

Ricardo Aroca Hernández-Ros    Doctor Arquitecto    [www.arocaarquitectos.com](http://www.arocaarquitectos.com)  
C/ Rafael Calvo nº9, 28010 Madrid    [estudio@arocaarquitectos.com](mailto:estudio@arocaarquitectos.com)  
914482505

Título **La estructura del ADN**  
Autor Ricardo Aroca  
Cajón de recortes  
Medio Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.  
Mayo de 2011  
Fecha Enero 1999

El siglo XX que está terminando nos ha traído una serie de avances técnicos que han revolucionado el mundo de una forma nunca vista, hasta el punto de amenazar la continuidad de la vida en la tierra provocando desde cambios planetarios en la composición de la atmósfera, hasta desequilibrios explosivos de población. Esta resultante técnica espectacular y peligrosa (pero al tiempo llena de posibilidades), resulta más llamativa que la serie de hallazgos científicos capitales, que suponen un cambio gigantesco en el entendimiento de la compleja realidad física en que nos movemos.

El ritmo de descubrimientos ha sido tal, que se ha extendido la impresión de que no pueden ser comprendidos más que por los especialistas de cada una de las cada vez más estrechas ramas del saber, y mientras que toda persona culta de épocas pasadas era partícipe de un general entendimiento de la realidad física, hoy día una persona que se cree culta y es considerada así por los demás, puede tener una concepción del mundo que no va más allá de Newton, Darwin, Miguel Servet y Linneo, siempre que esté más o menos al día en cuestiones de literatura, y sepa manejar con suficiente oportunidad algunas nociones populares derivadas del pensamiento de Freud.

Bien es verdad que la existencia de un modelo general, universalmente admitido, tiene el inconveniente de que la natural resistencia a cambiarlo puede expresarse de forma violenta, como prueban la condena de Galileo (felizmente rehabilitado con 350 años de retraso), la muerte en la hoguera de Giordano Bruno o Miguel Servet, o las persecuciones intelectuales, e incluso físicas, que sufrieron Darwin y Marx.

El general desconocimiento contemporáneo de los aspectos clave para la comprensión del mundo, resulta de varios factores:

- La rapidez con la que se han producido, sin dar tiempo a que se sedimenten en la conciencia colectiva.
- El hermetismo y la fragmentación de la comunidad científica, cuyos integrantes, poseedores de un conocimiento altamente especializado, carecen en general de una formación amplia que les permita situar sus hallazgos en un contexto general y, en consecuencia, les impide explicarlos de forma inteligible, (por otra parte tampoco parecen sentir gran necesidad de hacerlo).
- La propia inercia de la sociedad que, incapaz de transformar el conjunto de conocimientos que se entienden como "cultura", ha aceptado como situación

estable el conocimiento fragmentario de un mundo dislocado, en el que la falta de relación entre las partes se suple con la confianza de que otros sabrán de lo que a uno le es imposible aprender.

Con ser importantes, tampoco son tantos los descubrimientos y formulaciones teóricas de verdadera relevancia:

- La teoría de la relatividad, que permite encajar las piezas discrepantes en el universo de Newton, explica la constancia de la velocidad de la luz, introduce la influencia de la masa la hasta entonces noción abstracta del espacio, y plantea inquietantes reflexiones sobre el tiempo, como una coordenada más, que de forma inexplicable pero inexorable, percibimos de forma distinta a las otras.
- La mecánica cuántica que abre el inquietante abismo de la desaparición de las nociones de certeza, e incluso de los límites de lo que puede conocerse, en un mundo de lo infinitamente pequeño, donde todo sucede a saltos, la realidad se convierte en probabilidad y el observador es necesariamente una parte indisoluble del proceso.
- La física subatómica, que en lo que va de siglo ha explicado ya una vez el "átomo" que, para empezar, tenía partes en contra de lo que su nombre indica, lo ha puesto en crisis con la aparición de numerosísimas partículas subatómicas, lo ha ordenado de nuevo mediante los quarks, y aún anda tratando de ajustar parámetros en una teoría estándar que tiene aún un cierto tufo ortopédico, bien lejano de las brillantes y nítidas formulaciones de Einstein.
- La gran explosión, origen del universo, aún en controversia en algunos de sus aspectos, más sobre el momento del comienzo, que oscila excesivamente entre 10 y 20.000 millones de años, que en las secuencias del proceso, en el que parece haber acuerdo, excepto en lo que pudo pasar en los primeros 10-35 segundos.
- El desarrollo de la vida, también oscuro en cuanto a su origen, pero que en nuestro planeta ha dejado huellas desde hace casi 4.000 millones de años (bien es verdad que no se han encontrado rocas más antiguas), que hace unos 40 años, con la formulación del modelo del ADN por Watson y Crick, recibió un impulso decisivo que ha iniciado una apasionante explosión de conocimiento de unos procesos que aún se nos antojan complejísimo dada la velocidad a la que van añadiéndose piezas, a veces contradictorias en apariencia, a una imagen global fragmentaria en un esfuerzo investigador que, desde hace años, llena un considerable porcentaje de las publicaciones científicas.

