

Cada una de las células de nuestro cuerpo contiene unos 1.5 gigabytes de información genética, una cantidad de información que llenaría dos CDs o un pequeño disco duro.

Sorprendentemente esta misma información, cuando empaquetada en un óvulo fecundado, es suficiente para dar lugar a un ser vivo que respira, piensa y siente como cualquiera de nosotros. Gracias al trabajo coordinado de los proyectos de secuenciación del genoma humano, todos tenemos acceso a esta información. Al igual que la mayoría de la comunidad de investigadores de la biología actual, podemos maravillarnos ante la complejidad de esta información y tratar de entender su significado.

Paradójicamente y al mismo tiempo, no deja de sorprendernos la simple estructura lineal de esta información cuando la comparamos con la compleja organización del cuerpo humano.

RCSB PDB Molecule of the Month

Estas infografías usan moléculas selectas del archivo PDB y contienen una introducción a la estructura y función de las moléculas, una discusión de su importancia para la salud y el bienestar humano, y sugerencias para visualizar y acceder a información más detallada.

La *Molécula del Mes* RCSB PDB es leída por estudiantes, profesores y científicos de todo el mundo en pdb101.rcsb.org.

Esta edición, de Noviembre de 2001, fue escrita e ilustrada por Davis S. Goodsell (RCSB PDB y The Scripps Research Institute) y traducido al Español por Cele Abad-Zapatero (University of Illinois at Chicago), Jordi Bella (The University of Manchester), and Mauricio Esguerra (Karolinska Institutet).

Memoria de sólo lectura

El ADN es una memoria molecular que sólo se puede leer, no es modificable. La información está almacenada de forma organizada en las cadenas del ADN, guardadas a buen recaudo dentro de las células. Cada molécula de ADN está compuesta de una larga cadena lineal de millones de nucleótidos, normalmente emparejada con otra cadena complementaria formando una especie de escalera de caracol en la que cada lado aporta la mitad de cada escalón; cada peldaño está formado por dos nucleótidos apareados, uno de cada cadena. Las dos cadenas se enroscan una alrededor de la otra formando una doble hélice, ilustrada a la derecha (Fig.1). El código escrito en esta hélice es muy fácil de leer: uno simplemente desciende a lo largo de una de las cadenas del ADN, escalón a escalón, leyendo las bases: A (adenina), T (timina), C (citosina) o G (guanina). Esto es precisamente lo que hacen nuestras células. Primero copian la información del ADN a una molécula de ARN mensajero. Éste se une a unos complejos moleculares llamados ribosomas, que sintetizan proteínas basándose en la secuencia copiada del ADN original. Así es también como los biólogos moleculares determinan la secuencia de cada hebra del ADN: cortando e identificando un nucleótido (o eslabón) a la vez.

Nuestra herencia

La información genética, heredada de nuestros padres, es nuestro patrimonio molecular más preciado. Durante los primeros nueve meses de nuestras vidas guió la construcción de nuestros cuerpos y continúa controlando las funciones básicas necesarias para la vida. Cada una de nuestras células usa continuamente esta información, respondiendo a cuestiones tales como el control de los niveles de azúcar en la sangre o la temperatura corporal, cómo digerir los diversos alimentos en la dieta, cómo responder a cambios ambientales, y miles de preguntas similares, todas ellas críticas para el funcionamiento adecuado de la maquinaria celular. Las respuestas están codificadas en el ADN. Cientos de proteínas distintas están encargadas de entender y manipular esa información: 1) leyéndola para crear proteínas nuevas; 2) copiándola y transmitiéndola a las nuevas células durante el proceso de división celular; 3) guardándola y protegiéndola cuando no está siendo usada activamente; y 4) reparándola cuando se ha deteriorado por la acción de agentes químicos o radiaciones ambientales.

La molécula más reconocible

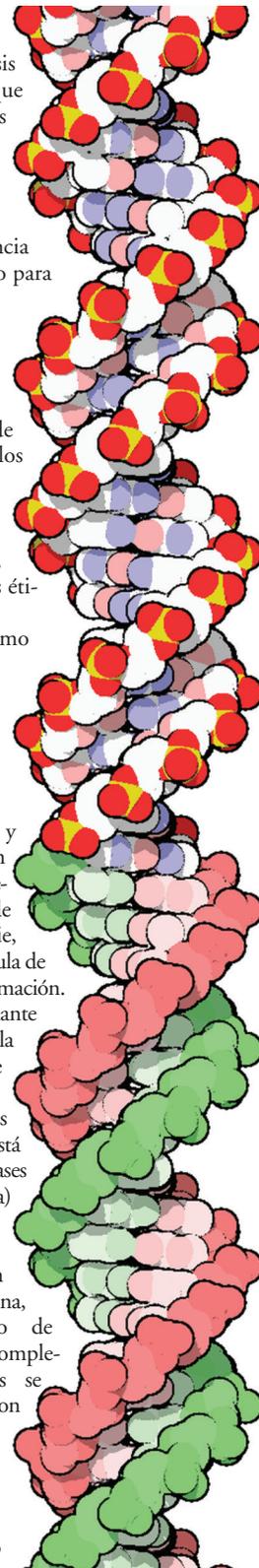
Probablemente el ADN sea una de las moléculas más hermosas que pueda encontrarse dentro de una célula. Su estructura helicoidal es sencilla, elegante, precisa y armoniosa. Además, es una de las moléculas más reconocibles, habiéndose utilizado infinidad de veces como el símbolo por excelencia de la biología molecular. Lamentablemente también, para algunos conlleva una connotación negativa, representando las manipulaciones presentes en los alimentos modifica-

