



artículos

**La estructura del ADN** · Ciclo de Conferencias: Humanidades, Ingeniería y Arquitectura UPM | 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

habitantes a tomar conciencia de la ciudad.

En una sociedad en que el término “ciudadano” va siendo sustituido cada vez más por el de “consumidor”, los habitantes de Madrid se sienten tradicionalmente mucho más “consumidores” de la ciudad, dispuestos a airear su resentimiento por las disfunciones del producto, que “ciudadanos” corresponsables, como mínimo, de una ciudad más necesitada de un poco de cariño y buena voluntad que de drásticas reformas. Un reciente estudio, aún no publicado, confirma con absoluta nitidez que en Madrid se echa en falta sobre todo una idea de ciudad como empresa colectiva; el factor de identificación más mencionado por los encuestados (ciudadanos escogidos como líderes de opinión) es en primer lugar el Real Madrid CF y a cierta distancia los museos.

La historia de Madrid, ante todo capital del estado y sólo en las últimas décadas centro industrial, de servicios y financiero, está dominada por las decisiones del poder central y de los especuladores con sólo breves períodos (como el de la efímera segunda República) de conciencia ciudadana.

La ciudad se hace capital como resultado de una decisión geométrica de Felipe II (estaba en el centro de la península, e igual pudo tocarle a Navalcarnero) y crece como Sede de la Corte, cabeza de un imperio en permanente declive y de una nobleza terrateniente y absentista.

La decisión de Felipe II tiene un punto más de extrañeza; Madrid, no sólo está lo más lejos posible de las costas, sino que tampoco tiene río digno de tal nombre, lo que la convierte en una singularidad entre las grandes urbes, una ciudad sin el elemento de orientación e identificación que supone el agua, sea mar, río o lago.

A falta de agua Felipe II dotó a la Corona y siglos más tarde a la ciudad, de un espacio “natural” inmediato que no existía, compró huertos y tierras de labor adyacentes al palacio y los convirtió en el “encinar natural” que hoy es “la Casa de Campo”. La Monarquía preservó para la ciudad otros espacios verdes como el Retiro y el Monte del Pardo, amén de dotarla de numerosos conventos, no pocos cuarteles, de la Plaza Mayor y del Paseo del Prado.

Además de los espacios verdes más o menos naturales el excelente ojo real para la buena pintura, que pasa de los Austrias a los Borbones, permitió formar las Colecciones Reales que dieron origen al Museo del Prado, primer identificador no futbolístico de recintos.

El corto reinado de José Bonaparte a principios del XIX, trató de llevar algo de racionalidad y salubridad a la población, convirtiendo en plazuelas los insalubres cementerios adyacentes a las iglesias, lo que fue poco apreciado por un vecindario que nunca ha sido demasiado progresista.

A finales del XIX la iniciativa urbana pasa de la Corona a los especuladores (aunque la línea de distinción no es muy clara; el barrio de los Jerónimos es el resultado de una especulación de Isabel II); el Marqués de Salamanca comienza la construcción de los ensanches.

La ciudadanía de Madrid da breves pero potentes señales de actividad cultural y ciudadana durante la II República que por una vez es consecuencia de un movimiento popular y no de un pronunciamiento militar.

El Madrid republicano reclama para el pueblo las posesiones reales, construye escuelas, mercados, la ciudad universitaria, el hospital clínico, librepensadores como Arturo Soria impulsan la ciudad lineal, el viso y las colonias de hotelitos, dejando una huella en la ciudad desproporcionada a la escasa duración de la experiencia y a los limitados medios de la época y constituye una prueba de la capacidad de la ciudadanía madrileña cuando se siente y comporta como tal.

Durante la dictadura del General Franco convive el idealismo populista y un tanto canalla del Ministro José Antonio Girón, que hace posibles la interesante operación de los poblados dirigidos con las especulaciones de José Banus y tantos otros, atemperados en cierta medida por el poder de algunos urbanistas responsables dentro de la administración, pero en todo caso la ciudad se sigue haciendo al margen de la ciudadanía que nunca tuvo ni información ni cauces de expresión que le permitieran influir en su desarrollo.

Muerto el General Franco la etapa democrática coincide en su comienzo con la gran crisis económica de finales de los setenta, que detiene durante años la Torre Picasso, obra de Yamasaki.

El Ministro Garrigues (otra vez el poder central), inicia la gran operación de Remodelación de Barrios, que consagra el derecho de miles de familias de baja renta a seguir viviendo donde estaban en lugar de ser expulsados a la periferia.

El Ayuntamiento permanece al margen de la operación urbana más importante del momento y el impulso de la ciudad corresponde al arquitecto Eduardo Mangada primero con el Alcalde Enrique Tierno, que intenta infundir

espíritu ciudadano a la urbe y recuperar el río, y luego con el Presidente de la Comunidad Joaquín Leguina.

El legado de Mangada se concreta en la fallida "Avenida de la Ilustración" como alternativa desgraciada al cierre del anillo periférico de la M30 y el revival de la ordenación en manzana cerrada, que trata de resucitar los ensanches del XIX con manzanas de la mitad de superficie y la décima parte de volumen que el modelo original, y han dado lugar a un tipo edificatorio con calles desiertas entre edificios construidos de una vez..., con piscina sin sol en el centro que se ha extendido como la peste por toda la periferia de Madrid.

