

## artículos

EDIFICIOS (MUY) ALTOS:  
LOS RASCACIELOS

Alfredo Cilento Sarli

## RESUMEN

El desarrollo de estructuras de hierro y acero significó el inicio de un progresivo proceso de crecimiento en altura de las edificaciones. La especialización de zonas de las ciudades, particularmente en las ciudades americanas, como áreas reservadas a los negocios, y la aparición de edificios de oficinas, junto al crecimiento de los precios de los terrenos, prepararon las bases para el desarrollo de una nueva tipología de edificios altos: el rascacielos. Los nuevos conocimientos científicos, avances técnicos en la construcción, nuevos materiales, accesorios y equipos, así como los requerimientos derivados del desarrollo del aparato productivo, motorizarán el desarrollo de la tecnología de edificios altos. Ese proceso de cambio técnico se revisa en este artículo.

## ABSTRACT

*The development of iron and steel structures meant the beginning of a progressive process of growth in the height of the buildings. The specialization of areas of the cities, particularly in the American cities, as reserved areas to the business, and the appearance of the office building, just as the increment of the prices of urban land, prepared the bases for the development of a new type of high buildings: the skyscraper. The new scientific knowledge, the technical advances in construction, new materials, accessories and equipment, as well as the derived requirements of the development of the productive sector, will motorize the development of the technology of tall buildings. That process of technical change is revised in this article.*

## INTRODUCCIÓN

La evolución en altura de las edificaciones, a partir de la introducción de las estructuras de acero, puede ilustrar cómo, a lo largo de la historia, el proceso de innovación en la construcción ha estado condicionado, por el lado de la oferta, por la aparición de nuevos conocimientos científicos y técnicos, nuevos materiales, nuevos equipos y artefactos; y, por el lado de la demanda, por las nuevas necesidades derivadas de la evolución del entorno socioeconómico y político, por los requerimientos del desarrollo del aparato productivo, por exigencias ambientales; y también por las ambiciones y vanidades de individuos e instituciones públicas y privadas, que llevaría a la competencia, que dura hasta hoy, por construir el "edificio más alto del mundo".

El análisis del desarrollo del **skyscraper** –el **rascacielos**– es un buen ejemplo para ilustrar ese proceso de evolución tecnológica que permitió a los seres humanos alojarse, trabajar y divertirse, dentro de estructuras artificiales, al nivel de las nubes: el sueño de L. S. Buffington. Éste era un joven arquitecto de Minneapolis, que había soñado con estructuras de esqueleto de acero desde 1880, inspirado en escritos de Violet le Duc, que varios años antes había señalado que "Un arquitecto práctico no podría concebir forzosamente la idea de erigir un gran edificio cuya estructura fuese enteramente de hierro, recubriendo y preservando ese esqueleto por medio de un envoltorio de piedra". Buffington, inspirado en esa lectura, soñó con edificios de veinte, treinta, cincuenta e incluso centenares de pisos, e hizo fantásticos croquis, de los que llamó **cloud-scrapers**, es decir, "rascanubes". Inclusive hizo "cálculos de

ILUSTRACIONES DEL ARO. RAMÓN LEÓN

## DESCRIPTORES:

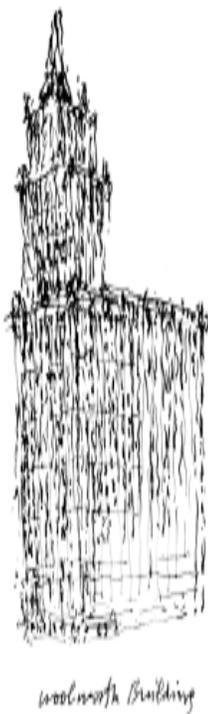
Construcción; Innovación; Rascacielos; Cambio técnico.

ingeniería”, como cuán resistentes debían ser las columnas para esos edificios, con varias alturas.<sup>1</sup>

El origen de la “tipología” del rascacielos puede encontrarse en las condiciones particulares de la formación de las ciudades americanas: la reagrupación de las fuerzas y medios de producción sobre ciertos puntos del territorio; la extrema concentración urbana; la especialización de una zona de la ciudad reservada a los negocios (oficinas); y la aplicación de las reglas de la economía del *laisser-faire* a la construcción. Todo ello permitió que rápidamente la especulación inmobiliaria impusiera las normas de una utilización máxima del terreno y, entonces, se originó un problema sin precedentes que sería atenuado por la aparición de un nuevo tipo constructivo utilitario.<sup>2</sup>

Louis Sullivan, a quien se señala como “el inventor del rascacielos” anotaría con gran claridad: “No es mi objetivo hablar de las condiciones sociales, yo las acepto de hecho y señalo, de todas formas, que el diseño de un edificio de oficinas de gran altura debe ser reconocido y discutido por todos como un problema a resolver

—un problema vital que requiere una verdadera solución. Hablemos de condiciones de la manera más simple. Sin entrar en detalles ellas son: las oficinas son necesarias para las transacciones comerciales; la invención y el perfeccionamiento de ascensores de gran velocidad permiten las circulaciones verticales que serían de otra manera fatigantes y ahora son fáciles y confortables; el desarrollo de la fabricación del acero ha indicado el camino para modos de construcción seguros, estables, económicos y que Xeeden atender una gran altura; el crecimiento continuo de la población en las grandes ciudades, la congestión resultante en los centros y el aumento en el valor del suelo, provocan el crecimiento del número de pisos... Así hemos llegado a esa forma de construcción alta llamada “el edificio moderno de oficinas”. Hasta aquí



todo es materialista, sin titubeos, manifestación de fuerza, de poder de resolución, de cerebro en el sentido lógico de la palabra. Esto es la producción conjunta del especulador, el ingeniero y el constructor”.<sup>3</sup> Según Sullivan, la conjunción de los tres actores citados permite la construcción de rascacielos, y “el arquitecto interviene, suplementariamente, en el rol de transfigurar el producto híbrido del promotor-constructor”.

Cuando uno de mis compañeros investigadores del IDEC-UCV supo que estaba revisando la literatura y escribiendo sobre los rascacielos me hizo una sencilla pregunta: ¿Para qué?; yo le contesté: porque “me da nota”, lo cual es totalmente cierto. Pero, la verdad es que este ensayo es parte de un estudio más largo y completo, sobre el proceso de innovación en la construcción, que espero terminar a finales del 2000, como un aporte a la Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción que dicta el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, IDEC-UCV.

En este artículo se revisan algunos de los antecedentes más importantes que permitieron la aparición del rascacielos, así como varias de las innovaciones que la tecnología de construcción de edificios altos (*tall buildings*) ha motorizado en la industria de la construcción a lo largo del siglo XX.

Las ilustraciones de Ramón León complementan con maestría el lenguaje técnico del texto.

## ESTRUCTURAS DE HIERRO Y ACERO

Los primeros utensilios de hierro, descubiertos en exploraciones arqueológicas en Egipto, datan del año 3000 a.C. Los griegos, hacia el 1000 a.C., ya conocían las técnicas más complejas para “templar” el hierro mediante el fuego. Todas las aleaciones de hierro producidas hasta el siglo XIV corresponden a lo que conocemos como **hierro forjado**, cuya producción se hacía fundiendo una masa de mineral de hierro con carbón, en un horno o forja de tiro forzado. Con este procedimiento se reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico, que contenía una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas que, mientras permanecía incandescente, se golpeaba con pesados mar-

<sup>1</sup> Starret W. A. “The first skyscraper” (1928). En: Munford L. *Roots of Contemporary American Architecture*, pp. 237-238. Reinhold, 1952.

<sup>2</sup> Weisman, W. «A New view of Skiscraper history» in: *The rise of an American architecture*. Praeger, 1970.

<sup>3</sup> Sullivan, L. H. 1947. “The tall building artistically considered”. *Kindergarten, Chats and other writings*. Wittenborn.

tillos a fin de consolidar el hierro y expulsar la escoria. Accidentalmente, esta técnica en ocasiones producía auténtico **acero** en lugar de hierro forjado. Los herreros aprendieron a fabricar acero horneando hierro forjado y carbón vegetal durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero.

Uno de los rasgos más sobresalientes de la revolución industrial fue, justamente, la expansión de la industria del hierro, con sus numerosos usos, tanto en la guerra como en la paz. La difusión de la técnica de fundición al coque, permitió el funcionamiento de grandes altos hornos en las cercanías de las minas de carbón inglesas. El **hierro colado**, que había sido usado por primera vez en la construcción de puentes por Abraham Darby, en 1779, en la construcción del famoso puente sobre el Severn,<sup>4</sup> en Coalbrookdale, estaba sustituyendo a la mampostería. Primero, en lugar de las columnas, luego sustituyendo las vigas de madera y también a los marcos de las ventanas en edificios.

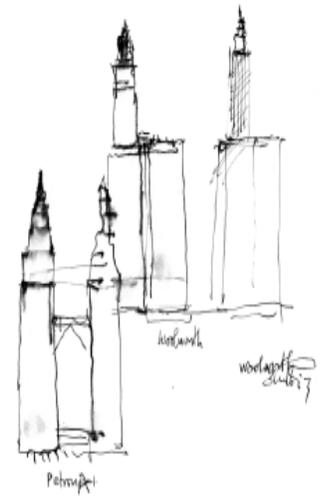
En la primera mitad del siglo XIX no sólo se construyeron, con hierro colado, estructuras de edificios fabriles sino de tiendas y oficinas, como lo hizo James Boggardus en Nueva York, en edificios en los que diferenció la estructura portante de hierro fundido de los cerramientos. La producción de hierro se incrementó sustancialmente cuando, en 1784, fue posible transformar el arrabio en hierro forjado gracias al **proceso de pudelación**. En efecto, en 1783-84 se produce una importante innovación en el uso del hierro cuando el procedimiento de pudelado, introducido por H. Cort, permitió obtener hierro forjado a partir de hierro fundido, mediante la descarburación del arrabio.