Ahora hace cuarenta años que se propuso un modelo del ADN (ácido desoxiribonucleico), que es el soporte de la herencia.

En un ser vivo pluricelular, el sistema es extraordinariamente complejo: unas

larguísima moléculas (hasta cuatro centímetros de longitud), formadas a base de combinaciones de únicamente 4 aminoácidos (adenina A, guanina G, citosina C y timina T), se disponen en una doble hélice, de manera que cada aminoácido "encaja" con su complementario. La base de la cadena la forman un azúcar y un fosfato que se enlazan formando una espiral dextrógira, que da una vuelta completa cada 34 Å; en cada espiral encajan exactamente 10 pares de bases y a su vez la Adenina y la Timina, y la Citosina y la Guanina encajan entre sí, lo que hace posible geoméricamente cualquier secuencia y su complementaria.

Es curioso que la compatibilidad geométrica necesaria para la autorreplicación haya conducido a un esquema lineal de información tan semejante al de la escritura.

Aunque esquemas tridimensionales o superficiales de organización de la información serían mucho más ricos en posibilidades, sólo una organización lineal es suficientemente controlable en los procesos de división como para asegurar una estabilidad de la información contenida en ellos.

Este "encaje", permite la duplicación de la información. Cuando la doble hélice se divide en dos, en cada una de ellas se "encajan" (de estar presentes en el medio) los aminoácidos complementarios, constituyendo dos moléculas de "doble hélice" idénticas a la primitiva.

La información, además, está duplicada o casi duplicada. En cada célula eucariota existe un doble juego de dobles hélices bastante parecidas, aunque no idénticas, en el núcleo lo que, además de hacer la información más segura, permite una cierta variabilidad que, a su vez, es decisiva en el mecanismo de formación de las especies.

La cantidad de información contenida en cada célula es asombrosa. El DNA humano consta de unos 3.000 millones de "letras" ( $3 \times 10^9$ ) que, puestas en papel, ocuparían unos 6 millones de páginas que llevarían a 300 metros de estantería (unos 20 metros cúbicos de papel). La información está organizada en unos 100.000 genes agrupados en unas 200 familias.

Más sorprendente aún que esta extraordinaria cantidad de información comprimida a unos extremos que sólo con los avances de la informática empezamos a entender, es la uniformidad del "mensaje".

Pese a la inmensa variedad de posibilidades, toda la vida está montada sobre

20 aminoácidos (todos ellos dextrógiros, mientras que es igualmente probable producir los levógiros) y, de éstos, sólo 4 constituyen el soporte de la información contenida en el ADN. Más aún, algunos trozos del mensaje, se repiten exactamente idénticos y con las mismas funciones en todos los seres vivos.

El sistema real es algo más complejo. En las células hay trozos de ADN que no están en el núcleo, sino en unos corpúsculos llamados mitocondrias, y cuya propagación obedece a otras leyes.

Hay además trozos sueltos de información: los virus, que no están vivos en sentido estricto, pero que pueden reproducirse, y se reproducen, interfiriendo el mecanismo de información de las células vivas, a las que hacen producir réplicas del virus original.