dos genéticamente. Para otros en cambio, representa los avances en análisis e identificación forenses que han sido cruciales en casos judiciales de gran resonancia en la prensa. También habrá quienes relacionen el ADN con novelas o películas de ciencia ficción, donde se ha usado para reconstruir dinosaurios o para guardar mensajes secretos de extraterrestres. De una forma u otra, es un símbolo inequívoco del aumento de nuestro conocimiento de los procesos biológicos a nivel molecular y de nuestra estrecha relación con el resto de la biosfera, así como de las cuestiones éticas y morales con las que hemos de enfrentarnos como resultado de este conocimiento.

Información molecular

La estructura del ADN es perfecta para el almacenaje y la lectura de la información que contiene. Todos sus elementos están repletos de contenido: cada superficie, arista o cavidad en la molécula de ADN es portadora de información. El mecanismo básico mediante el cual el ADN transmite la información genética fue descubierto por Watson y Crick al principio de los años cincuenta. La clave está en la forma en la que las bases (los escalones de la escalera) se aparean de forma específica en las dos hebras de la doble hélice: adenina con timina y guanina con citosina, formando un conjunto de puentes de hidrógeno complementarios. Estos enlaces se muestran en la Figura 2 con flechas rojas.

Las superficies que aparecen expuestas en la doble hélice contienen información adicional, no genética, que permite el reconocimiento inter-



(Figura 1)

RCSB Protein Data Bank

El Protein Data Bank (PDB) es el depósito central para el procesamiento y distribución de estructuras tridimensionales (3D) de proteínas y ácidos nucleicos de gran tamaño. El RCSB PDB está ubicado en Rutgers, The State University of New Jersey y el San Diego Supercomputer Center, el Skaggs School of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences de la University of California, San Diego. Ambos son miembros de la colaboración de investigaciones para la bioinformática estructural RCSB (por sus siglas en Inglés).

Es financiado con fondos de la National Science Foundation, National Institute of General Medical Sciences, Office of Science, Department of Energy, National Library of Medicine, National Cancer Institute, y National Institute of Neurological Disorders and Stroke.

El RCSB PDB es miembro del PDB mundial ([wwPDB](http://wwPDB.org); wwpdb.org).

Más información acerca del ADN:

Richard E. Dickerson (1983) *The DNA Helix and How it is Read*. *Scientific American* 249 (December), pp. 94-111.

Wolfram Saenger (1994) *Principles of Nucleic Acid Structure* (Springer-Verlag, New York).

The Nucleic Acid Database, ndbserver.rutgers.edu



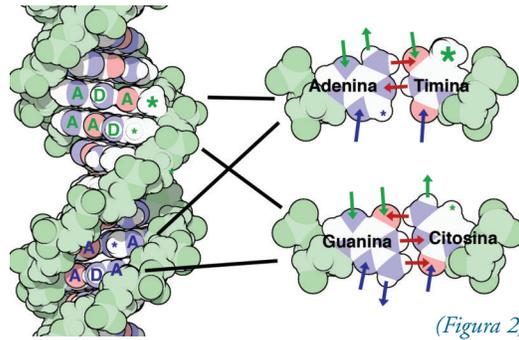
Visita pdb101.rcsb.org (*Learn > Paper Models*) para descargar la plantilla del modelo de papel de ADN con instrucciones en español

Bibliografía

1bna: H.R. Drew, R.M. Wing, T. Takano, C. Broka, S. Tanaka, K. Itakura, R.E. Dickerson (1981) Structure of a B-DNA dodecamer: conformation and dynamics. *Proc.Natl.Acad.Sci.USA* 78: 2179-2183.

1ana: B.N. Conner, C. Yoon, J.L. Dickerson, R.E. Dickerson (1984) Helix geometry and hydration in an A-DNA tetramer: IC-C-G-G. *J.Mol.Biol.* 174: 663-695.

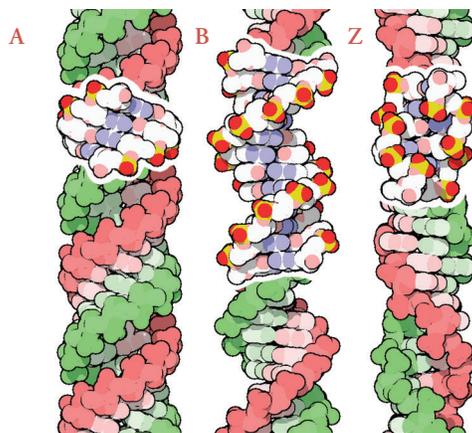
2dcg: A.H. Wang, G.J. Quigley, F.J. Kolpak, J.L. Crawford, J.H. van Boom, G. van der Marel, A. Rich (1979) Molecular structure of a left-handed double helical DNA fragment at atomic resolution. *Nature* 282: 680-686.