Aunque entre 1836 y 1850 se fabricaban perfiles laminados U, T, doble T, etc., el uso del acero como material de construcción competitivo se debió a los procedimientos de refinado del arrabio, mediante chorros de aire, de Bressemer (1855) y Siemens (1859), que permitieron producir lingotes de gran tamaño, que podían ser laminados en forma de perfiles muy resistentes, lo cual impulsó la enorme difusión del acero como material estructural.

El uso del hierro colado había llegado a su máxima expresión, en 1850, con la construcción del Palacio de Cristal de Joseph Paxton<sup>5</sup> en Hyde Park, Londres, que había sido concebido como una estructura reusable para

la primera Feria Mundial de 1851. En esta magnífica construcción se usaron unas 4.500 toneladas de columnas y cerchas normalizadas de hierro colado y de hierro forjado, en la que Paxton usó el hierro forjado solamente en las piezas sometidas a tensión. El edificio de 564 metros de largo fue erigido en 17 semanas bajo un sistema de gerencia de construcción (**construction management**) del tipo que en el IDEC-UCV hemos denominado de "proyecto-construcción". En esencia, la estructura fue construida con cerchas prefabricadas, con un espacio entre columnas de 24 pies (7,3 m) o un múltiplo de esa distancia, siendo el techo instalado al mismo tiempo que las paredes exteriores estaban siendo colocadas. El hecho de que las paredes no fueran necesarias para soportar la edificación, vino a ser el origen de la construcción tipo **curtain wall**, usada en todos los edificios altos modernos. Cuando la feria llegó a su fin, el Palacio de Cristal fue desensamblado, como había sido previsto en su diseño, y fue reerigido al sur de la ciudad, en Sydenham, donde funcionó por 80 años como centro de actividades culturales y recreacionales. En 1936, el edificio, con su contenido inflamable, cogió fuego y se incendió totalmente; sin embargo, "la influencia del Crystal Palace sobre la arquitectura, la ingeniería y los sistemas constructivos en general dura hasta el presente".<sup>6</sup> Su equivalente en París fueron las Halles Centrales, el famoso mercado de mayor de París, reconstruido por Haussmann para Napoleón III, en hierro y cristal, con proyecto de Víctor Baltard en 1853,<sup>7</sup> en el mismo lugar donde hoy se encuentra el deslucido centro comercial llamado Forum des Halles.

La Revolución Industrial no sólo había introducido tremendos cambios en los procedimientos de construcción, sino que facilitó el incremento, tanto de la demanda como de la oferta, de nuevas y más complejas construcciones, alterando definitivamente la estructura urbana y apariencia de las ciudades. Muchos de los avances



<sup>4</sup> Este puente, el Iron Bridge, fue el único puente sobre el río Severn en sobrevivir a la gran inundación de 1795, lo que enfatizó la esperanza del hierro como material para construcción de puentes.

<sup>5</sup> Paxton era un jardinero que había construido varios invernaderos, y fue seleccionado para la realización de la obra, después de realizarse concursos y proposiciones que no llegaron a nada. El proyecto y la construcción se ejecutaron contemporáneamente por el hecho de haber separado la estructura portante de los cerramientos, lo que permitió comenzar a producir los componentes mientras se completaba el proyecto.

<sup>6</sup> Petroski, H. 1996. *Invention by Design*, Harvard University Press, p.193. El exitoso sistema constructivo SIEMA, desarrollado por el IDEC-UCV (edificaciones del Banco del Libro y del Instituto de Ingeniería de la USB en Caracas), es un buen ejemplo de esa influencia.

<sup>7</sup> En 1843, Baltard había proyectado un pabellón de piedra, que se construye parcialmente, pero resulta inutilizable, por lo que Haussmann lo demuele y obliga a Baltard a realizar otro proyecto en hierro.

e innovaciones de la ingeniería, en la segunda mitad del siglo XIX, se pueden seguir a través de las exposiciones universales, que se celebraron de 1851 en adelante.

En 1867, la segunda exposición universal de París se organiza en el Campo de Marte, en un edificio provisional de forma oval, compuesto por siete galerías concéntricas. La Galería de las Máquinas es la más exterior, tiene una luz de 35 metros, formada por armaduras metálicas producidas en el taller del joven ingeniero Gustave Eiffel. En construcción, las innovaciones más llamativas son el **ascensor hidráulico** presentado por L. Eydoux, y las cajas de **concreto armado** de J. Monier,<sup>8</sup> patentadas justo ese año.<sup>9</sup> En 1873, en la Exposición Universal de Viena, el edificio central es obra del arquitecto inglés Scott Russell, con una inmensa cúpula con radio de 102 metros.<sup>10</sup>

En 1889, la Exposición de París, nuevamente en el Campo de Marte, que conmemora el centenario de la toma de la Bastilla, incluye también una Galería de las Máquinas y la famosa torre del Trocadero, de 300 metros de altura, de Gustave Eiffel. La Galería de las Máquinas, proyecto de Ch. Dutert, abarca un enorme espacio de 115 por 420 metros, sostenido por arcadas de cerchas de hierro de tres articulaciones, que cubren la luz transversal sin apoyos intermedios (un espacio tan grande como el del Palacio de Cristal, de 38 años antes); este magnífico edificio fue demo-

lido, lamentablemente, en 1910. La Galería de las Máquinas cubre un espacio tan vasto, que se tienen que instalar dos puentes móviles que corren, a media altura, a lo largo del edificio, para transportar a los visitantes por encima de las exhibiciones.

La Torre Eiffel, símbolo de París, de hierro forjado, colocada sobre un base maciza de concreto armado, fue conformada con 12.000 piezas principales prefabricadas. Eiffel utilizó en

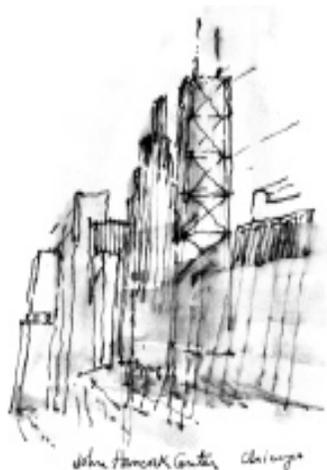
su construcción 7.300 toneladas de hierro forjado, que prefirió al acero por su mayor rigidez; y el diseño de la misma fue concebido para resistir las fuerzas del viento. Con la construcción de la torre, Eiffel concluye su actividad como constructor de estructuras metálicas. En 1887, Eiffel recibe el encargo del Canal de Panamá, que lo absorberá hasta 1893.<sup>11</sup>

## ELECTRICIDAD Y ASCENSORES

Para la Gran Exposición de Nueva York de 1853, el ingeniero James Bogardus, a quien he mencionado antes, propuso (y le fue rechazada) la construcción de una torre de 100 metros de alto que podía transportar los visitantes hasta el tope mediante un **elevador a vapor**. Para aquel momento los elevadores eran usados sólo para carga, eran operados con energía hidráulica (ascensores de pistón), y no era extraño que un cilindro hidráulico se fracturara y dejara caer carga y acompañantes desde varios pisos. Lo que cambiaría la percepción acerca de los elevadores, e impulsaría su difusión, fue la demostración de un sistema de freno (o seguro), hecha por un contemporáneo de Bogardus, Elisha Otis, en la misma Exposición de Nueva York que había rechazado su torre. La construcción de edificios altos no hubiera podido ser factible de no ser por la consagración del invento de Otis que inmediatamente llevará al **ascensor con dispositivo de seguridad**, patentado en 1854.

En los primeros ascensores, una máquina de vapor, mediante correa y engranajes, hacía girar un tambor en el que se enrollaba la cuerda de izado. En la década de 1870, C. W. Baldwin introdujo el ascensor hidráulico de cable y engranajes, en el que un pistón corto movía el cilindro, multiplicándose la longitud de la apertura efectiva del pistón, mediante un sistema de cuerdas y poleas. El ascensor hidráulico de pistón tenía una clara limitación de altura; sin embargo, el famoso **Flatiron Building** de Nueva York de Daniel Burnharn, terminado en 1902, de 20 pisos —el más viejo edificio alto de Nueva York— tuvo elevadores hidráulicos funcionando hasta las últimas décadas del siglo XX.

En 1853, C. Latimer Clark desarrolla un sistema de transporte de documentos por tuberías conductoras mediante el uso del vacío y, en 1858, C. F. Valery introduce



<sup>8</sup> El señor Monier era un jardinero, que inventó el concreto armado fabricando potes para sembrar matas de naranja, utilizando un mortero de cemento y mallas de alambre: la técnica del ferrocemento o mortero armado.

<sup>9</sup> Benévolo L. 1963. *Historia de la Arquitectura Moderna*, vol. 1. Taurus Ediciones, Madrid, p. 159.

<sup>10</sup> *Ob. cit.*, p. 158.