La reactivación económica de los 80 ha impulsado una fiebre especulativa aún viva que tiene unos símbolos claros:

- Las Torres Kio yerguen sus inclinados prismas, obra de un exsocio de Phillip Jonson, sobre un suelo objeto de una estafa que ha dado lugar a una condena de cárcel para dos de los más conocidos financieros españoles (hoy pendientes de que se les conceda el indulto).
- Las futuras torres de la Ciudad Deportiva del Real Madrid; la ciudad, devolviendo generosamente el favor de ser su más importante seña de identidad ha contribuido a llenar las arcas del Club, permitiéndole salir de una importante deuda y aumentar aún más el prestigio de la capital fichando a los más caros futbolistas del momento, mediante la autorización de construir cuatro grandes torres sobre un suelo que el propio Ayuntamiento había cedido al Club años atrás para dedicarlo a zona deportiva.

Poco se sabe de las torres, siguiendo la tradición hermética del sector inmobiliario, salvo que una ha sido encargada a Foster por la Petrolera Repsol, como cabe esperar estaremos más informados de lo que va a pasar en Nueva York que de lo que pasa en Madrid.

Durante la última década, la administración municipal y los especuladores han sido indistinguibles tanto físicamente como en cuanto a lenguaje, aunque es preciso suponer que ambos grupos sociales han tenido un comportamiento ético intachable.

Se han gastado importantísimas operaciones más inmobiliarias que urbanísticas, ya que la lógica del crecimiento de la ciudad ha estado subordinada a la del aumento de valor del suelo; en ellos miles de grúas se afanan en edificar anónimas extensiones de ensanche retro con pequeñas manzanas, cada una con su piscina y su campo de tenis dentro.

Ante las repetidas críticas de carencia de actuaciones de prestigio, en el último par de años ha comenzado a propiciarse el desembarco de las estrellas de la arquitectura en una ciudad que se había alimentado hasta mediados de los 80 de excelentes arquitectos locales, salvo alguna actuación de Moneo en la última década y un vulgar proyecto de Bofill.

En este contexto, la candidatura olímpica se ha planteado en secreto como una operación inmobiliaria más, perdiendo así la oportunidad, al menos de momento.

## La soberbia de la altura · AV |2005

Los Rascacielos entre la Técnica y el Pecado

*Entonces se dijeron el uno al otro: "Ea, vamos a fabricar ladrillos y a cocerlos al fuego". Así el ladrillo les servía de piedra y el betún de argamasa.*

*Después dijeron: "Ea, vamos a edificarnos una ciudad y una torre con la cúspide en los cielos, y hagámonos famosos, por si nos desperdigamos por toda la faz de la tierra".*

*Bajó Yahveh a ver la ciudad y la torre que habían edificado los humanos, y dijo Yahveh: "He aquí que todos son un solo pueblo con un mismo lenguaje, y este es el comienzo de su obra. Ahora nada de cuanto se propongan les será imposible.*

*Ea, pues, bajemos, y una vez allí confundamos su lenguaje, de modo que no entienda cada cual el de su prójimo".*

*Y desde aquel punto los desperdigó Yahveh por toda la faz de la tierra, y dejaron de edificar la ciudad.*

Desde tiempos bíblicos el acto de soberbia, castigada adecuadamente con la maldición de la diversidad de las lenguas, de construir una torre de altura infinita ha estado en la mente de la humanidad concitando sensaciones de poder y temor.

Curiosamente no se trata de algo imposible, ya que puede construirse una torre de altura infinita con cualquier material siempre que su planta tenga una ley de disminución en altura tal, que entre dos secciones distantes un número clave, (cociente entre resistencia y el peso específico que vale 80 metros para fábricas de piedra o ladrillo entre 300 y 500 para el hormigón 2.100 para el acero y 40.000 para la fibra de carbono), la superior sea 2,7182 veces más pequeña que

la inferior y en la medida en que la reducción se haga de forma más rápida, la torre no sólo se sostiene a sí misma sino que puede soportar carga útil.

Hay pues solución teórica al empeño de Babel y la empresa pudo haber sido coronada con éxito, de no mediar la maldición divina y, pese a ella, se han seguido construyendo torres, casi todas a mayor gloria de Dios, para evitar malentendidos.

Pero la posibilidad de que sin perder su vertiente de expresión de la soberbia se hayan empezado a explotar las posibilidades utilitarias de las torres solo llegó con el ascensor, al tiempo que el acero hacía técnicamente posible construir edificios altos con plantas aprovechables.

Resuelto el transporte vertical, un edificio alto tiene ciertas ventajas, basta desplazarse de 3,50 a 4 metros en vertical para tener otra planta igual de grande (de estar situadas ambas plantas al mismo nivel, el desplazamiento horizontal es 10 veces mayor y además los ingenios mecánicos que lo pueden facilitar no son claros).

La construcción en altura permite además dejar espacios libres como en las utopías de Le Corbusier o reducir el recurso al automóvil en una ciudad; pero es posiblemente la tentación de lo prohibido la motivación última de los que deciden su construcción para manifestar su poder y lo que causa la fascinación del público, que los medios de comunicación reflejan dando publicidad incluso a memeces pseudocientíficas como la Torre Biónica.

