

Materiales de Construcción para el siglo XXI

Nanotecnología aplicada a la Arquitectura /
Ernesto Ocampo Ruiz

Maestro en Arquitectura. Profesor del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura, UNAM



Granos moleculares de cobre nanoestructurado, con diámetros de 0.2 a 0.5 micrómetros, organizados en racimos y observados en un microscopio electrónico.

Foto: NanoPowders Industries (reproducción realizada con fines didácticos).

Por primera vez en la historia de la humanidad, el hombre tiene la capacidad de crear novedosos materiales constructivos a través de la ciencia de los materiales, cuyas propiedades asombrosas pueden ser predeterminadas de acuerdo con las necesidades particulares de cada problema. Una de sus técnicas, conocida como Ingeniería Molecular, permite crear materiales nanoestructurados con cualidades que la arquitectura del siglo XXI tratará de aprovechar para abatir, por ejemplo, los fuertes rezagos que hoy existen en materia de vivienda, mejorando sustancialmente el confort, la seguridad y la economía de la población.

Desde hace miles de años, la humanidad ha construido con los materiales que nuestro planeta naturalmente proporciona. Nos encontramos con magníficos ejemplos en la historia de la arquitectura de cómo estos materiales han sido utilizados, una y otra vez, con variaciones ingeniosas en su aplicación en componentes y sistemas constructivos. Todos ellos, incluidos aquellos materiales desarrollados después de la Revolución Industrial, hoy tradicionales en la arquitectura, siguen siendo desafortunadamente el único objetivo futuro de los constructores para resolver infraestructura y edificación.

Los materiales constructivos que actualmente utilizamos generan un gran daño ecológico, del cual somos responsables los encargados de diseñar y construir el espacio habitable. En el diseño y construcción de ciudades y conjuntos urbanos, el arquitecto destruye el hábitat natural establecido de organismos vegetales y animales, para construir sobre el terreno el edificio. Además, en el proceso de construcción generamos envenenamiento permanente del suelo con cal, cemento, ácidos, basura y cascajo. Entre más grande sea el desarrollo urbano en construcción, mayor será la generación de nubes densas de polvo, cal y tierra que se esparcirán sobre la zona vecina. Seguimos utilizando la madera para obra falsa y acabados generales, cuando sabemos que en el mundo se destruyen bosques completos, indiscriminadamente, que constituyen nuestra única fuente de supervivencia futura. Es importante evaluar si un cambio de sistemas constructivos, generado por nuevos materiales de edificación,

La ingeniería molecular permite crear nuevos materiales de construcción que, sin duda, traerán grandes cambios en la arquitectura del siglo que estamos iniciando. Ernesto Ocampo presenta algunas de las posibilidades que se vislumbran con su aplicación.

permitirán concretar mejores, más limpios y eficientes procesos constructivos. No podemos seguir dañando al planeta con nuestros materiales agresivos.

La arquitectura actual utiliza muy poco los materiales plásticos existentes de tipo mineral, vegetal o derivados de los hidrocarburos en la producción de componentes constructivos. El material predilecto y consentido de la industria de la construcción es el concreto armado, y en torno a él, se diseñan innumerables soluciones y sistemas constructivos en el mundo. Inicialmente, se consideraba que la razón más importante por la cual el plástico no se utilizaba en sistemas edificatorios, era su limitante costo. Pero los procesos actuales de industrialización permiten la obtención de objetos constructivos plásticos sumamente baratos y en volúmenes generosos. Si lo que requerimos es producción masificada de componentes constructivos, el plástico es una solución a corto y mediano plazo.

Mientras la arquitectura se ha rezagado paulatinamente, en cuanto a materiales constructivos se refiere, otras disciplinas se encuentran investigando nuevos materiales artificiales para industrializarlos y comercializarlos en aplicaciones de bajo costo.

La arquitectura ha tomado con demasiada cautela los nuevos descubrimientos en la investigación de materiales, y en muchos casos intenta mirar a lo que ya fue, en lugar de mirar hacia lo que vendrá. La arquitectura debe entrar en un nuevo periodo de investigación e industrialización para ganar el camino perdido.

La investigación de materiales es una disciplina nueva, principalmente resultado de la fusión de ciencias como la metalurgia y el estudio de los polímeros y las cerámicas. La investigación de materiales, vista como ciencia, estudia a todos los materiales conocidos por la humanidad. Aunque utilizada durante siglos de manera empírica, esta investigación fue reconocida como ciencia hasta la segunda mitad del siglo XX.