En un mundo en que cualquier nicho ecológico es ocupado por un gran número de formas de vida de gran variedad de tamaño y complejidad, resulta sorprendente esta absoluta uniformidad de un mecanismo de información de tan improbable perfección geométrica, sin que quede rastro de ningún precursor. Más aún, las más antiguas rocas terrestres de casi 4.000 millones de años, cuando la tierra sólo llevaba 1.000 millones de años de existencia, ya contienen al parecer fósiles de bacterias como las actuales.

Existe una posible explicación al proceso, (siempre que es posible el por qué de las cosas una vez que se sabe cómo han pasado), aunque no es tan fácil justificar la supervivencia de la solución única.

Hay dos cuestiones previas esenciales para la aparición de la vida:

En primer lugar, la asimetría de la molécula de agua, que al tener un extremo positivo y otro negativo es un líquido, cuando, de no ser por esta circunstancia, sería un gas hasta los 20° bajo cero. Cuando se solidifica forma hielo menos denso lo que, permite una temperatura de la tierra más estable que si fuera más denso y se hundiera y, además, esta peculiaridad de asimetría eléctrica hace un excelente disolvente que facilita las reacciones químicas.

En segundo lugar, la facilidad del carbono para formar y destruir enlaces con el hidrógeno y otros elementos, precisamente en el rango de temperaturas en que el agua permanece líquida.

Pueden formarse moléculas extraordinariamente complejas. Algunas de ellas pueden actuar como catalizadores para la formación de otras, en virtud de su

geometría, entendiéndose como tal no sólo la forma, sino la disposición de sus débiles desequilibrios eléctricos.

Dadas las condiciones adecuadas y un aporte de energía que pudiera provenir de actividades geotérmicas, los aminoácidos pueden formarse espontáneamente.

Las primeras moléculas autorreplicantes por encaje de unos aminoácidos en otros no son fáciles de imaginar. El salto real aparece con la doble molécula, en que una parte hace de molde de la otra.

El ADN no es la única molécula autorreplicante, algunas proteínas lo son, al menos parcialmente, como es el caso de los priones, origen de la enfermedad conocida como KURU o el síndrome de Kreutzfeld-Jakobs.

No obstante la doble hélice es una idea excelente, cada mitad hace de molde de su complemento, aprovechando los aminoácidos de alrededor, formando dos moléculas idénticas a la primera. Los inevitables errores de transcripción del proceso dan lugar a variantes, alguna de las cuales pueden presentar mayor complejidad y eficacia.

En este punto es relevante recordar el origen de los ordenadores:

Enseñaron al matemático Von Neuman el primer ordenador, el eniac, enorme artefacto de lámparas de radio, capaz de almacenar números y de hacer operaciones aritméticas cuando los operadores enchufaban la clavija adecuada. Su comentario fue: "¿Por qué no guardan también las instrucciones en la máquina?"

A semejanza de la idea de Von Neuman, una serie aleatoria de aminoácidos, además de autoreplicarse, puede servir al tiempo para propiciar una mayor concentración de aminoácidos a su alrededor, y luego incluso para generar una membrana que encierre el conjunto, asegurando así la continuidad de un medio propicio; aparece así la primera bacteria: una membrana rodea un caldo de cultivo propicio, dentro del que se alberga un anillo de ADN.

La competición para apoderarse de los aminoácidos libres disminuye su concentración y, en estas condiciones, es una ventaja fabricarlos.

La versatilidad de unas tiras de información cada vez más complejas, encuentra la forma de obtener ventajas de reacciones químicas productoras de energía.

Hay huellas de intensa actividad bacteriana, que formó depósitos de azufre y de metales a partir de los compuestos químicos disueltos en las emisiones hidrotermales.

La molécula autorreplicante mejora su eficacia, en la medida en que la secuencia contiene a la vez información que mejora las probabilidades de autorreplicación.

El complejísimo sistema mediante el que partes de la cadena se pliegan para hacer de catalizadores de determinadas proteínas, que a su vez generan directa o indirectamente otros procesos, tardará tiempo en ser desentrañado totalmente (después de todo, ha tardado miles de millones de años en formarse).