La materialización de cualquier empeño, sean o no virtuosos los motivos, tiene ciertas reglas, y en el caso que nos ocupa es la solución de los aspectos estructurales la que debe ajustarse a reglas más precisas; El problema estructural de una torre tiene a su vez varias vertientes: la resistencia de los soportes no es un problema, ya hemos visto que la torre de altura infinita es posible, pero la estabilidad frente al viento sí impone limitaciones ya que su empuje horizontal tiende a volcar la torre y a menos que se ancle al terreno (como hacen los árboles y algunas torres de televisión) sólo se dispone para resistirlo del peso de la torre, que crece linealmente con la altura, también lo hace el empuje del viento pero su efecto (momento) crece más deprisa al estar además situado cada vez más alto lo que hace más probable el vuelco.

El equilibrio es posible siempre que la altura no supere el cuadrado de la menor dimensión en planta (1.600 metros para las Torres Gemelas por ejemplo); curiosamente se obtiene la misma relación para cualquier forma (no absurda)

de torre entre los extremos de prisma y pirámide, las formas apuntadas de los rascacielos “clásicos” tienen más que ver con la expresión de la altura que con la necesidad estructural.

No es sencillo sin embargo encontrar un sistema estructural que permita movilizar para resistir el empuje del viento la totalidad del peso y del “canto” de la base de la torre aunque sólo sería preciso hacerlo para alturas bastante mayores de las construidas hasta ahora y en la medida en que la altura sea menor no es preciso usar más que una fracción del peso, del canto o de ambos para conseguir un equilibrio estable.

Las dos soluciones extremas para edificios muy altos son, el núcleo rígido de hormigón de dimensiones reducidas sobre el que se carga la totalidad del peso de la estructura mediante grandes vigas que suelen coincidir con entreplantas de servicios o coronar el edificio (BBVA o Torres de Colón por ejemplo) y el tubo rígido exterior que aprovecha todo el canto, pero no todo el peso (Torre Picasso).

Las estructuras de estos edificios demuestran que nuestros proyectistas han sido sensibles a las condiciones de diseño que impone el viento, pero la realidad es que una estructura convencional de pórticos rígidos como la del edificio Windsor da para alturas enormes, de hecho el Empire State de Nueva York, durante muchos años el edificio más alto del mundo, tiene una estructura de este tipo.

El tercer problema estructural de los rascacielos es la rigidez, las plantas altas se mueven de manera perceptible bajo el efecto de un viento fuerte y el sistema estructural es decisivo para limitar el movimiento; las últimas plantas del Empire State se movían tanto, que han estado sin utilizar hasta que se instaló una gran masa con amortiguadores para reducir, con éxito, el desplazamiento y las Torres Gemelas disponían también de un sistema de varios miles de amortiguadores en la unión de vigas y soportes.

La estructura del John Hancock de Chicago con las grandes cruces en las fachadas se aproxima más que la de ninguna otra torre a lo que será la de un edificio verdaderamente alto, aún no construida.

Salvo el caso de núcleos resistentes, el acero es el material estructural por excelencia para grandes alturas, aunque están desarrollándose hormigones de altísima resistencia que empiezan a ser competitivos en cuanto a eficacia estructural, no tanto en lo relativo a rapidez de ejecución.

## Elige lo que quieres ser | junio, 2006

La decisión de estudiar Arquitectura realmente no fue mía, desde pequeño todos en la familia decían “este niño que dibuja tan bien será arquitecto” y la verdad es que nunca me planteé estudiar otra cosa.

En los años 50 el ingreso en Arquitectura era realmente duro; había que aprobar dos cursos de ciencias exactas y superar un examen de dibujo en el que aprobaban cada año 60 de los 2000 que intentábamos entrar en la Escuela, poco después quitaron el ingreso y ahora entrar depende de la nota de selectividad.

Una vez dentro, la Escuela era un lugar agradable (éramos unos 300 alumnos entre todos los cursos) con poca presión y con un buen espíritu de grupo (las promociones de aquellas épocas seguimos reuniéndonos de vez en cuando); se aprendía, como ahora, bastante más trabajando que en las clases. Enfrentarse al reto de concebir un edificio era, y sigue siendo casi 50 años después apasionante.

Durante la carrera era relativamente fácil trabajar en estudios, yo tuve la fortuna de hacerlo un tiempo con Sáez de Oiza, ahora la presión dentro de la Escuela es mayor y el número de estudiantes (más de 4.000) hace más difícil trabajar durante la carrera pero no obstante es una buena práctica bastante extendida. Pocas profesiones pueden ofrecer la satisfacción de ver crecer algo que uno ha ideado, sólo o formando parte de un equipo (como es cada vez más habitual).

Hay otras salidas tales como restaurar y conservar edificios, entrar al servicio de alguna Administración, generalmente controlando los proyectos de edificios o los planes urbanísticos, trabajar en una empresa constructora, desarrollar aspectos parciales de proyectos para otros o realizar informes y peritajes, en todas ellas se está muy cerca de la realidad y se contribuye al bienestar social; el compromiso esencial del arquitecto es con aquellos que van a habitar la ciudad o usar sus edificios; lo que a veces es causa de conflicto con sus clientes directos.