<sup>11</sup> *Ob. cit.*, pp. 164-169.

el **correo neumático** con el uso del aire comprimido, lo que facilitará la distribución de documentos en los edificios de oficinas y factorías. El correo urbano se beneficiará también de este sistema. En 1868 se instala una red de tuberías neumáticas en París, de trazado circular, que funcionará distribuyendo correspondencia y documentos hasta 1984.

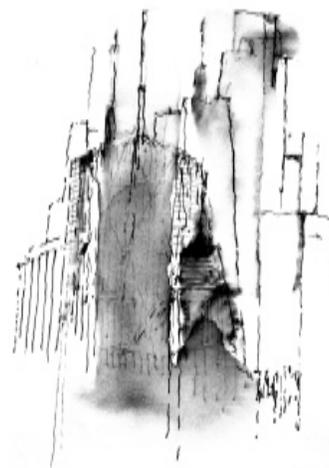
En 1876, Alexander Graham Bell descubre que la voz se puede transmitir usando corriente continua e inventa el **teléfono**, que es presentado al mundo en la Exposición del Segundo Centenario de Filadelfia (1882); y, al año siguiente, organiza la pionera compañía telefónica, la Bell Telephone.

En 1869, Thomas Alva Edison perfecciona la **dinamo**, que permitirá distribuir la electricidad; en 1879 patenta la **bombilla eléctrica**; y en 1882 instala, en Nueva York, la primera gran central eléctrica del mundo. En 1888, Nicolás Tesla desarrolla el **alternador** y el primer sistema práctico para transmitir corriente alterna, cuyos derechos son adquiridos por el ingeniero e industrial George Westinghouse, quien mostró el sistema por primera vez en la **World Columbian Exposition** de Chicago, en 1893.

En 1880, Werner von Siemens había introducido el **ascensor de motor eléctrico**, en el que la cabina, que sostenía al motor por debajo, subía mediante engranajes de piñones que accionaban en rieles colocados a los lados del pozo del ascensor. Las limitaciones de espacio y las dificultades de fabricación impidieron que se utilizara el mecanismo de tambor en los rascacielos, puesto que la longitud de la cuerda y el tamaño del tambor necesario, limitaban la altura a la que se podía subir. Las ventajas del ascensor eléctrico (costos de instalación relativamente bajos, velocidad casi constante, independientemente de la carga, y alto rendimiento) pudieron ser aprovechadas, en los edificios altos, cuando se introdujeron los contrapesos para ejercer tracción sobre las poleas operadas eléctricamente, lo cual eliminó la restricción impuesta por el tamaño del tambor.

Con los avances en los sistemas electrónicos, que se produjeron durante la II Guerra Mundial, se incorporaron computadoras para controlar el tráfico de los ascensores en los grandes edificios. Los cambios

más importantes ocurridos desde entonces, en la tecnología de ascensores, tienen que ver con la programación del tráfico, los dispositivos automáticos de seguridad, y el incremento de la velocidad para aumentar el rendimiento; pero, en cuanto a la forma y requerimientos estructurales y de espacio, ha habido pocas innovaciones en la práctica.



## LOS RASCACIELOS: DE 1880 A 1960

**Los primeros rascacielos.** La electricidad, el ascensor, el teléfono, el correo neumático facilitan enormemente el funcionamiento de oficinas, hoteles, almacenes, en edificios de cualquier tamaño y número de pisos, lo que permitirá el nacimiento de un tipo de edificios muy altos: el rascacielos (**skyscraper**).<sup>12</sup> La producción de acero barato impulsó definitivamente la construcción de rascacielos, al principio como respuesta al incremento de la densidad en los congestionados centros de las ciudades, afectados por el incesante aumento del precio de los terrenos, tal era el caso de Chicago y Nueva York; y luego por otras razones y expectativas, como veremos más adelante.

En 1871 se produjo el "gran incendio de Chicago", ciudad de unos 300.000 habitantes, construida en su mayor parte de madera, en la que 17.450 edificaciones fueron destruidas en el centro de la ciudad.<sup>13</sup> Su reconstrucción se inicia con temor a nuevos desastres, pero los nuevos materiales disponibles, distintos a la madera, como el hierro colado, el hierro forjado y finalmente el acero, la impulsarán con gran energía, de 1880 en adelante; así, cada vez comienzan a ser construidas estructuras más altas, a medida que el precio de la tierra asciende por escasez. En ese período la población de Chicago se duplicó y los precios de la tierra subieron brutalmente de \$130.000 a \$900.000 por cuarto de acre.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> La palabra "rascacielos" proviene, según Lewis Mumford, del puerto de Nueva York. La vela más alta de un *clipper* (buque de vela) se llamaba así.

<sup>13</sup> La ciudad se establece como tal en 1830 y se construye desde el principio usando la técnica llamada *balloon frame*, inventada por G. W. Snow, quien introduce "entramados de madera" que sustituyen las tradicionales estructuras con base en vigas, viguetas y columnas de madera. El *balloon frame* fue posible por la invención de la máquina de fabricar clavos, que simplificó al máximo la construcción de entramados.

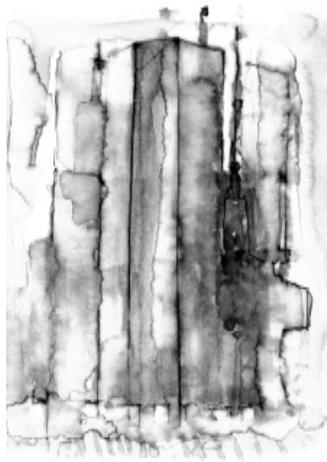
<sup>14</sup> Un acre equivale a 4.046,86 m<sup>2</sup>.

Entre 1884 y 1885, William Le Baron Jenney<sup>15</sup> construye **el primer rascacielos** del mundo. El Home Insurance Building (demolido en 1931), un edificio de diez pisos (dos pisos más se le agregaron posteriormente) en el que por primera vez se empleó una estructura de esqueleto metálico, con columnas de hierro colado y vigas de acero que soportaban las losas, y con paredes independientes de la estructura, lo que constituirá el arquetipo constructivo del rascacielos. En 1889, Burnham y Root diseñan y construyen el **Rand-McNally Building**, la primera estructura de esqueleto de vigas y columnas de **acero laminado**, construida con perfiles normales de acero remachados, como los usados en puentes.

Los primeros edificios altos combinaban entrepisos de hierro forjado con fachadas de hierro colado, cargados sobre muros de mampostería, como el caso del edificio **Pulitzer**, de catorce pisos, construido en Nueva York en 1890; pero, en la planta baja, donde el espacio era más valioso, los muros tenían casi tres metros de espesor, ocupando a veces más del 50% del espacio, lo que era un factor económico negativo. En 1890, Le Baron Jenney con el **Manhattan Building** llega a los dieciséis pisos por primera vez en el mundo; y, entre 1889 y 1892, Burnham y Root construyen en Chicago el **Monadnock Block**, también de 16 pisos, con paredes de mampostería de ladrillo. También diseñan y construyen, entre 1890 y 1892, el **Masonic Temple**

(o **Capitol Building**), con 21 pisos, de estructura de acero sobre fundaciones flotantes extendidas, que entonces sería descrito como el edificio más alto del mundo y "una de sus siete maravillas".<sup>16</sup>

Uno de los más bellos rascacielos de Chicago será el **Reliance Building**, de 16 pisos, iniciado también por Burnham y Root, terminado en 1895 por Charles Atwood y el ingeniero E. C. Shanks, tras la muerte de Root.



La armazón metálica del **Reliance** permitió una magnífica fachada con quiebres, entrantes y salientes, que aumentó la superficie de ventanas, permitiendo la entrada de más luz, para el ahora muy importante trabajo de oficina, que la requería en gran cantidad. El sistema de ventanas era revolucionario, cada piso era una banda continua de **Chicago windows** (como comenzaron a ser llamadas) compuestas de un paño fijo, flanqueado por ventanas más pequeñas de guillotina, lo que permitía abundante entrada de luz y aire. El **Reliance Building** fue incluido en 1970 en la lista del Patrimonio Histórico Nacional de EE UU.

Pero, cuando en 1894 se iniciaron los primeros grandes edificios en Nueva York, se revelaron los dos problemas básicos, adicionales al del transporte vertical de bienes y personas, para la construcción de este tipo de edificios: la necesidad de fundaciones profundas de concreto, con grandes dificultades para la excavación y vaciado de concreto; y la necesidad de arriostrar las estructuras, con piezas metálicas suplementarias y otros componentes estructurales, para resistir los fuertes vientos, lo cual dará inicio al estudio, investigación y desarrollo de una nueva **tecnología de edificios altos**.

En 1902, W. H. Carrier patenta un **sistema de aire acondicionado** que será una innovación clave que permitirá resolver el problema de la ventilación en los edificios de gran altura, dificultada severamente por la imposibilidad de mantener las ventanas abiertas debido a los efectos del viento y la lluvia. Entonces, desde el inicio del siglo XX, los edificios comienzan a ser cada vez más altos y más sustentados desde el punto de vista constructivo y de habitabilidad.

**Woolworth Building.** Entre 1909 y 1913, el edificio más alto del mundo lo sería la conocida **Metro-politan Life Insurance Tower** de Nueva York (N. LeBrun e hijos), de 213 metros de altura, que incluye una cúspide piramidal, cúpula y linterna.<sup>17</sup> Pero, en 1913, se termina uno de los más notables rascacielos de inicios del siglo: el **Woolworth Building** de Nueva York, de Cass Gilbert, de 241 metros de altura; este edificio será una referencia neogótica que combina el uso de un sistema estructural del siglo XX, adornado con detalles del siglo XVI, lo que establecerá una estética exitosa para los primeros rascacielos de Nueva York y también de Chicago.