Es más fácil establecer la relación entre determinadas secuencias de letras y sus efectos y, la realidad es que, a pesar del complejo sistema de lectura química, la cantidad de información significativa, es decir, capaz de expresarse, contenida en una molécula de ADN, es sorprendente aún en esta era de explosión de la información digital.

Al aumentar la complejidad de las reacciones químicas próximas al ADN, resulta ventajoso protegerlo con una nueva membrana, formando el núcleo de la célula eucariota. La organización más compleja, que se propicia con una estructura mecánica interna de creciente complejidad, permite a la célula crecer unas mil veces. Las instrucciones más complejas necesarias para construir el artefacto van creciendo en longitud, usando siempre el mismo código original.

El sistema va admitiendo numerosas variantes, cuyo orden de aparición no tiene que ser éste:

- Bacterias que han “aprendido” a usar la energía solar como motor de las reacciones químicas para producir materia orgánica. Son incluidas en la célula, formando los cloroplastos siguen funcionando dentro, y se dividen con ella.
- Otras bacterias con otras funciones son asimiladas igualmente, formando un sistema complejo.
- Alternativamente, en lugar de fabricar materia orgánica, puede ser más rentable devorar a otros que la hayan fabricado o a otros devoradores.
- En cuanto al sistema de información, aparece una prometedora variante: la duplicación del ADN dentro del mismo núcleo tiene dos ventajas, una la de aumentar considerablemente la fiabilidad del sistema, otra la posibilidad de producir híbridos combinando información de dos células, lo que permite la homogeneización de poblaciones, que hasta entonces se ramificaban infinitamente, a partir de cada mutación viable y, por tanto, la formación de

especies, en que las características que confieren alguna ventaja, podían ser compartidas más rápidamente por una población.

- Variadas posibilidades de movimiento y, con ello, la transmisión de instrucciones sobre pautas de comportamiento son añadidas al repertorio creciente de seres unicelulares, tanto los capaces de fabricar su sustento, como los devoradores de los primeros.

Ni siquiera están totalmente desentrañados los sutiles medios que permiten traducir las secuencias del ADN a la fabricación de unas u otras proteínas, mediante mensajeros químicos, a través de las membranas celulares. Más sutiles aún son las instrucciones para pautas de comportamiento, también a través de mensajeros químicos.

Cualquier trozo de información que proporcione una ventaja es retenido. Los que aparecen muy al principio de la cadena evolutiva son compartidos por prácticamente todos los seres vivos, algunos sorprendentes, como un reloj biológico con un período de 23 horas (la tierra giraba más deprisa antes) ajustable cada día con el sol.

Como el sistema es ciego, no distingue si las ventajas reproductivas que se consiguen con los cambios, lo son por mejor adaptación al medio, o por proporcionar ventajas sobre los competidores de la propia especie, lo que produce curiosas realimentaciones que pueden acabar incluso con la viabilidad de una especie.

Mientras tanto, cadenas de información sueltas, incapaces de duplicarse por sí mismas, seguían y siguen existiendo, prosperaban y prosperan aquellas capaces de hacer que las células “infectadas” produzcan copias del trozo infiltrado, son los virus (en ocasiones los virus se integran en el sistema, confiriendo al huésped nuevas propiedades).

En la lucha por la existencia, la asociación de varias células supone una ventaja de eficacia derivada del tamaño, mayor capacidad de movimiento, etc.

Tras sucesivas adaptaciones, en que las células asociadas se especializan, perdiendo identidad, aparece un nuevo cambio espectacular que conduce a lo que llamamos organismos superiores. Se integra en el sistema la información precisa para producir la asociación de células a partir de una sola. El manual de instrucciones es ya enorme. No sólo debe incluir el cómo funciona cada una de las partes, sino el cómo se fabrica el conjunto, cómo se mantiene su coherencia, cómo se repara e incluso asegura una autodestrucción para permitir que los

descendientes tengan más posibilidades de supervivencia, y garantizar así la continuidad de la evolución.

La introducción en los extremos de la cadena de ADN de unas secuencias llamadas telómeros que inician el proceso de división y van acortándose en cada episodio, permiten probablemente limitar el tiempo de vida de cada familia de células y aseguran así la muerte de los individuos.