La manera habitual de incorporarse al ejercicio profesional es trabajar durante un tiempo en estudios ya establecidos para completar la formación; algunos consiguen acortar su tiempo de dependencia a través de los concursos entre arquitectos que son una práctica poco comprendida por otros profesionales que no acaban de entender la manía de los arquitectos de trabajar intensamente, generalmente por las noches, con una reducida probabilidad de conseguir un encargo.

Trabajar en arquitectura es algo que compensa en sí mismo con independencia del resultado económico y ello explica que en estudios sobre jóvenes licenciados universitarios, en los arquitectos coinciden estadísticamente el mayor nivel de satisfacción con el nivel más bajo de ingresos y seguridad de empleo.

## Madrid al paso | enero, 2007

La imagen más nítida en mi memoria en relación con “Madrid Diario de la Tarde” es la de la voladura del edificio, como culminación de un proceso que comenzó con un cierre administrativo, coletazo de un régimen que empezaba a ser moribundo.

La bella imagen de la “voladura controlada” (por cierto fue de las primeras demoliciones en que se aplicó esta técnica en Madrid), no figura, como es natural, en el archivo del periódico que había ya, desgraciadamente, pasado de cronista de noticias a protagonista de actualidad.

Antes de su desaparición, “Madrid” era “el diario que se podía leer” en un panorama poco atractivo en el que los diarios de la mañana eran: “ABC”, “YA” y “Arriba” y los de la tarde: “Madrid”, “Informaciones” y “Pueblo”, además de la “Hoja del Lunes” que cubría el hueco dejado por el entonces, obligado descanso dominical.

De manera menos espectacular, todos ellos, a excepción de “ABC” fueron desapareciendo en los remolinos de la transición. Cabe pensar que “Madrid” era el que estaba, en cuanto a contenidos, en mejores condiciones para sobrevivir, aunque “la tarde” resultó ser letal para todos los que compartían ese nicho.

No recuerdo con exactitud cuándo desaparecieron los otros diarios de la tarde, pero de la peripecia del cierre del Diario Madrid, conservo lo que me parece un vivo recuerdo, aunque cabe que esté deformado por sucesivos “refrescos de la memoria” en función de la relevancia que adquirió por la evolución de acontecimientos posteriores, difícilmente previsibles en aquel momento (no sólo es mucho más fácil predecir el pasado que el futuro, sino que los recuerdos son involuntariamente teñidos, resaltados o borrados por lo que pasa después).

Según mi memoria, un editorial de Rafael Calvo Serer (extraño personaje del Opus Dei, facción liberal, a quien no conocí personalmente hasta años más tarde); que aprovechaba la caída De Gaulle para hacerse ciertas preguntas sobre el futuro de Franco, formuladas de la manera críptica habitual de la

época, que tanto placer proporcionaba a los que escribían en clave y a los que disfrutábamos interpretando lo que aparentemente había escapado al renqueante aparato represor, que cabe suponer también disfrutaría lo suyo; al leerlo (aunque pudiera ser que la sensación la haya añadido después), uno pensaba que aquello tendría consecuencias, y efectivamente las tuvo: me quedé sin mi diario de la tarde, asfixiado económicamente por una situación consecuencia del cierre y de una complicada trama accionarial de la que ya no tengo clara memoria (no debió valerles de mucho el cheque que les hice llegar, por importe de unas trescientas pesetas correspondientes a los diarios de un mes, para demostrar una solidaridad, que no llevé al extremo de hacer posteriores aportaciones económicas).

Será una barbaridad decirlo, pero fue la primera vez que tuve la sensación inequívoca de que lo injusto del régimen, que planeaba sobre nuestras conciencias (los de mi clase social) de una forma más bien abstracta, tenía una consecuencia concreta que me afectaba directamente; aunque obviamente la pérdida de “mi periódico” no tuviera comparación posible con la que sufrieron Antonio Fontán, los periodistas y trabajadores del “Madrid”, por no hablar de las otras cosas que les pasaban a incontables personas.

Ahora, con motivo de una exposición de fotografías sacadas del archivo del Diario, me hacen el honor de pedirme unas líneas que me dan la ocasión, acompañando a plumas mejores que la mía, de reflexionar sobre unas imágenes de hace más de treinta y cinco años.

Entre las miles de fotografías del archivo se han seleccionado unas doscientas en las que puede verse : el Madrid ya entonces siempre en obras, algunas anteriores a mi llegada a Madrid, como el último tramo de la Castellana en medio del campo, otras que he vivido como los núcleos desnudos de las Torres de Colón; los burros y carros en las calles, los antiguos mercados en funcionamiento, niños jugando en la calzada, la gente colgada de los tranvías, viviendo mucho más en la calle, bañándose en el Manzanares dentro de la ciudad y más arriba en la “Playa de Madrid”...

Cada una de las fotografías fue en su día ilustración de una noticia y probablemente, los lectores no vimos en ellas nada más que lo que había de nuevo, distinto o sorprendente; vistas de nuevo con el paso de los años y en ausencia de las claves de la “noticia”, en la mayor parte de ellas lo novedoso se ha evaporado completamente y lo que queda es el testimonio de la época, que era realmente la mayor parte de la información contenida en las imágenes.