<sup>15</sup> W. Le Baron Jenney es un ingeniero formado en la *École Polytechnique* de París, y fue Comandante de Ingenieros del ejército en la guerra de Secesión.

<sup>16</sup> Derry y Williams. 1977. *Historia de la tecnología. Desde 1750 hasta 1900*, Vol. 1. Siglo veintiuno editores, pp. 604-605.

<sup>17</sup> Esta torre será una evocación del *Campanile* de la Plaza de San Marcos de Venecia, que había colapsado en 1902, lo cual revelará el rol simbólico creciente de los rascacielos.

Varios de los pisos del edificio estaban en realidad bajo el nivel de la calle, llamando la atención sobre el primer problema encarado en el diseño de tales estructuras. Unas fundaciones que puedan soportar el inmenso peso del edificio, sin asentamientos diferenciales, son esenciales para una estructura estable que no se incline o agriete con el paso del tiempo. El *Woolworth* requirió fundaciones construidas a más de 30 metros de profundidad, con grandes problemas de excavación, entibado y vaciado de concreto. En contraste, los problemas presentados en el interior del edificio, también eran totalmente nuevos para los primeros años del siglo XX. Esto incluía las instalaciones mecánicas y eléctricas, incluso fue el primer edificio con planta eléctrica propia, capaz de producir electricidad para satisfacer las necesidades de una pequeña ciudad. Como parte de la ceremonia de inauguración, el Presidente Woodrow Wilson, desde la Casa Blanca en Washington, con un interruptor, encendió simultáneamente las 80.000 bombillas del rascacielos.<sup>18</sup>

El *Woolworth Building*, con sus 26 elevadores, también ilustra el conflicto del espacio ocupado por los ascensores en relación con el espacio útil de oficinas, que será uno de los factores básicos limitantes de la viabilidad económica de la construcción de rascacielos. En efecto, como veremos más adelante, entre más altos los edificios mayor espacio consume el núcleo técnico, formado por el hueco de los ascensores, escaleras, ductos y cuartos técnicos, sanitarios y otros requerimientos estructurales y funcionales, lo cual reduce sustancialmente el área neta aprovechable o vendible y, obviamente, afecta su rentabilidad.

*Chrysler Building.* El *Woolworth* permaneció como el edificio más alto del mundo hasta 1930, cuando el Art Deco-*Chrysler Building*, de William van Alen, una estructura de acero, ladrillo y acero inoxidable, alcanzó la altura de 319 metros. Los edificios altos ya se habían convertido en ambiciosos símbolos de prestigio, en este caso del magnate del automóvil Walter Chrysler. En su edificio, el rasgo más distintivo será el ápice o espira, formado por una serie de arcos metálicos acentuados por ventanas triangulares, inspirado en la "parrilla" niquelada del automóvil Chrysler. La espira está revestida con *Nirosta*, una combinación de acero cromo-níquel, seleccionada por su bajo mantenimiento. Su uso no tenía precedentes, previamente sólo el cobre, el plomo y el bronce podían resistir el desgaste, pero esos

materiales no eran suficientemente sólidos como para ser usados extensivamente en el *Chrysler*.<sup>19</sup> Van Alen había ensamblado secretamente la espira, que mantenía escondida dentro del edificio, y sorpresivamente la elevó para colocarla en su sitio, en una sola pieza de 25 ton, para superar por apenas dos pies, la altura del edificio del Banco de Manhattan que estaba siendo construido al mismo tiempo, y con el que, en los mismos días, se había establecido una fuerte competencia por lograr la mayor altura.

*Empire State Building.* Pero el récord de altura del *Chrysler Building* duró sólo un año, pues el *Empire State Building*, con 381 metros de alto, se terminó en 1931 y, como el *Crystal Palace*, fue un modelo de proyecto-construcción que tardó tan sólo 14 meses de ejecución. Designado como la "octava maravilla del mundo", el *Empire State* (Shreve, Lamb & Harmon) no sólo rompió todos los récords, en todas las categorías concebibles, por su ingeniería estructural y mecánica, sino que "inspiró una panoplia de anunciantes que reivindicaron su maravillosa altura para promover de todo, desde panqueques hasta trasatlánticos... y a pesar de que su altura fue eclipsada fácilmente por el *World Trade Center* en 1972, todavía permanece como la quintaesencia de los hitos de Nueva York".<sup>20</sup> Aunque su altura era sólo 33% mayor que la del *Woolworth*, el *Empire State* requirió tres veces más ascensores: sesenta y cuatro ascensores en un núcleo central. Indudablemente, el problema de mover gente verticalmente en los edificios más grandes será otro de los factores que, transitoriamente, limitarán su altura.

En julio de 1945, en una mañana brumosa de un sábado, un avión militar B-25 procedente del aeropuerto de Newark, se estrelló contra el piso 79 del *Empire State* matándose el piloto y otras trece personas; y, a pesar de que sufrió daños por el incendio y la apertura de un boquete



<sup>18</sup> Petroski, *ob. cit.*, pp. 199-200.

<sup>19</sup> Dupré, J. *Skyscrapers*. Black Dog and Leventhal, p. 37.

<sup>20</sup> *Ob. cit.*, p. 39.

de siete metros, el edificio fue reabierto para negocios el día lunes siguiente, cuando todavía el mundo no se había recuperado de la sorpresa provocada por el inusitado accidente. Aun a mediados de los noventa el *Empire State* estaba apenas 10% por debajo de la altura de los edificios más altos del mundo.

**RCA Building.** La edificación más destacada del *Rockefeller Center* en Nueva York, es el edificio de la RCA, una torre de 259 metros terminada en 1940, con estructura de acero y sobrias fachadas de piedra caliza, rodeada de una veintena de edificios que forman esa "ciudad dentro de la ciudad". Construido durante la Depresión de finales de los treinta, para atraer inquilinos fue dotado con ascensores de alta velocidad y con aire acondicionado central, una novedad para la época.

**Seagram Building.** Aunque no tan alta como otros rascacielos de Nueva York, la torre Seagram (1958) es el único edificio de Nueva York diseñado por el maestro Mies van der Rohe. Como en los espacios públicos del *Rockefeller Center*, el *Seagram Building* innovará en su implantación urbana. Con un retiro de unos treinta metros de la acera de Park Avenue, ofrece a la ciudad una tranquila y hermosa plaza, con una sencilla fuente de agua, que resaltará la belleza de la edificación. Esta acertada implantación en relación con la avenida, conducirá al establecimiento, en 1961, de una exitosa regulación urbana, que permitirá mayor altura en los edificios, a cambio de mayores espacios libres en las plantas bajas.



Su estructura de esqueleto metálico de acero está recubierta por un magnífico *curtain wall* de cristal oscuro y perfiles doble T, extruidos de bronce. La simplicidad y belleza de los diseños de Mies, y la economía de sus componentes prefabricados, han sido imitados malamente en todas partes, dando como resultado lamentable la trivial cajería de vidrio que vemos en los centros urbanos de

cualquier ciudad del mundo. Como Paul Goldberger ha dicho: "Los resultados probaron que el *Seagram*, si bien es una obra de arte, es también un pobre modelo".<sup>21</sup>

### AVANCES TECNOLÓGICOS EN LOS EDIFICIOS ALTOS: DE 1960 EN ADELANTE

**La evolución técnica y sus consecuencias.** Como veremos en adelante, la edificación de edificios (muy) altos ha sido un importante motor de evolución técnica en la construcción. Sin edificios altos las escaleras serían seguramente todavía las "circulaciones verticales" por excelencia; pero, la evolución en los ascensores fue a la vez causa y consecuencia de la evolución de los edificios en altura. La construcción en altura permitió perfeccionar el cálculo estructural y de la resistencia de los materiales, así como establecer la necesidad de considerar los efectos del viento. No se trata solamente del cambio que implicó la separación entre soportar y proteger, sino de las investigaciones resultantes sobre el diseño y el comportamiento estructural, de los revestimientos y sus formas de anclaje, y del mejoramiento en los vidrios y chasis metálicos para *courtain walls* y "quebramosoles". A lo que hay que sumarle los avances en las técnicas relativas a la iluminación, ventilación mecánica, aire acondicionado, calefacción, comunicaciones, prevención de incendios, entre otros efectos.

Pero, del otro lado, las consecuencias de la proliferación de edificios altos, en cualquier lugar de cualquier ciudad, ha tenido efectos variados en distintos dominios de la sociedad. Desde el punto de vista urbanístico, está el problema de la densidad, que sólo enunciaremos: hasta un cierto nivel de saturación de la capacidad de soporte urbano del suelo una cierta densidad es beneficiosa, pero a partir de un determinado nivel los problemas se encadenan y se amplifican, y la saturación (o congestión) se acelera. Además de los aspectos estéticos, subjetivos y cambiantes con la historia, el ambiente inmediato sufre las perturbaciones climáticas, por modificación del entorno, que afecta en forma hostil a los ciudadanos. Desde el punto de vista económico, la superdensidad genera un incremento de los valores inmobiliarios que son captados por los propietarios del suelo y los promotores, en detrimento de la colectividad que recibe sólo las consecuencias negativas: consumo puntual de flui-

<sup>21</sup> Ob. cit., p. 51.

dos y de energía; y crecimiento de las molestias, volumen del tráfico y contaminación. Uno de los problemas más importantes tiene que ver con los costos, permanentemente crecientes, de mantenimiento, obsolescencia y reposición de equipos e instalaciones. Los problemas asociados a los costos de operación, mantenimiento y reposición de ascensores, de los sistemas de detección y alarma, de disposición de basuras, de funcionamiento adecuado del suministro de agua potable, de seguridad general, en las edificaciones de gran altura, se ha hecho evidente en los edificios de mayor altura en Venezuela: en las edificaciones del conjunto Parque Central, en Caracas.