El manual incluye las instrucciones para su correcto uso, activando y desactivando las instrucciones para la división y diferenciación celular en el proceso de crecimiento, y luego dejando inactivas selectivamente la práctica totalidad de las instrucciones para que cada parte del organismo cumpla su función.

Ello supone una renuncia a la individualidad de cada célula, infinitamente mayor que la de las hormigas de un hormiguero, que es compensada por el que todas las células tienen la totalidad de las instrucciones, probablemente ello es necesario porque la vida no es más que la competición de las distintas cadenas de instrucciones para multiplicarse todo lo posible.

La utilización de la energía solar para fijar en forma de materia orgánica el carbono del CO<sub>2</sub> atmosférico, liberando oxígeno en el proceso, provoca en unos millones de años, una transformación del planeta que adquiere así una atmósfera de oxígeno consecuencia exclusivamente de la actividad biológica, que ahora vamos consumiendo a mayor velocidad de lo que se renueva.

Las instrucciones que dan lugar a la producción de un ser pluricelular, con funciones diferenciadas de células que luego llegan a ser tejidos, en una sistematización creciente del manual de instrucciones, acaban conduciendo a la formación de un “tejido nervioso”, conjunto de células que asumen la función prima de controlar la actividad de las demás, y luego de hacerlo en función de la información obtenida del exterior, ya que esto da una indudable ventaja para la supervivencia.

Las pautas de reacción frente a los estímulos van constituyendo “programas” crecientemente complejos, cuya transmisión hereditaria confiere ventajas y son pues de alguna forma grabadas y transmitidas en el ADN.

Aparece así, además del sistema básico de información un almacenamiento satélite, el sistema nervioso al que se transfiere una parte de la información.

El sistema nervioso que, a su vez, especializa una parte: el cerebro, en el almacenamiento y proceso de la información, es mucho menos compacto como base de información que la molécula de ADN, pero al funcionar mediante impulsos eléctricos, en vez de reacciones químicas, es mucho más rápido y, por tanto, confiere una indudable ventaja en cuanto a la posibilidad de supervivencia.

Producido el nuevo soporte de información, lo que implica añadir al manual de instrucciones, no sólo las precisas para reproducir un ente del nivel de complejidad necesario para conseguir ventajas, sino además con las conexiones neuronales exactas para que los estímulos produzcan unas determinadas reacciones, aparece alguna ventaja en que la programación no sea completa: un individuo no totalmente programado corre mayores riesgos, pero puede adaptarse mejor a circunstancias cambiantes; el inconveniente del invento es que, lo que aprende, sólo aprovecha al propio individuo, lo que no es muy rentable en términos de la perpetuación de la variante del mensaje de que es portador.

Cabe pensar que, desde el principio de la aparición de un sistema de percibir el exterior y obrar en consecuencia, haya existido un margen de aprendizaje, y un sistema de incorporar al programa básico (ADN) el tipo de reacciones que mejoró la capacidad de supervivencia de los que lograron reproducirse. Tenemos pues, un segundo soporte de información, incluida en el ADN y transferida al cerebro en el proceso de su formación, capaz de codificar pautas de conducta extraordinariamente complejas.

Al tiempo que el margen de “espacio en blanco” de este segundo soporte, subsistema del primero, y necesario para ir mejorando y adaptando el programa, se convierte en sí mismo en un arma para la supervivencia: la cooperación entre individuos que comparten una gran parte del mensaje, se demuestra una ventaja decisiva.

En algún momento aparece un hecho nuevo de trascendental importancia: la comunicación entre individuos, que permite transmitir mucho más rápidamente experiencias necesarias para la supervivencia.

La comunicación permite producir un nuevo cuerpo de información, que ya no reside en el ADN, y que, probablemente, sólo se ha desarrollado en algunas especies.

Este cuerpo de información, que podemos llamar “tradición oral”, requiere una continuidad en el tiempo de las agrupaciones a las que confiere ventajas, y su existencia ha sido comprobada, no sólo en tribus humanas, sino en las de

grandes monos, las manadas de elefantes y las de algunos cetáceos (se ha comprobado recientemente que los elefantes que nacen fuera del rebaño desarrollan pautas de comportamiento aberrantes).