Tendemos a ver sólo lo que destaca del fondo. En el momento en que fueron publicadas las imágenes, tal vez la noticia era que hacía un calor inusual y la gente bañándose en el río podía ser una buena ilustración de ello ahora, lo relevante, es que entonces la gente se bañaba en el río, cómo eran, cómo iban vestidos, qué aspecto tenían, cómo eran las márgenes del río etc. Lo que fue pie de un acontecimiento concreto ya olvidado, ha pasado a ser testimonio de una época.

Prácticamente ninguna de las fotos permite vislumbrar cual fue la “noticia”. Las excepciones son escasas y se refieren a algunos personajes (la mitad de los que en su día fueron noticia me son desconocidos), obviamente Ramón Gómez de la Serna, Pío Baroja, Hemingway, Bahamontes coronando el Tourmalet y algunos más siguen viviendo en mi recuerdo, aunque sería curioso comprobar cuántos significan algo para los nacidos en los treinta y cinco años transcurridos desde el cierre del periódico.

## De mamotretos y chirimbolos · AV |2007

Para empezar, una precisión semántica: observo con pesar, que llaman “chirimbolos” a los enormes artefactos que han invadido Madrid bajo la égida de Ruiz Gallardón. Protesto con la autoridad que me da el haber bautizado a los chirimbolos originales de Álvarez del Manzano (la verdad es que la cosa no cuajó hasta el tercer o cuarto intento).

Chirimbolo, según el María Moliner significa “cosa de forma generalmente algo complicada que no se sabe cómo nombrar”.

El término como se ve, se ajusta como un guante a los artefactos que dispersó por la ciudad Álvarez del Manzano, pero no es en absoluto adecuado para la brutal secuela que ha invadido Madrid cuya principal cualidad, no ciertamente positiva, no es la forma complicada, sino el tamaño.

Después de una profunda meditación y numerosas consultas, he llegado a la conclusión de que la palabra adecuada para los artefactos de Gallardón es “mamotretos” cuya segunda acepción (la primera es libro grande) es “objeto demasiado grande o pesado para el servicio que presta”.

Una vez cumplido el necesario rito del bautismo y sabiendo cómo se llaman, procede acercarse a los mamotretos y tratar de describirlos. Son grandes,

muy grandes, unos auténticos mamotretos (y parece que sólo es el principio, están previstos al parecer de más de 50 metros cuadrados en la “Calle 30”, cabe suponer que en la parte sin túneles), han surgido sin previo aviso y de repente por todas partes, al principio con un mensaje inquietante “te estoy viendo” acompañado de un dibujo de manos y nariz asomando por encima de una tapia, tomado sin duda de un icono frecuente en los urinarios públicos. Ya tienen anuncios corrientes que no deben ser muy buenos porque no consigo recordar ni una sola de las cosas que anuncian.

En la era de la electrónica los mamotretos son de una tosquedad increíble, parecen venir de otra época, tienen dentro un rollo con como tres anuncios que van cambiando, cabe suponer que con unos motores movidos, sin duda, por electricidad municipal ¡¡qué ocasión perdida de dotarlos de unos paneles solares y anunciarlos como publicidad ecológica y sostenible!!

Sólo tienen una cara útil orientada naturalmente hacia los automovilistas (que deben tener mayor poder adquisitivo o ser más sensibles a la publicidad que los peatones), y la parte de atrás es una cosa gris con unas pequeñas rejillas de ventilación que está pidiendo a gritos algo ¡¡otra ocasión perdida para la “publicidad institucional”!!

Quien los haya diseñado ha hecho un patético esfuerzo para suavizar el tosco rectángulo publicitario: unas patitas curvas de tubo brillante y unos añadidos a modo de estiradas empanadillas en los laterales tratan inútilmente de dar a los mamotretos un aire “de diseño”.

No gustan a nadie, ni siquiera al alcalde, como ha declarado en la prensa amiga en un ejemplar ejercicio de cinismo sin que el periodista indagara sobre la cadena de decisiones que ha conducido a semejante desafuero. Pero están ahí para quedarse, de eso no cabe duda, además con una puesta en escena realmente inteligente: han colocado unos cuantos en lugares deliberadamente ofensivos, incluso delante de ventanas de viviendas; la prensa ha hecho fotografías, se han hecho listas de situaciones gravemente lesivas. Una vez generado el escándalo se quitan esos y está implícito que los demás no molestan y además ya han pasado las tres semanas en que la cosa “interesa”, la prensa ha conseguido la “victoria” de que quiten algunos y el tema ya “no es noticia” por lo que no caben nuevas protestas con eco en los medios de comunicación.

Los mamotretos no son una buena imagen para la ciudad, hacen además más peligrosos a los automovilistas (por si no lo fueran ya bastante) y, de ser

ciertos los enormes de la M30, serán sin duda causa de accidentes a poco que los anuncios móviles sean “sugerentes” pero, con ser grave no es lo peor; lo que se pone crudamente de manifiesto es una nueva vuelta de tuerca en la degradación de “lo público”.