El edificio alto es por definición una máquina compleja (mucho más compleja que la utopía de la "máquina para vivir" de Le Corbusier), que requiere un elevado consumo de energía para su adecuado funcionamiento. Cualquier falla en el suministro de energía, un sencillo "apagón", paraliza todos los sistemas con consecuencias muchas veces impredecibles; en la realidad, el edificio muy alto es un monstruo tecnológico muy vulnerable. A pesar de todo lo comentado, Robert Auzelle señalaba, en marzo de 1968, en conferencia en el Centro de Estudios Arquitecturales de Bruselas,<sup>22</sup> razones de tres órdenes que justificarían la construcción de "torres"; estas razones estarían ligadas a la naturaleza misma del rascacielos: edificio aislado, elevado y prestigioso.

La primera razón es la de prestigio, pues el culto al dominio técnico sería más profundo, quizás, que la diversidad ideológica o que toda cultura tradicional; la competencia entre los pueblos, que nunca ha estado tan viva, no encuentra mejor campo de expresión que en el dominio del mito y de la economía. La segunda razón es la financiera, ya que construir una torre exige un esfuerzo financiero importante, pero ese esfuerzo puede ser previsto en un programa y en la planificación de la obra, con precisión y con autonomía de acción, por tratarse de un gran frente de trabajo localizado en un solo sitio, es decir, no disperso. La unidad torre-sitio de trabajo permite medir conjuntamente todas las consecuencias de las decisiones que se tomen, lo que no impide, desde luego, riesgos de apreciación, como los que afectaron algunos rascacielos de Nueva York durante la depresión de 1929. La tercera razón señalada por Auzelle es la "precariedad", que resulta de la autonomía del edificio aislado y de la flexibilidad de sus mo-

dalidades de financiamiento. Lo que hace que en definitiva pueda ser fácilmente destruido y reconstruido (o "reciclado"). Nueva York es, en ese sentido, una ciudad en perpetua renovación; y se puede decir lo mismo de las otras ciudades americanas.

A partir de 1960, las nuevas edificaciones altas incorporarán cada vez nuevas innovaciones, en la búsqueda de cada vez más altura; veamos algunos de los casos más destacados.

**Marina City.** Las "mazorcas de maíz" llaman a las torres gemelas del complejo de **Marina City** de Chicago, de 60 pisos y 177 metros de alto, diseñado por Bertrand Goldberg; un conjunto mixto de apartamentos, tiendas, oficinas, facilidades recreacionales, restaurantes, bancos y garajes, ubicado en la renovada ribera del río Chicago. Goldberg abandonó el acero a favor del concreto y usó una forma cilíndrica, por ser más efectiva para deflectar el viento.<sup>23</sup> Los balcones de los apartamentos (losas prefabricadas) están dispuestos como pétalos que vuelan de la estructura exterior de 16 columnas, que circunda el núcleo central circular de concreto de los ascensores, rodeado también de 16 columnas interiores que conforman el corredor de circulación. En 1964, cuando **Marina City** fue terminado, era la estructura más alta del mundo en concreto armado, y fue la primera estructura de gran altura en liberarse de la formalidad del ángulo recto, común en las estructuras de pilares y vigas.<sup>24</sup>

**John Hancock Center.** En 1969 se completa el **John Hancock Center** en Chicago (Skidmore, Owings & Merrill), el rascacielos multiuso más alto del mundo: alberga más de setecientos apartamentos, además de oficinas, tiendas y un hotel. La torre de 344 metros está formada por un sistema estructural tubular, que absorbe las fuerzas de la gravedad y el viento, a través de su caparazón exterior formada por una armazón con arriostramientos diagonales en X, que van de cara a cara de la estructura, y se conectan a las columnas. Esta estructura concebida por Fazlur Kahn,



<sup>22</sup> Revue *Urbanisme*, N° 105. 1968.

<sup>23</sup> La forma circular permitió reducir en más del 20% la acción de los fuertes vientos de Chicago.

<sup>24</sup> Dupré, *ob. cit.*, p. 59.

fue posible por la incorporación de **aceros de alta resistencia y soldadura de fusión**, así como por los nuevos métodos de cálculo estructural facilitados por los avances en computación de los años sesenta.<sup>25</sup>

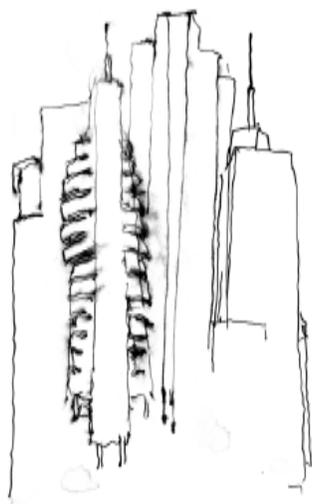
**Transamerica Pyramid.** Aunque la torre Transamerica tiene la configuración piramidal ideal para resistir un sismo, y para garantizar la iluminación y ventilación en las calles de las zonas de alta densidad, sufrió fuertes críticas cuando comenzó a ser construida en 1969. A pesar de ello, la torre de San Francisco terminaría constituyéndose en uno de los iconos urbanos más reconocibles del siglo. Proyectada por William Pereira, alcanza los 260 metros de altura, construida en acero, concreto y agregados de cuarzo, la torre termina en una espira de 65 metros de altura, colocada encima del piso 48, recubierta por paneles-persianas de aluminio. Los volúmenes laterales de concreto en forma de alas, que sobresalen de la pirámide en los pisos altos, contienen los ascensores, las escaleras de emergencia y la torre de humos. El inconveniente que se señala a las plantas decrecientes, es que cada banco de ascensores sirve cada vez menos espacio, que es más costoso a medida que se asciende: "Un ingeniero sugirió que el edificio tendría más sentido funcionalmente si fuese volteado".<sup>26</sup> Pero tal diseño sería inaceptable en una zona de alta sismicidad, como lo es el área de la bahía de San Francisco de California.

**Las torres gemelas del World Trade Center.** En 1972, las torres gemelas del World Trade Center (M. Yamasaki) de Nueva York alcanzaron la altura de 417 metros, con una estructura de acero que Robert Stern describe así: "Más que un típico edificio de esqueleto de acero forrado en piedra o vidrio, es en esencia una cercha gigante de acero, que actúa como una pared portante: esto

es, que es soportado fundamentalmente por las columnas exteriores espaciadas a corta distancia que, junto con sus miembros horizontales, forman un cuadrado perfecto, o una cercha del tipo **Vierendeel**".<sup>27</sup> Las torres también fueron pioneras en el uso del sistema de ascensores **sky-lobby**, que utiliza zonas de ascensores locales y expresos; y, para ello disponen en total de 244 ascensores con velocidades de hasta 488 m/min.

Para darse una idea de la magnitud de los trabajos de fundación de unas estructuras como las del **World Trade Center**, y de sus implicaciones técnicas, hay que señalar que las excavaciones necesarias para fundar las torres permitieron crear, con la tierra extraída, veintitrés acres (unos 93.100 metros cuadrados) de nueva tierra desarrollable, a lo largo del frente ribereño del río Hudson, donde hoy se localiza **Battery Park City**.

El problema de los vientos fue considerado en el diseño estructural de las torres, previendo cargas de hasta 45 libras por pie cuadrado (220 Kg/m<sup>2</sup>); pero, en 1992, un huracán de extraordinaria fuerza afectó a Nueva York, amenazando con someter a las torres con un empuje del viento no experimentado, lo que obligó a la evacuación por precaución. Si bien el huracán no golpeó con toda su fuerza, la resistencia de las torres sería más tarde ensayada por una vía menos predecible. En efecto, el 26 de febrero de 1993, una tremenda explosión en el garaje subterráneo dejó un boquete de 60X25m que causó el colapso de cuatro entresijos y el ascenso de humo en la torre norte, oscurecida y sin energía ni comunicaciones. Aunque la estructura de la torre resistió el ataque terrorista, el colapso de los pisos en los sótanos dejó varias columnas, que se alargaron peligrosamente hasta cuatro pisos de altura, por falta de arriostamiento. La evacuación de decenas de miles de personas,<sup>28</sup> sin electricidad, en plena oscuridad, con los ascensores inmovilizados y las escaleras llenas de humo fue una angustiada y dramática tarea. Muchos quedaron encerrados por horas en ascensores, algunos de los cuales se fueron llenando del humo que subía por los ductos. Se retiraron 5.000 ton de escombros y se dañaron 200 ventanales; y, para limpiar de hollín todas las oficinas, se utilizaron 2.700 trabajadores (900 por turno) que tuvieron que limpiar hasta los libros en las bibliotecas de las oficinas, lámparas y candelabros, en una tarea que tomó 17 días. La



<sup>25</sup> Ob. cit., p. 63.

<sup>26</sup> Ob. cit., p. 65.