(Figura 2)

molecular. En el surco más ancho (mayor) de la estructura de la izquierda en la Figura 2, las distintas bases nitrogenadas muestran una disposición de grupos químicos que es portadora de información, indicada por las flechas verdes en las imágenes ampliadas a la derecha. Estos grupos químicos incluyen los donantes (D) y aceptores (A) de puentes de hidrógeno, así como un grupo químico voluminoso (asterisco grande) en los pares adenina-timina, que es claramente menor (asterisco pequeño) en los pares guanina-citosina. En el surco menor (o estrecho), hay una disposición diferente de grupos químicos que también conlleva información molecular. Estos grupos están representados con flechas azules en la imagen de la derecha y letras azules en la estructura de la izquierda. Como puede verse en cientos de estructuras del PDB, esta información extragenética es usada por ciertas proteínas para leer el código genético, sin abrir la doble hélice del ADN. Esta información extragenética es también utilizada por algunas toxinas y drogas que interaccionan con el ADN.

Variaciones sobre el tema



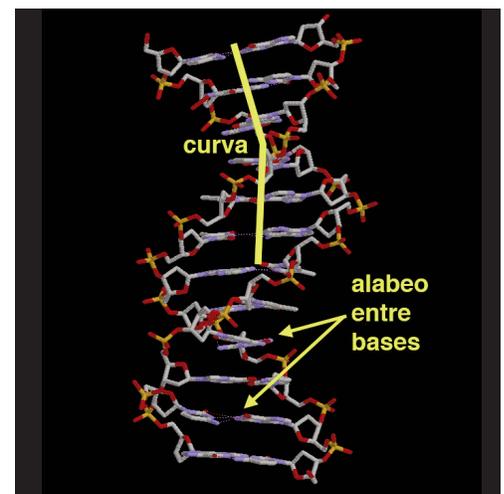
(Figura 3)

La forma más conocida de la doble hélice (forma B) es la estructura que la molécula de ADN adopta en condiciones análogas a las que existen normalmente en las células vivas. Un ejemplo se muestra en la Figura 3, imagen central, obtenida de una estructura cristalográfica depositada en el PDB (código identificador **1bna**), y superpuesta sobre un diagrama de la forma B ideal. Sin embargo, usando otras condiciones de preparación diferentes, el ADN adopta estructuras distintas como se puede apreciar en otras dos estructuras depositadas en el PDB: códigos **1ana** (izquierda) y **2dcg** (derecha). La estructura de la izquierda, con las bases inclinadas con respecto a la horizontal y un surco ancho profundo, se

denomina ADN-A y se forma en condiciones de baja hidratación.

Desde un punto de vista histórico, esta diferencia fue fundamental en la caracterización experimental de las fibras de ADN por Rosalind E. Franklin usando la técnica de difracción de rayos X. Además, es importante porque el ARN a menudo se presenta en esta forma, ya que el grupo hidroxilo (OH) adicional en las moléculas de ribosa perturba la forma B, y la hace inestable. La estructura de la derecha, que gira alrededor del eje central en sentido contrario a las formas A y B, se denomina ADN-Z. Se forma en condiciones de alta salinidad y requiere una secuencia de bases especiales, con una alta frecuencia de pares consecutivos citosina-guanina y guanina-citosina.

Explorando los detalles de la estructura



(Figura 4)

Normalmente, cuando se piensa o habla del ADN, uno se lo imagina como una doble hélice perfecta, completamente regular. En realidad, la estructura de ADN presenta variaciones y desviaciones locales. El fragmento de ADN que se ilustra aquí (Figura 4), obtenido de la estructura del PDB **1bna**, muestra ejemplos de las variaciones locales más comunes. En la parte superior, la hélice está inclinada hacia la izquierda, distorsionada por las interacciones con otras moléculas del cristal. En la parte inferior, dos de los pares de bases complementarias están distorsionados en el plano de interacción: los planos de las dos bases están girados uno con respecto al otro, como si los extremos del peldaño se hubieran girado en direcciones opuestas; las dos bases no son estrictamente coplanares (el término técnico es 'alabeo', que proviene de la arquitectura). Esto hace que los planos de las bases aparezcan cruzados, como se puede apreciar en las bases del par superior en la figura. Estas distorsiones locales optimizan la forma en la que las bases se apilan unas encima de otras a lo largo del eje helicoidal, estabilizando toda la doble hélice. A medida que se van determinando más estructuras de ADN a alta resolución, es cada vez más evidente que la molécula de ADN es dinámica, bastante flexible por sí sola, y que se curva, tuerce, anuda o desanuda y enrosca o desenrosca con facilidad, dependiendo de las proteínas con las que interacciona y de la función que el mismo ADN tiene que realizar.