En la arquitectura actual no existen muchos investigadores en materiales que compitan ampliamente con los científicos de otras disciplinas. Es más, generalmente no se atiende la investigación de nuevos materiales y

sistemas constructivos como línea de investigación en nuestros posgrados. Inclusive son pocos los ejemplos de investigaciones experimentales en éste. Tradicionalmente se le ha dado más importancia a la investigación teórica y se ha abandonado la investigación aplicada.

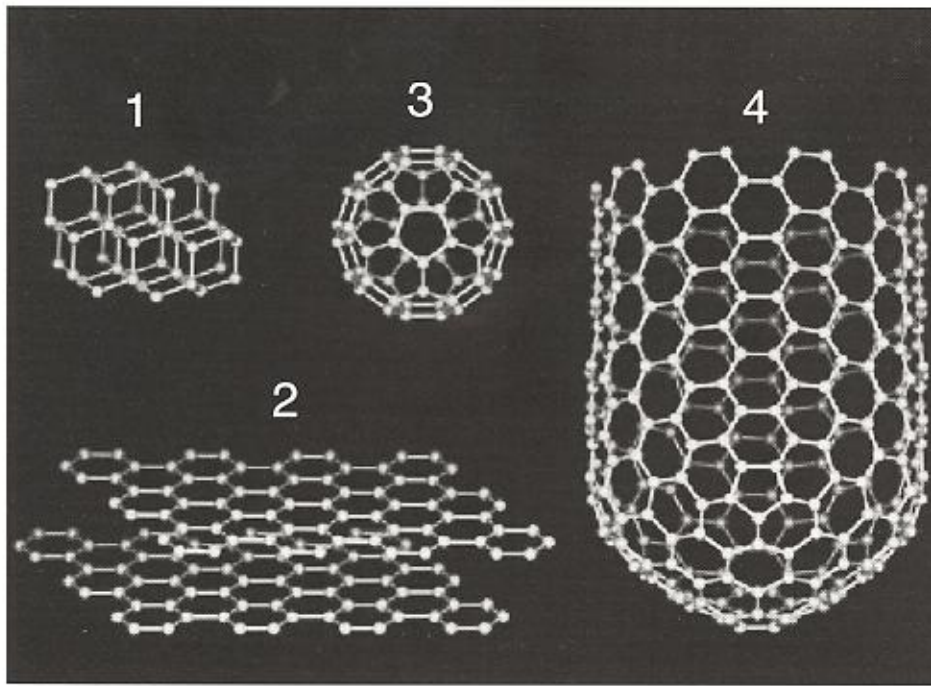
Actualmente, la investigación de materiales se basa fundamentalmente en la física molecular y en la fisicoquímica. La fusión de estos campos de conocimiento se conoce como Ingeniería Molecular, la cual ha permitido el desarrollo de la Nanotecnología.

¿Pero qué es la Nanotecnología? Se le puede definir como un conjunto de técnicas que permite manejar átomos y moléculas con absoluta precisión para construir estructuras microscópicas con especificaciones atómicas sumamente complejas y caprichosas. Se le da el prefijo Nano porque se trabaja a escalas nanométricas, donde una molécula común mide, por ejemplo, entre 2 y 5 nanómetros.

Producto de la capacidad del hombre por entender con la ciencia lo inmensamente grande y lo infinitamente pequeño, la Ingeniería Molecular tiene entre sus objetivos crear nuevos materiales constructivos jugando con su estructura molecular. Este es el caso de los materiales nanoestructurados. Se ha descubierto que de la estructura molecular de un material dependen las propiedades físico químicas que de ellos percibimos.

Un ejemplo lo encontramos en el carbono, que en la naturaleza generalmente se presenta en dos formas: el diamante y el grafito. La transparencia y dureza del primero contrastan con la fragilidad y obscuridad del segundo. Ambos son carbono puro, pero su diferencia estriba en la distinta organización molecular. A nivel nanométrico, el diamante es una estructura tridimensional rígida, mientras que el grafito consta de capas bidimensionales deslizables entre sí. Recientemente la Ingeniería Molecular ha permitido descubrir dos nuevas formas distintas posibles en la naturaleza para las moléculas del carbono: los fullerenos y los nanotubos. Ambos tienen propiedades asombrosas, resistentes y eléctricas, que se están estudiando.