<sup>27</sup> Stern R. 1995. *New York 1960*. Rizzoli,

<sup>28</sup> Normalmente el World Trade Center aloja, diariamente, unos 50.000 trabajadores y 80.000 visitantes, que constituyen la población de una ciudad mediana, con todas sus complejidades relativas.

reconstrucción costó 300 millones de dólares.

En la práctica, es muy difícil diseñar contra el terrorismo, en parte porque aun cuando la explosión de un tamaño particular de bomba pueda ser asumido como "explosión de diseño", no importa cuán grande pueda ser la más creíble explosión, otra todavía mayor puede ser factible en el futuro, una vez que la estructura sea construida. La bomba terrorista que demolió el Edificio Federal de Oklahoma City, el 19 de abril de 1995, fue otra comprobación de lo antes señalado. Lo mismo ocurre con huracanes y terremotos: los terremotos exigen decisiones de diseño aun más críticas, pues la tierra todavía se mueve por vías misteriosas y depara muchas sorpresas, tanto en la magnitud como en la dirección de sus movimientos. El terremoto de Northridge que golpeó el área de Los Ángeles en 1994, por ejemplo, ocurrió a lo largo de una falla geológica que no se conocía (y que pasa por debajo del centro de la ciudad), y produjo también desconocidos y grandes desplazamientos verticales del suelo. Esto, en parte, fue responsable de la gran cantidad de daños en puentes y edificios de estructuras metálicas, que se consideraba se comportarían mejor que los de albañilería o concreto.<sup>29</sup>

**Sears Tower.** En 1974, la **Sears Tower** (Skidmore, Owins & Merrill) de Chicago, de 443 metros de altura, pasó a ser el edificio más alto del mundo. La estructura, concebida también por Fazlur Kahn, está formada por nueve megamódulos tubulares cuadrados de 75x75 pies (22,86 x 22,86 metros), ensamblados para formar una torre. Sólo dos de los módulos alcanzan la altura total del edificio, y las fuerzas del viento y la gravedad son disipadas hacia abajo, hacia la mayor masa del edificio, mientras que cada tubo, actuando independientemente, asume sólo una parte de las fuerzas. La **Sears Tower** dispone de 109 ascensores de hasta 549 m/min de velocidad.

La torre **Sears**, aunque es de alguna manera un prototipo de eficiencia estructural, falla gravemente por otras razones. Además de su inhóspita implantación, los ocupantes están sujetos a los terribles efectos del viento, que hace balancearse perceptiblemente al edificio, las columnas de las esquinas crujen y los paneles de las ventanas vibran alarmantemente. En 1988, la empresa **Sears**, propietaria de edificio, reubicó a la mayoría de sus propios empleados en los suburbios; y, para esa fecha, luego de un intento fallido de vender el edificio, tuvo que emprender trabajos

de renovación para poder llenar los 46 pisos de oficinas, entonces vacantes, y para resolver algunos de los problemas causados por la ambigüedad y poco atractivo de la plaza de acceso en planta baja, así como por los molestos efectos del viento.<sup>30</sup> A pesar de tales esfuerzos, la **Sears Tower** sigue destacándose sólo por su altura: "Si los seres humanos deben vivir en armonía con esos gigantescos trofeos corporativos, entonces la **Sears Tower** con sus limitaciones es una cruel lección".<sup>31</sup>

**John Hancock Tower.** Otro caso de gran desacierto lo constituye la **John Hancock Tower** (I.M. Pei & Partners), terminada en 1976, diseñada como una enorme caja de vidrio que altera totalmente la armonía de la histórica **Copley Square** de Boston, donde se ubican dos obras maestras de la arquitectura del siglo XIX: **Trinity Church** (H. H. Richardson) y la Biblioteca Pública de Boston (McKim, Mead & White). La torre, de 241 metros de altura, fue terminada con años de atraso y un enorme sobrecosto. En 1972, todavía en construcción, la edificación de acero y vidrio vibraba fuertemente por los efectos del viento lo que, sumado al enfriamiento y calentamiento de los vidrios, hacía saltar las ventanas de sus marcos, enviando una lluvia de vidrios hacia las aceras y calle, por lo que la histórica plaza hubo de ser bloqueada. Varias toneladas de riostras de acero le fueron agregadas para estabilizar la estructura; y las inadecuadas ventanas y sus soportes tuvieron que ser cambiados, a un enorme costo. Además le fue incorporado, en el piso 58, un sistema de **amortiguadores de masa (dampers)**, controlado electrónicamente, para reducir los indeseados movimientos del edificio. Resueltas las adversidades, y a pesar de todo, la Hancock Tower se convirtió en un hito en Boston, y en un vistoso prototipo a imitar (como sucedió con el **Seagram**) por muchas torres, de insulsas fachadas vi-



<sup>29</sup> Petroski, *ob. cit.*, pp. 211-213.

<sup>30</sup> Chicago es conocida por los fuertes vientos que la azotan, por ello la llaman *windy-city*: la ciudad de los vientos.

<sup>31</sup> Dupré, *ob. cit.*, p. 69.

drio-total, que todavía siguen construyéndose en cualquier lugar del mundo, como las varias que tenemos en Caracas, que han terminado banalizando la estética arquitectónica de nuestros días.

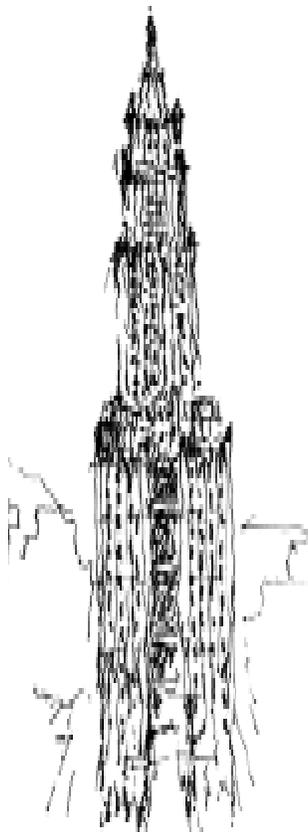
**Citicorp Center.** Otra edificación de interés es el **Citicorp Center** de Nueva York, finalizado en 1977, proyectado por Hough Stubbins, con Emery Roth e hijos. El diseño de la nueva sede del Citibank, un poder financiero global, fue determinado básicamente por una iglesia. La feligresía de la **St. Peters Lutheran Church**, que ocupaba el sitio desde 1862, controlaba cerca del 30% de la manzana, y sólo aceptaba la venta y demolición de la vieja iglesia si se construía una nueva iglesia en el mismo sitio con "nada sino el cielo encima". Para acomodar la iglesia, la torre fue elevada diez pisos sobre el nivel de la calle, sobre cuatro grandes columnas y un núcleo central, lo que liberó el espacio debajo, para la iglesia y para una plaza pública interna, con tiendas, restaurantes y espacios de descanso y entretenimiento.

El resultado fue un nuevo estándar de diseño, para la provisión de espacios públicos bajo los edificios de oficinas, que mitigara algunos de los efectos adversos de la alta densidad urbana de construcción. El **Citicorp** incorporó numerosas innovaciones técnicas y estructurales, entre ellas, un colector solar ubicado en su vistoso techo inclinado hacia el sur, y que abarcaba toda su superficie, pero que resultó inoperante. Se incorporó un sistema de recuperación de calor, otro de iluminación de baja intensidad y los primeros elevadores con cabinas de dos niveles. Estructuralmente es conocido como el edificio donde fue instalado el primer amortigua-

dor de masa como parte de su diseño, aunque realmente el primero fue instalado en la **John Hancock Tower** para corregir sus problemas durante la construcción, como lo he señalado antes. Los edificios altos oscilan con vientos fuertes, causando molestias a sus ocupantes, el amortiguador, basado en el principio de la inercia, corrige ese problema: cuando el edificio se mueve, un bloque de concreto de 400 ton colocado sobre una superficie engrasada se excita y se mueve en la misma dirección. Cuando el edificio se mueve hacia atrás lo mismo hace el bloque, lo que reduce las oscilaciones del edificio en al menos el 50%.<sup>32</sup>

Las cuatro esquinas de la torre están en voladizo, una de las cuales cobija la iglesia, y encima se ubica cincuenta pisos de planta cuadrada, con un núcleo central rígido. El consultor estructural del proyecto fue William Le Messurier, quien diseñó un sistema único de arriostramientos diagonales, formando una armazón rígida, para transferir las cargas de la gravedad y los vientos a las cuatro columnas que la soportan. Los componentes principales de acero de la estructura debían ser soldados para formar la armazón rígida, pero durante la construcción la soldadura, más costosa, fue sustituida por apernado. Posteriormente se verificó que los pernos no habían sido diseñados para la condición más desfavorable, lo que obligó a adoptar soldadura de emergencia antes que el edificio fuera sometido a vientos peligrosos. La historia de este reforzamiento no fue conocida por el público, hasta que en 1995 fue contada por la revista **New Yorker**.<sup>33</sup>

**Rialto Towers.** Proyectadas por Gerard de Preu and Partners, ubicadas en Melbourne, Australia, la torre más alta alcanza los 242 metros, y es una de las más altas edificaciones de concreto armado del mundo. Ambas torres proveen alrededor de 100.000 m<sup>2</sup> de oficinas, estacionamientos y facilidades de entretenimiento. Las torres están soportadas sobre 75 fundaciones de cajones, también de concreto, apoyados en la roca; y fueron objeto de un completo diseño sismorresistente, que pudo ser comprobado luego del trágico terremoto de Newcastle, ocurrido en 1989. Las **Rialto Towers** también incorporan avanzados sistemas de apoyo operativo, de alta tecnología, que monitorean la protección y seguridad en todo el edificio, y proveen energía independiente, en caso de falla del suministro de electricidad.<sup>34</sup>



<sup>32</sup> *Ob. cit.*, p. 79.