El espacio público no es propiedad del ayuntamiento, las calles y plazas no están inscritas en el registro de la propiedad (como sí lo están los edificios y terrenos de propiedad municipal que pueden ser objeto de compraventa); el consistorio tiene el deber de cuidar el espacio público y mantenerlo en un estado de decoro y buen uso, pero difícilmente puede justificar el hacer “concesiones” sobre lo público si de ellas no puede deducirse una utilidad para la ciudadanía por ilusoria que sea.

Cuando Álvarez del Manzano, en una iniciativa que entonces pareció brutal pero a la vista de lo actual se me antoja patéticamente tímida, llenó las aceras de Madrid de chirimbolos horteras Jaime Sisa cantaba:

“Manzano,  
con tanto chirimbolo  
como pones en la acera,  
estás dejando a Madrid  
cada día más hortera”

Manzano trató de justificar la empresa claramente publicitaria poniendo de manifiesto una pretendida utilidad: unos servían para recoger pilas, otros eran fuentes de agua potable, los menos, retretes...etc., incluso como guinda, el concesionario iba a recoger las cacas de perro de las aceras mediante unos empleados convenientemente uniformados (creo haberlos visto una vez pero seguramente el ayuntamiento encontró muy pronto el pretexto para eximir al concesionario de tan sucia y poco elegante tarea).

Esta vez ya no ha habido el más mínimo tapujo, se trata de explotar económicamente el espacio público de Madrid. El ayuntamiento pagará seguramente la electricidad y algunas cosas más, contra una pequeña parte de los ingresos publicitarios que se generen y si no nos gusta tendremos además el consuelo de que al alcalde tampoco (lo que debe sufrir el pobre) y pese a que nadie ha sabido nada hasta que han empezado a aparecer los mamotretos como setas (incluso en la misma época del año), seguro que ha sido un concurso que ha cumplido todos los trámites legalmente exigibles de publicidad y libre competencia (y pese a la celeridad con que ha ido todo, estoy seguro que la especie difundida en algunos círculos de que los artefactos estaban fabricados antes de la convocatoria del con-

curso es una leyenda urbana más, carente por completo de fundamento). Seguro además que en nuestra descoyuntada realidad una decisión de esta naturaleza no tiene por qué pasar por la “Comisión de estética urbana” que es para los monumentos y no para los negocios municipales.

Ni los controles legales, ni los políticos, sirven para detener estos desafueros que alimentan el acendrado cinismo de la ciudadanía que se siente inerme mientras las instituciones que deberían articular una sociedad civil independiente están cada vez más mediatizados por el juego político.

Al menos nos queda el consuelo de que desde los túneles, en los que cada vez pasamos más tiempo, no se ven, pero ya inventarán algo.

### El constructor autodidacta · En el centenario del arquitecto

Félix Candela · AV | 2010

Félix Candela Outeriño nació en Madrid hace 100 años y estudió arquitectura en la Escuela de Madrid, que históricamente ha mantenido una importante componente técnica en sus planes de estudios. Cabe pensar que fue un buen estudiante, porque ya durante los últimos años de la carrera ayudaba a Luis Vegas, a la sazón catedrático de Estructuras y uno de los introductores en España de la ‘teoría de la elasticidad’.

En aquellos años, Eduardo Torroja construyó en Madrid sus primeras láminas de hormigón —las marquesinas del hipódromo de la Zarzuela y el fontón Recoletos— que llamaron la atención del joven Candela. En un contexto racionalista, las estructuras laminares eran algo más que otra posible solución: permitían construir una cubierta con el mínimo de material —dada una forma y un tamaño, las tensiones debidas al peso propio no dependen del grueso de la cáscara que puede ser tan delgada como sea constructivamente posible, otra cosa es que este mínimo se traduzca en un coste menor—, por lo que, desde una visión abstracta del problema, la solución tenía un indudable atractivo al que no podía ser ajeno el joven Candela, quien decidido a saber más, acabada ya la carrera consiguió una beca de la Fundación Conde de Cartagena para estudiar en Berlín con Franz Dischinger, una de las autoridades mundiales en láminas de hormigón armado.

El tren salía el 18 de julio de 1936, fecha crucial en la vida de Candela, que decidió quedarse en España, en vista de los acontecimientos. Fiel a unas

convicciones democráticas, que mantuvo toda su vida, sirvió en el ejército de la República, y en 1939 se exilió a México sin haber tenido la precaución de recoger previamente el título de Arquitecto, (años después una de sus hermanas intentaría, sin éxito, que se lo dieran en la Escuela).

Exiliado, sin título reconocido mientras trabajaba para otros, no olvidó su interés por las láminas y según sus palabras leyó «todo lo que caía en sus manos sobre el tema»; (Sus sólidos fundamentos teóricos adquiridos en la Escuela le permitían entenderlo). No era fácil hacer una lámina de hormigón armado: En primer lugar, el análisis estaba resuelto pero solo teóricamente, se llegaba a un sistema de ecuaciones diferenciales que solo tenía solución exacta para casos muy simples de forma, carga y condiciones de borde; para cualquier caso real era preciso realizar ‘a mano’ complejos y tediosos cálculos aproximados. Luego venía el problema del ajuste del modelo matemático a la realidad; había pocos precedentes y era preciso recurrir a costosos ensayos en modelos reducidos que muy pocos podían permitirse; era la época de los ‘magos’ que tenían medios fuera del alcance de los demás mortales como Torroja, Hosdorff y pocos más. Luego venía el proceso de construcción; no era fácil que un constructor se atreviera a valorar y ejecutar una obra con pocos precedentes y era necesario, por encima de todo, que un cliente estuviera dispuesto a correr los riesgos y afrontar el coste. En consecuencia se hacían pocas láminas y solo en obras de prestigio.