¿Qué diferencia existe entre un material común y uno nanoestructurado? Se ha descubierto que todos los



Formas estables de carbono en la naturaleza. Hasta hace poco las únicas conocidas eran el diamante (1), con una estructura tridimensional rígida, y el grafito (2), con capas bidimensionales deslizables entre sí. Las dos formas descubiertas recientemente son el fullereno (3), de forma esférica, y el nanotubo (4), de forma cilíndrica y largo variable. Cada uno presenta propiedades distintas debido, evidentemente, a su diferente estructura molecular.

Foto de Ernesto Ocampo-Ruiz. Edición fotográfica.

materiales conocidos son susceptibles de nanoestructurarse. Se han hecho experimentos con el cobre y el oro donde se comprueba que mejorando su estructura molecular se obtienen mejores cualidades. Si comparamos dos cubos sólidos de cobre de un centímetro cúbico, el primero nanoestructurado y el segundo común, nos encontraremos que el cobre nanoestructurado puede llegar a resistir cargas cinco veces mayores que el cobre natural. Se puede modificar la resistencia a la fractura, la plasticidad, la elasticidad, el color, la transparencia, la resistencia a la corrosión, la reacción química, el comportamiento eléctrico y magnético, y la resistencia térmica y acústica de cualquier material nanoestructurado.

En un material normal sus moléculas están organizadas en granos con poblaciones típicas de millones de átomos con dimensiones granulares que oscilan entre micrómetros y milímetros de diámetro. En un material nanoestructurado los granos moleculares tienen un tamaño máximo de 100 nanómetros de diámetro y están conformados de decenas de miles de átomos solamente. La manipulación de tamaño y distancia entre las moléculas agrupadas, dentro de una distinta organización y estructura, permite el nuevo y singular comportamiento del material nanoestructurado.

El proceso más práctico y económico para crear materiales nanoestructurados en cantidades industriales es conocido como Síntesis Física de Vapor. El proceso expone a un material común a temperaturas superiores a su punto de fundición, propiciando una evaporación superficial de átomos, dentro de una atmósfera constituida por un gas especial, que son capturados en forma de cristales mediante un colector enfriado a bajas temperaturas. Los cristales resultantes son retirados del tubo colector y prensados para moldear cualquier tipo de objeto. Lo más importante de este proceso es que mediante el control del ritmo de evaporación, determinando el tipo correcto de gas y manejando adecuadamente su presión atmosférica, se pueden controlar las propiedades y características resultantes en cualquier material nanoestructurado.

¿Qué resultados importantes se han obtenido? Existen actualmente metales cuya resistencia es mayor a la

de sus contrapartes naturales. Se encontraron cerámicas que nunca se fracturan, sólo se deforman. Hay materiales que cambian de color dependiendo del espectro de luz que se aplique a su superficie, y se vuelven en algunos casos totalmente transparentes.

Se han hecho pruebas exitosas con todo tipo de sólidos tradicionalmente opacos para convertirlos en transparentes. Entre ellos, ciertos metales y algunas cerámicas. Un material se ve transparente cuando no absorbe ni difracta fuertemente la luz. La absorción es un fenómeno natural que no se puede manipular y depende completamente del material en cuestión, sin embargo, la difracción puede ser modificada de acuerdo con la forma en que el material es preparado. Dentro del material, los racimos granulares que lo conforman están separados por cierta distancia natural. Si se acercan estos racimos de forma que la distancia entre ellos sea igual o menor que la longitud de onda más corta de la luz visible (400 nanómetros), entonces el material se verá transparente. El proceso de fabricación de materiales nanoestructurados permite que podamos reducir eficientemente esa distancia mediante la obtención de granos más finos prensados fuertemente.

De esta forma, existen ya varios posibles candidatos para sustituir al vidrio laminado en la industria (dióxido de silicio con impurezas). El más conocido y comercializado es el ALON, constituido principalmente de oxinitruro de aluminio, que es una cerámica policristalina transparente de alta dureza (por lo menos cuatro veces más que el vidrio) y excelente resistencia térmica, superior a 1000°C. Es un aislante natural de las radiaciones infrarrojas (recordemos que el sol es la principal fuente de esta radiación), pues su coeficiente de transmisión se extiende desde 0.2 micrómetros del ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta 6.0 micrómetros del infrarrojo, y es 30% más ligero y 40% menor en espesor que su contraparte en vidrio laminado. Se le usa principalmente para blindajes en comercios e industrias, y en ventanas y caretas en la industria militar y aeroespacial. Es conocido popularmente como "Aluminio Transparente".