<sup>33</sup> Petroski, *ob. cit.*, pp. 206-208.

**OUB Centre.** La torre del *Overseas Union Bank de Singapur*, proyectada por Kenzo Tange, alcanza los 280 metros de altura, y fue terminada en 1986. Consiste en dos monumentales prismas triangulares, de acero y aluminio, de alturas diferentes, que parecieran no tocarse, lo que enfatiza el efecto de movimiento, y su fragmentación sugiere el efecto de un volumen en transformación. El edificio de 66 pisos se apoya sobre pilones de 37 metros de altura, que permiten la vista a través, hacia la zona histórica de Singapur.<sup>35</sup>

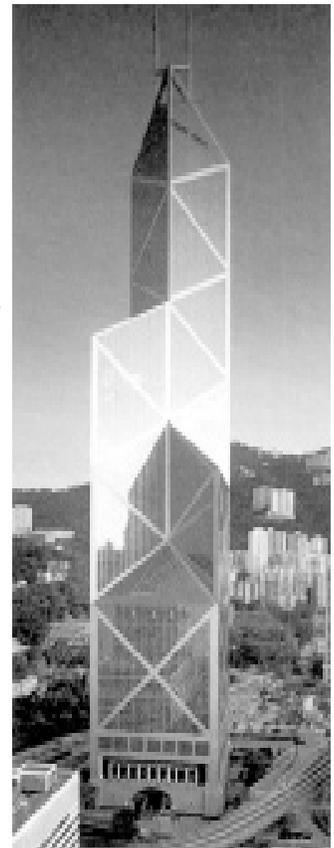
**Las estructuras más altas.** A pesar de que los rascacielos se estaban haciendo cada vez más altos, curiosamente, a finales de los años ochenta, los rascacielos no eran las estructuras más altas construidas por el hombre. Las plataformas petroleras de perforación costa afuera, ancladas en el fondo del mar, alcanzaron alturas estructurales que las hicieron más altas que los más altos edificios del mundo. Por ejemplo, la plataforma *Bullwinkle* de la Shell Oil Company, diseñada para explotar el campo petrolero del golfo de México, era más alta que la Torre Sears, y fue designada por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles como la obra de ingeniería civil más sobresaliente de 1989. La estructura de acero pesa más de 75.000 ton, fue construida en posición horizontal y remolcada en esa posición hasta su sitio de erección, donde fue descargada de las gabarras y anclada en posición vertical en aguas profundas. Debemos pasearnos por el tipo de precauciones estructurales y de dispositivos técnicos que han debido adoptarse para transportar y luego mover semejante estructura, de una posición horizontal a una posición vertical, en mar abierto.<sup>36</sup>

**First Interstate Bank World Center.** En 1990 fue terminada la torre del *First Interstate Bank World Center* en Los Ángeles (Pei, Cobb, Freed & Partners), de 310 metros de altura, a la que se señala como la más alta localizada en una zona sísmica 4. La torre de acero, granito y vidrio, ubicada a 33 millas de la falla de San Andrés, en una ciudad con los más exigentes requerimientos sísmicos de EE UU, fue diseñada para resistir un terremoto de 8,3 en la escala de Richter, lo que demandó el uso de tecnología de punta, adoptándose una estructura de armazón dual de acero, diseñada para resistir las demandas contradictorias de rigidez y flexibilidad, hechas por vientos de alta velocidad y sacudidas sísmicas.<sup>37</sup>

**Bank of China.** Este singular rascacielos de I. M. Pei, ubicado en Hong Kong, de 369 metros de altura, está sujeto a exigencias estructurales extremas debido a su localización en una zona de fuertes tifones. Los requerimientos de cargas son el doble que en Nueva York y las pautas sísmicas cuatro veces las de Los Ángeles. La armazón de acero, de Leslie Robertson y Asociados, revela una excelente integración de la arquitectura y la ingeniería. La planta cuadrada está dividida diagonalmente en cuatro triángulos y a medida que el edificio crece en altura uno de los triángulos es eliminado, lo que forma ocho armazones verticales, cuatro de las cuales disponen de arriostramientos en cruz, que emergen de la base del edificio, de granito y tres pisos de altura. Las cargas del edificio son transferidas a cuatro columnas gigantes de concreto en las esquinas y a una quinta en el centro de la planta cuadrada. Al canalizar las fuerzas de gravedad hacia los extremos del edificio, se incrementa exponencialmente la resistencia al viento.<sup>38</sup> El edificio de Pei, según mi opinión, es el primer gran rascacielos que presenta una estructura innovadora, tanto en lo formal como en su concepción, para hacer frente a exigencias estructurales extremas.

**Canary Wharf Tower.** Terminado en 1991, en el controversial complejo de Canary Wharf, a orillas del Támesis, este edificio de Cesar Pelli y Asociados, es el primer y más alto rascacielos que se construyó en Londres, de acero y acero inoxidable, y de 244 metros de altura. Aunque Pelli describe la torre como “una conexión con el futuro, un edificio para el siglo veintiuno”, Charles, Príncipe de Gales, decía en 1989 que “es un monumento al pensamiento errado de

Bank of China



<sup>34</sup> Dupré, *ob. cit.*, p. 89.

<sup>35</sup> *Ob. cit.*, p. 95.

<sup>36</sup> Petroski, *ob. cit.*, p. 190.

<sup>37</sup> Dupré, *ob. cit.*, p. 101.

<sup>38</sup> *Ob. cit.*, p. 105.

los sesenta, pero construido en los ochenta".<sup>39</sup>

**Landmark Tower.** Se trata de una torre de concreto, acero y granito, de 296 metros de altura, propiedad de la Compañía Mitsubishi, ubicada en la ciudad de Yokohama, Japón, proyectada por **The Stubbins Associates**. La estructura de 73 pisos incorpora tecnología avanzada, incluyendo los ascensores más rápidos del mundo, que permiten alcanzar la plataforma de observación del piso 69 en sólo 40 segundos. La torre aloja oficinas en los primeros 52 pisos y un hotel de 600 habitaciones en los pisos superiores. En los niveles bajos, aceras rodantes mueven a los visitantes a través de un espectacular atrio, con cuatro niveles de tiendas y restaurantes.

A finales del siglo se están construyendo en Asia los edificios más altos del mundo; la **Landmark Tower** es la primera de esas megaestructuras en terminarse.<sup>40</sup>

## EL ESTADO DEL ARTE AL FINAL DEL SIGLO

Las **Petronas Towers**. En 1997 las **Petronas Towers** de Cesar Pelli, en Kuala Lumpur, Malaysia, alcanzaron la altura de 452 metros, la mayor para un edificio alto hasta ahora (dic.1998). Las torres simétricas están unidas por un puente metálico en el piso 42, lo que sugiere la imagen de una

Landmark Tower



puerta hacia el centro de la ciudad.

Por supuesto, un conjunto de las proporciones de las Petronas tiene enormes implicaciones no sólo constructivas, sino de operación y mantenimiento, que demandan respuestas de alta tecnología. La empresa estatal petrolera **Petronas** es la propietaria del conjunto, equivalente a nueve edificios **Empire State**, ubicados en una ciudad con una población menor a la ciudad venezolana de Maracaibo.

La siguiente descripción revela la importancia del problema de ingeniería de fundaciones en los edificios de

gran altura: "Cada fundación (de cada torre) consistió de 104 **barrettes** (pilas rectangulares vaciadas en sitio de hasta 1,2 por 2,8 metros) algunas enterradas hasta 125 metros de profundidad. La construcción de las pilas se realizó bajando la caja-armadura de acero de refuerzo en cada hueco, que luego fue llenado con concreto. La fricción entre las pilas y el suelo fue acrecentada inyectando un mortero (**grout**) –una mezcla de arena y cemento– que fue bombeada hacia abajo a través de tubos tangentes a las pilas. Una vez endurecido el mortero, las protuberancias, en la superficie externa de las pilas, incrementaron la fricción con el suelo. Finalmente, la fundación de cada torre fue completada vaciando una losa de concreto en el tope de las pilas. Cada losa de 4,5 metros de espesor requirió 13.200 metros cúbicos de concreto, y su vaciado se realizó en una corta e intensa explosión de actividad: un camión de concreto llegaba a vaciar su contenido continuamente cada 90 segundos durante dos días".<sup>41</sup>

Otra cuestión crucial en los edificios muy altos, es la de la selección del tipo de estructura, punto que también ilustra muy bien el conjunto de las Petronas. Se seleccionó una estructura de concreto por su familiaridad para los contratistas locales; además de que el concreto se puede elevar para vaciar en sitio mediante carretones o bombas, en lugar de grúas gigantes, y es fácil de moldear en formas complejas. El concreto también ayuda a amortiguar la tendencia natural, de toda estructura alta, a vibrar a causa del viento, pues su habilidad para atenuar las vibraciones es el doble de la del acero. La oscilación de vaivén en las torres es de un ciclo cada 9 segundos, reducida por la masa de concreto. La estructura combina un núcleo central rígido y una armazón de columnas perimetrales arriostradas al núcleo. Las protrusiones en voladizo, en forma de estrella, que salen de la estructura perimetral, están formadas por entramados metálicos, que ofrecen la ventaja adicional de dar a los ocupantes una vista sin obstrucciones. Para la estructura portante se usó **concreto de muy alta resistencia (high-strength concrete)**,<sup>42</sup> lo que permitió reducir las exigencias dimensionales en los elementos estructurales.