Pese a que la realización práctica de láminas parecía fuera de su alcance, Candela, el expatriado autodidacta, no abandonó el tema. Tardó diez años en llevar a cabo sus primeros ensayos, siempre a tamaño real; antes tuvo que comprender que aunque las láminas podían ser competitivas en las circunstancias de México —materiales caros y mano de obra barata—, el paso de construirlas no sería posible como no las construyera él mismo, y con su hermano Antonio y los arquitectos, también hermanos, Fernando y Raúl Fernández Rangel fundó la empresa Cubiertas Ala. Empezó en 1950 con unas bóvedas funiculares de pequeño tamaño, aplicadas en escuelas y viviendas experimentales. Se animó a continuación a construir unas bóvedas cilíndricas, unos conoides; siempre superficies regladas que podían ser encofradas fácilmente con tablas rectas y no presentaban grandes dificultades de definición geométrica, cuestión más importante de lo que parece cuando hay que construir de verdad, fijando en el espacio los puntos que definen la geometría sobre un frágil entramado provisional de maderas.

En 1953 construyó su primer paraboloides hiperbólico, el Laboratorio de Rayos Cósmicos de la Universidad Nacional de México, donde comenzaba a impartir clases. Era una lámina pequeña, pero extremadamente delgada (de 2 a 3 centímetros) y la doble curvatura del paraboloides proporcionaba la

rigidez necesaria para conseguir, sin problemas de estabilidad, ese espesor casi imposible. La curiosa estructura, con cierta apariencia de hórreo, permitió a Candela comprobar la facilidad de construcción del paraboloides hiperbólico que, a diferencia de las formas empleadas anteriormente y pese a ser una superficie de doble curvatura, tiene dos familias de generatrices rectas, lo que facilita enormemente la ejecución del encofrado y, por si fuera poco, tiene la expresión analítica más sencilla posible para una superficie curva  $Z = K x y$  (siendo  $Z$  la altura de cada punto,  $x$  e  $y$  las coordenadas en planta y  $k$  una constante que define la curvatura de la superficie y que pronto estableció en un valor alrededor de 0,05); además es fácil de replantear: bastan las posiciones de cuatro puntos en el espacio para definir la forma.

Candela no fue el primero en aproximarse al paraboloides; curiosamente, ya en los años treinta el gran teórico Wilhelm Flügge había postulado la posibilidad del 'paraguas' de cuatro paraboloides, para descartarla acto seguido, ya que «la lámina no podría soportar el peso de los nervios de borde». Candela decide hacer la prueba, y en el año 1953 construye un paraguas experimental que carga con peones mexicanos, todos con sombrero en la histórica fotografía.

A partir de ese momento emprende una intensa actividad en la que alterna los proyectos de naves de paraguas con obras en que emplea los paraboloides de forma cada vez más audaz; siempre proyectando, construyendo y compitiendo en precio, moviéndose en un campo con el que no tenía que competir con 'creadores de formas', ya que era preciso aunar conocimiento teórico, audacia y posibilidad de construir a un precio competitivo, circunstancias que sólo concurrían en él. Candela asumía los riesgos de hacer cosas que nadie había hecho antes, con la fe en que sólo la práctica permite comprobar qué factores son relevantes y cuáles no lo son, y afrontando y resolviendo con un porcentaje reducido de errores temas secundarios desde el punto de vista teórico, pero importantes para el uso y el aspecto de la obra, como la conexión con los cerramientos verticales o el diseño de los nervios de borde. Pasó con increíble rapidez de las naves de paraguas a combinaciones de paraboloides de gran curvatura (Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa en Navarte); inclinó los ejes, que dejaron de ser ortogonales (Iglesia de San José Obrero en Monterrey); y construyó grandes láminas aisladas (Capilla en Lomas de Cuernavaca, Morelos).

Como las tensiones no dependen del grueso de la lámina, 4 o 5 centímetros de espesor eran suficientes; la pena es que como hay nervios de borde, la lámina no luce su delgadez. La solución, conformar el nervio de borde de manera que 'represente' el espesor de la lámina que no llega a verse y aún menos, si se quiere. Hay no obstante una solución para que un borde de la lámina

podiera quedar verdaderamente libre. La intersección de dos paraboloides formando una especie de bóveda de crucería permite dejar un borde libre llevando los esfuerzos de borde a los dos arcos cruzados que materializan la intersección de los paraboloides (planta embotelladora Bacardí en Cuautitlán) y si los paraboloides son oblicuos, fabricar una especie de flor (Restaurante Los Manantiales en Xochimilco). Junto a estas obras singulares, incontables metros cuadrados de paraguas. En poco tiempo, Félix Candela había construido más superficie de cubiertas laminares de hormigón armado que nadie en el mundo. De hecho, no competía con nadie, no era un generador de formas novedosas en competencia con otros, sino un constructor de soluciones razonables y económicamente competitivas que además resultaban ser formas novedosas.

