el famoso científico Craig Venter que trabaja para la compañía privada Celera en USA.

La *terapia génica* es un método terapéutico que consiste en reparar, en alguno o varios genes, la secuencia de bases que haya sido alterada por alguna mutación genética.

1. En el proceso de edición de este artículo se ha producido la noticia de la publicación de la secuencia completa del genoma humano, el 12 de febrero de 2001. Sirvan estas reflexiones de homenaje a tan importante hecho científico.

2. Las revistas *Nature* y *Science* son las que difunden semanalmente la actualidad científica internacional. El sistema de revisión de los artículos, la exigencia de rigor a la que apuntan y el inglés de sus textos escritos les da un enorme prestigio.

Notas

3. La *Genómica* es una nueva ciencia que se deriva de la secuenciación del genoma humano (orden de los genes en la cadena de DNA). De este estudio se ocupa la *Genómica Estructural*.

De este conocimiento se ha de pasar al de la función de esos genes, la *Genómica Funcional*. Y los estudios comparativos entre genomas darán pie a la *Genómica Comparada*.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ADAMS, M.D. y Col. (2000): The Genome Sequence of *Drosophila melanogaster*. *Science*, Vol. 287, 24 de marzo del 2000.

AGUILAR GARCIA, T.(1999): *Alfabetización Científica y Educación para la Ciudadanía. Una propuesta de formación de profesores* . Narcea, Colección Secundaria para todos, Madrid.

ALBERO GONZÁLEZ, A. (1999). *La Alfabetización Científica en la Enseñanza Secundaria Obligatoria. Diseño de una unidad didáctica basada en fuentes informales de aprendizaje*. Tesis de Maestría. Universidad Carlos III-IEPS, Madrid.

CHALMERS, A. (1992): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Editorial Siglo XXI, Madrid.

CHALMERS, A. (1994): *La ciencia y cómo se elabora*. Editorial Siglo XXI, Madrid.

DELACOTE, G. (1996): Putting Science in the Hands of Public, *Science*, 9 de julio.

<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/280/5372/2054>.

DUNHAM, I. Y Col. (1999): The DNA sequence of human chromosome 22. *Nature*, Vol. 402, 2 de diciembre .

EDITORIAL (1995): Science Literacy Revisited. *Journal of the Chemical Education*, Vol. 72, Nº 3, marzo .

GEE, H.(2000): medicine: 21 today. *Nature science update* 9 de mayo.

GREGORY, J. y MILLER, S. (1998): *Science In Public, Communication, Culture, and Credibility* , Plenum Trade, Nueva York y Londres.

LACADENA, J.R. (2000): Seréis como dioses. Hacia la creación de la vida en el laboratorio. *Crítica*, Año L- Nº 874, abril.

MACLLWAIN, C.(1998): US public puts faith in science, but still lacks understanding . *Nature* , Vol. 394, 9 julio.

MADDOX, J. (1997-1998): Start of a New Frontier or...End of the Road? *TIME* , winter 1997-98.

MARCO-STIEFEL, B. (1997): Alfabetización Científica. Más allá del dominio de un lenguaje. *Crítica*, julio-agosto.

MARCO-STIEFEL, B. y ALBERO GONZÁLEZ, A. (1998): Alfabetización científica por Internet. El caso de los virus emergentes. *Boletín del Colegio de Licenciados de Madrid*, Nº 99, noviembre.

MARCO STIEFEL, B. (1999): Hemos perdido capacidad de asombro. Entrevista con Angel Martín Municio, *Crítica* , enero.

MARCO STIEFEL, B. (2000): *Alfabetización Científica y Formación de la Ciudadanía. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Editorial Marfil.

MARCO-STIEFEL, B. IBAÑEZ ORCAJO T. y ALBERO GONZALEZ, A. (2000): Diseño de actividades para la alfabetización científica, *Apuntes IEPS Nº 66*, Narcea, Madrid.

MILLER, J. (1998): *Science and Engineering Indicators*. Academia de Ciencias, Chicago, USA:

UNESCO-IC(1999): Declaración de Budapest.

<http://www.oei.org.co/cts/budapestdec.htm>

ROYAL SOCIETY (1985): *The Public Understanding of Science*. Royal Society, London.

VVAA (1999): La divulgación científica . *Alambique*, Julio-agosto-septiembre.

VVAA (1999): *Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica* , Real Academia de Ciencias, Madrid.

VVAA (2000): Genome Special. *New Scientist*, Vol. 166, Nº 2239, 20 mayo.