La tradición oral es mucho más maleable y requiere menos tiempo para la evolución. Tiene el inconveniente de que, en la medida de que es necesaria para la supervivencia, deja desprotegidos a los que, por accidente, se apartan del grupo poseedor de la información, o incluso al grupo entero, si desaparecen simultáneamente varios individuos clave.

Hace menos de 10.000 años, aparece un tercer sistema de información: la escritura, que permite un almacenamiento sin límite, y acaba produciendo lo que llamamos "la cultura", como oposición a la "herencia".

La "cultura" como sistema de información recibe dos enormes impulsos:

- El primero, la imprenta, que permite una multiplicación rapidísima de la información, y una acumulación prácticamente sin límite.
- El segundo, ocurrido hace poco, la digitalización de la información, cuyo rapidísimo desarrollo estamos viviendo, y que podría abocar a una nueva forma de "vida", basada en el silicio, que acabe totalmente con la organización del carbono que sirvió para darle inicio.

El nacimiento del tercer sistema de información: la cultura, es explosivo, en los últimos 30 años se ha generado tanta información escrita como en los anteriores 5.000.

En términos de cantidad y densidad de información, cabe hacer algunas precisiones. Entre alfabeto, números, signos de puntuación, etc., hay del orden de unos 50 símbolos, lo que, respecto a las 4 letras del ADN, significa que hay que dividir por 12 la cantidad de información equivalente en papel.

En términos de éxito de la difusión del mensaje, las bacterias suponen más de la mitad de la biomasa existente, lo que, teniendo en cuenta su tamaño relativo, el mensaje bacteriano tiene una difusión del orden de 103 a 104 veces mayor que el resto de los mensajes, y con una mayor diversidad y capacidad de adaptación, en términos numéricos, el mensaje no bacteriano es irrelevante. Puede dar una idea de la difusión de las bacterias el que en un centímetro cúbico de tierra suele haber unos 1000 millones (10<sup>9</sup>) y que, en aún muestras de roca a 400 metros de profundidad se encuentran entre unos miles y unos millones de bacterias vivas por centímetro cúbico.

La biomasa humana es muy reducida 6.000 millones de personas suponen unos 300 millones de metros cúbicos de biomasa, y caben en el pantano del Atazar.

El sistema del ADN en su conjunto, a pesar de ser completamente ciego y dependiente del azar, o tal vez por ello, ha tenido un éxito increíble. Todo tipo de versiones en competencia de seres vivos, ocupan cada nicho ecológico posible, habiendo superado sin problemas extinciones masivas de alcance inimaginable.

El crecimiento en número de copias del mensaje requiere su modificación, lo que a su vez precisa de la desaparición de los individuos que, una vez han cumplido su función reproductiva, dejan de ser necesarios, de hecho, la obsolescencia programada de los organismos, asegura un funcionamiento razonablemente fiable por el doble de tiempo del necesario para reproducirse; la información cultural en cambio, requiere empezar por el principio, y el cambio excesivamente rápido de individuos va en contra, en la medida en que la cultura ayuda a la supervivencia, se producen pronto un número limitado de ancianos que viven mucho más que sus congéneres (esto, cierto en los humanos, se comprobará en su momento, en los elefantes y los cetáceos).

## Madrid: una ciudad en busca de una idea · AV |2004

Madrid, candidata a organizar la olimpiada del 2012 y protagonista de un "boom" inmobiliario que parece no agotarse, se consolida cada vez más como el centro de negocios peninsular inclinada a su favor la antigua pugna con Barcelona, a la que no ha ayudado precisamente la retórica nacionalista de la Generalitat.

Sobre la ciudad, a salvo por el momento de la crisis económica que ha reducido el impulso edificatorio de otras capitales europeas, planean ahora los arquitectos internacionales mantenidos hasta hace poco a raya (a excepción de Bofill) por una corporación municipal con una cierta tendencia a lo castizo y lo subterráneo.

Madrid, que nació como ciudad importante demasiado tarde para tener una catedral como Dios manda, nunca ha tenido una exposición universal ni una olimpiada (y es probable que siga sin tenerlas en bastante tiempo), nunca en su historia ha tenido la ocasión de emprender algo que haya ayudado a sus