Se encontró recientemente que los antiguos mayas usaban resistentes pigmentos con óxido de hierro nanoestructurado obtenido y procesado con técnicas rudimentarias y materiales del lugar. Las "impurezas" de óxido de hierro nanoestructurado le dan la resistencia necesaria a la pintura azul para soportar sin decolorarse 13 000 años de antigüedad. Foto de *Science Magazine* (reproducción realizada con fines didácticos).

Curiosamente, al comprender el hombre el comportamiento de los materiales nanoestructurados, ha descubierto algunos secretos de nuestro pasado. Se encontró recientemente que los antiguos mayas usaban resistentes pigmentos nanoestructurados que nos permiten disfrutar, a mil trescientos años de distancia, de espléndidos murales tales como los ubicados en Cacaxtla.

Se sabe que esta pintura difiere de sus contrapartes europeas y asiáticas en que no tiene una base de cobre o de lapislázuli, ya que está conformada de índigo o añil comunes en la América precolombina. Se encontró que la mezcla de poligorskita y el índigo, mezclados químicamente a temperaturas no mayores de 150°C en el momento de su fabricación, produjeron pequeñas impurezas de óxido de hierro nanoestructurado. Estas impurezas siempre han sido desestimadas en otros análisis por representar menos del 0.5 % de la muestra. Sin embargo, conociéndose actualmente las características singulares ópticas de los materiales nanoestructurados, se ha comprobado que son estas "impurezas" las que le dan efectiva resistencia y permanencia del color. A bajo costo y con técnicas rudimentarias, pequeñas dosis de material nanoestructurado permiten pintura resistente a las condiciones extremas típicas de los bosques tropicales, y persistente durante 1300 años de antigüedad.

El arquitecto José Villagrán mencionó acertadamente en su momento, que el encontrar un nuevo procedimiento constructivo o descubrir un nuevo material, modificaría definitivamente todo concepto formal o funcional de un espacio, e inclusive, dependiendo del hallazgo, de toda nuestra definición general de archi-

tectura. En un momento determinado, toda arquitectura concebible se vería influida por el descubrimiento de un nuevo y extraordinario material. Recordemos lo sucedido en la arquitectura de cada época con la aparición del tabique de barro, el vidrio, el mortero, el hierro colado, el acero, y el concreto armado. Al analizar lo anterior descubrimos en Villagrán a un visionario, que con su interpretación personal de la arquitectura nos ha acercado a la comprensión de una realidad palpable próxima a ocurrir en el siguiente milenio.

En el siglo XXI, la arquitectura cambiará en función de estos nuevos materiales y podremos pensar entonces en maravillosas e insólitas soluciones constructivas. En un futuro mediano, podríamos pensar prospectivamente en edificios construidos con materiales nanoestructurados cinco veces más altos o soportando cargas cinco veces mayores, cuyas secciones estructurales fueran más esbeltas, y que ante un sismo no se fracturaran. Imaginaríamos edificios cuyas paredes y pisos cambiaran gradualmente de color conforme el espectro lumínico variara. Pensaríamos, entonces, en muros y cancelas divisorios que fueran transparentes en el día, y opacos en la noche. Tendríamos pinturas y recubrimientos resistentes cuyos colores no se degradarían en décadas. Pensaríamos en metales y cerámicas transparentes e irrompibles que sustituyeran al peligroso cristal en las ventanas.

Pienso que en la medida en que el arquitecto se adentre en la investigación de materiales y, en especial, se interese por los materiales modernos y vanguardistas, tomando su verdadero papel protagónico en el desarrollo de sus propios materiales, estaremos creando un nuevo y muy diferente concepto de arquitectura. En ese momento, estoy seguro, la expresión bivalente forma función, de la cual nos hablaba Villagrán, nos mostraría distintos y sorprendentes resultados. Pero lo que puede ser aún más importante es que romperíamos con esquemas y materiales, ya obsoletos, que hemos utilizado durante más de cinco mil años. La ciencia y la técnica son nuestra herramienta. El futuro de la arquitectura y la población nos esperan. ☺