## UNA DÉCADA DE PRODUCCIÓN

En los años sesenta, la ventana de oportunidad se cerró. Por una parte, cambiaron las circunstancias socioeconómicas y las láminas dejaron de ser competitivas. Por la otra, los procedimientos de análisis por ordenador pusieron al alcance de más técnicos la capacidad de predecir el comportamiento de todo tipo de estructuras, abriendo el campo a los creadores de formas que ya no precisaban de un bagaje teórico —pues la justificación técnica podía adquirirse en el mercado—, y los nuevos creadores tenían además la ventaja de que su audacia no se veía lastrada por el conocimiento.

La práctica había enseñado a Candela que los posibles problemas de borde por incompatibilidad de deformaciones no son relevantes si las tensiones son pequeñas, lo que a su vez depende de que las láminas sean lo bastante curvas, es decir, de que sus radios de curvatura no sean muy grandes. Como, dada una forma, el radio de curvatura crece con el tamaño, resulta que las láminas, aún siendo una solución muy eficaz, paradójicamente solo sirven para cubrir espacios de dimensiones moderadas. Este conocimiento permitió a Candela predecir, sin más que ver los dibujos del concurso, que las velas de la Ópera de Sidney eran poco curvas y no podrían ser resueltas como lámina, conclusión que costó a Ronald Jenkins —estrella entonces de la oficina de Ove Arup— un par de años de cálculos, y al gobierno australiano instaurar una lotería para pagar la obra ante el enorme sobrecoste de las sucesivas soluciones, cada vez más pesadas, que requerían reforzar lo ya construido.

Cuando, tras unos años de sequía, Candela recibió por concurso el encargo del Pabellón Olímpico de Ciudad de México para los Juegos de 1968, concluye que es demasiado grande para una lámina y lo cubre con una cuadrícula de arcos, usando paraboloides —de tubo de aluminio y tablero contrachapado

forrado de cobre— sólo como cerramiento. Desde 1960, con el paréntesis del gran pabellón de deportes, no vuelve a construir. Sigue con su labor docente en México, iniciada el año 1953 y que continúa hasta 1971, año en el que se exilia nuevamente, esta vez a Estados Unidos (cuya nacionalidad adquiere en el 1978), y continúa su labor docente en la Universidad de Illinois hasta 1981, en que se jubila. En sus últimos años, vive entre Raleigh (Carolina del Norte) y Madrid, y ya al final de su vida acaban colgándole la autoría de unos paraboloides, triste parodia de obras suyas de los años cincuenta, sin invención ni sentido, en el Oceanográfico de Valencia junto a las cafeteras galácticas de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Calatrava.

Su obra auténtica es la de los años cincuenta y está ligada a su actividad como 'constructor', término que se ha usado con frecuencia en relación con arquitectos o ingenieros cuya obra está muy enraizada en los procesos constructivos y se nutre de su profundo conocimiento del arte de construir. En el caso de Candela, el apelativo es literal, los construía él mismo, compitiendo además en precio. Las circunstancias que hicieron posible su aventura creativa —que duró exactamente once años, de 1949 a 1960, de los que en los dos primeros solo hay experimentos con formas que contaban con precedentes construidos en Europa— fueron aprovechadas por Félix Candela para desarrollar una actividad increíble. ¡En 1955 llegó a proyectar y construir 40 obras! No era el único que sabía hacer láminas, pero era el que las hacía; no necesitaba esforzarse en hacer formas sorprendentes, ya lo eran; y no intentaba ser más audaz o ingenioso de lo que era. Su obra tiene así la frescura de la naturalidad y de la originalidad no conscientemente buscada. De hecho, no hacía croquis, sino directamente planos con técnico, no especialmente atractivos como dibujos.

Para inaugurar en Sevilla una exposición itinerante sobre su obra organizada con motivo de su nombramiento como Doctor Honoris Causa por la Universidad Politécnica de Madrid, propuse como tema de la conferencia 'Los croquis de Candela'; esperando que, una vez decidido el tema, no tendría más remedio que darme algún croquis, o al menos dejármelo ver. No hubo manera. ¡Era verdad que no los hacía! Salí del paso dibujándolos yo mismo, naturalmente con permiso de Candela, al que le divirtió la idea. Entonces fui consciente de la dificultad de croquizar paraboloides a mano y en algunos dibujos tuve que explicar la insuficiencia de la representación diciendo que Candela dibujaba muy mal, (al final de la conferencia confesé al público la verdad).

La peripecia de Candela es la de una persona dotada de una inteligencia lúcida y poseedora de una considerable confianza en sí mismo, colocada en unas circunstancias socioeconómicas que hicieron posible el desarrollo de

una obra sorprendente y original, no por la invención de formas arbitrarias, sino todo lo contrario, por el uso inteligente de la forma tridimensional con la expresión analítica más sencilla en coordenadas cartesianas:  $Z = K \times y$ , (casi con el encanto del  $E = m \cdot c^2$  de Einstein).