Las Petronas son un ejemplo paradigmático de la razón (¿o sinrazón?) de prestigio en la construcción de rascacielos que hemos señalado antes: el símbolo de un

<sup>39</sup> Ob. cit., p. 107.

<sup>40</sup> Ob. cit., p. 113.

<sup>41</sup> Pelli C., Thorton Ch. y Joseph L. 1997. "The World Tallest Buildings". *Scientific American*, December.

país “emergente” ahora gravemente afectado por la baja de los precios petroleros.

**Particularidades de los edificios muy altos.** En los edificios altos, el tiempo que toma construir un piso dicta el plan de trabajo, pero la construcción de vigas y entrepisos de concreto toma mucho más tiempo que la construcción de las columnas, lo que frena el ritmo de trabajo. Para evitar este cuello de botella, en las Petronas se usó un entramado de vigas de acero y lámina metálica preformada, con un **topping** de concreto, para formar el entrepiso, lo que eliminó muchos de los pasos necesarios requeridos para entrepisos de concreto vaciado en sitio. Para las fachadas se usaron paneles modulares de piso a piso, de 4 metros de alto por 1,4 metros de ancho, de acero inoxidable y vidrios ahumados.

Como he señalado antes, el núcleo central estructural, que también contiene ascensores, escaleras, ductos, cuartos técnicos, y sanitarios, es la clave para el buen funcionamiento de un edificio alto, pero consume cerca del 30% del área de planta tipo, en un rascacielos típico de unos 100 pisos. El objetivo es satisfacer esas demandas con la mayor eficiencia, es decir, logrando el máximo porcentaje de área útil en relación con el área de construcción total. En las Petronas esa relación es muy buena, y está entre el 76 y el 77% de área útil. Para lograr un núcleo compacto se requirieron cuidadosas decisiones técnicas, para proveer un servicio eficiente de ascensores; cada pozo de las torres acomoda múltiples ascensores. El número de pozos expresos, que llevan pasajeros a los pisos más altos, se ha reducido mediante el uso de un **lobby** de transferencia, similar al del **World Trade Center**, que permite transferir a los visitantes de la mitad más alta del edificio, a dos pozos “locales” que están montados uno sobre el otro. La capacidad en las horas pico se incrementa por el uso de cabinas de dos pisos, como las de los edificios **Citicorp Center** en Nueva York y del Banco de Montreal en Toronto.<sup>43</sup> El puente entre las dos torres también facilita a los trabajadores y visitantes el desplazamiento entre ellas, sin tener que tomar los ascensores hasta la planta baja, además de que provee una salida alterna en la eventualidad de una emergencia.

Las implicaciones técnicas en edificios altos no son solamente de carácter estructural, como las de

transferir las cargas hasta las fundaciones y proveer rigidez lateral para la estabilidad frente a las fuerzas dinámicas del viento y los terremotos, puesto que las demandas sobre la estructura crecen muy rápidamente con la altura. En un edificio de 40 pisos, una columna promedio soporta una carga equivalente a 23 pisos; en uno de 80 pisos, las columnas de los 40 pisos más bajos soportan cargas equivalentes a 80 pisos. Doblando la altura se triplica la carga por efecto del peso propio del edificio, que incluye el peso de los ascensores, cables, contrapesos, motores, tuberías, etc., que crecen también dramáticamente con la altura.

Proveer a los pisos altos con aire, agua, electricidad, sistemas de comunicación y servicios sanitarios, toma un espacio interior muy valioso, y los ductos y cuartos técnicos necesarios para estos servicios pueden aumentar desproporcionadamente. Los cables de electricidad y las guayas de los ascensores son afectados por los efectos de “fluencia” (alargamiento). Se requieren grandes y complejos equipos de bombeo para impulsar el agua hacia arriba. Las secciones inferiores de las tuberías de agua y aire acondicionado soportan elevadas presiones, lo que obliga a colocar tanques de almacenamiento de agua e intercambiadores de calor, dispersados a través del edificio. El combate del fuego y la evacuación del edificio, por encima de 30 metros de altura, no se pueden hacer desde la calle con camiones-escaleras. Consecuentemente, son vitales los sistemas de alarmas, detección de humos y **sprinklers**; así como escaleras y espacios de refugio (a veces pisos completos), con suministro separado de aire.

Los métodos tradicionales de “construcción sobre el terreno” no son viables para edificios altos: las grúas, las plataformas de trabajo y los encofrados deben trepar la edificación, a medida que la construcción avanza. El tiempo necesario para subir a los trabajadores, las herramientas y los materiales y componentes constructivos, ocupa un lugar prominente en el plan de trabajo. “Los contratistas deben, en efecto, planear el proyecto como si se fuera a trabajar en una isla en el cielo”.<sup>44</sup> Como veremos, al final ya tenemos “islas en el cielo”.

Otro asunto importante en el diseño de los ascensores es la longitud de las guayas y cables que soportan el ascensor. En la medida en que éstas se hacen más largas, debido a la mayor altura del edificio, comien-

<sup>42</sup> Concretos de “muy alta resistencia” se obtienen añadiendo microsilica y otros compuestos al concreto básico. El uso de agentes “super plastificantes” facilita su bombeo. Para evitar las grietas que puede producir el excesivo calor desprendido durante el fraguado, se puede reemplazar parte del cemento con “cenizas volantes” (*fly ash*) proveniente de plantas eléctricas operadas con carbón y otras fuentes.

<sup>43</sup> Pelli *et al.*, *ob. cit.*

zan a agregarle más carga al sistema. Por ello, y por otras razones, las innovaciones en la ingeniería de ascensores se orientan a la completa eliminación de los cables. Entre tales innovaciones está un sistema en el que múltiples carros elevadores se mueven en un circuito continuo, usando el mismo pozo, impulsados por magnetos permanentes y motores lineales sincronizados, en un arreglo semejante al de una rueda hidráulica Ferris.<sup>45</sup>

Judith Dupré, a quien hemos citado varias veces, señala que los rascacielos (y en general los edificios altos) son considerados hoy en día como entes vivientes por derecho propio, una condición confirmada por la metáfora usada para describirlos. Aquellos edificios dotados con avanzados sistemas electrónicos para monitorear y organizar las funciones del edificio –ingeniería, seguridad, telecomunicaciones internas y externas, iluminación, calefacción y aire acondicionado– son descritos como inteligentes: “edificios inteligentes”. Pero también los edificios se “enferman” por varias razones, derivadas de la dependencia de sistemas artificiales ambientales. La “enfermedad” de los edificios

proviene no sólo de la defectuosa ventilación y subsecuente circulación de aire viciado, cargado de bacterias, sino por el riesgo de infestación por insectos y otras alimañas, que se alojan y circulan por los innumerables conductos y recovecos de tan complejas edificaciones.

Ya en los años veinte, los teatros tenían aire acondicionado, pero los edificios altos presentaban problemas debido al gran volumen de aire que debía ser enfriado, y a los numerosos y voluminosos ductos de aire necesarios para lograr que el flujo de aire demandado llegara a los pisos superiores. El primer edificio de gran altura que fue realmente dotado de aire acondicionado, fue el **Milam Building** de San Antonio, Texas, de 21 pisos, en

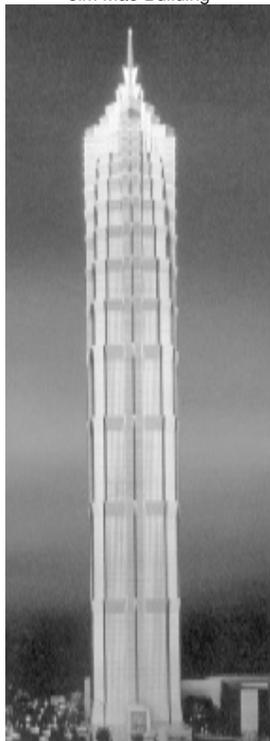
el que la **Carrier Engineering Corporation** instaló, en 1928, una unidad de 300 ton de refrigeración; entonces utilizaba agua del río San Antonio, hasta que en 1950 se eliminó esta práctica y se instaló una torre de refrigeración.

Grandes torres de refrigeración son ahora comunes en los grandes edificios, pero cuando son impropriamente operadas, pueden ser una fuente de confusas afecciones alérgicas. Una de estas misteriosas erupciones ocurrió durante una convención de la Legión Americana, de ahí el nombre de “enfermedad de los legionarios”. Otra inesperada complicación ambiental proviene de ambientes que permanecen con las ventanas cerradas, sujetas a calefacción y ventilación artificiales. Esto lleva a una ventilación impropia, que en algunos casos combinada con humos o emanaciones tóxicas, provenientes de materiales sintéticos y solventes usados en materiales de limpieza y otras actividades, producen a los ocupantes dolores de cabeza, náuseas e irritaciones de la piel. En fin, el “síndrome del edificio enfermo”.<sup>46</sup>

**Más rascacielos en Asia.** También ubicado en Asia, el **Jim Mao Building** de Shanghai, todavía en construcción (1998), es un símbolo de la modernización de China que, según **The Economist**, es el más importante evento singular en los tiempos de aquellos que estamos vivos todavía. El rascacielos, de 421 metros de altura, es también proyecto de la venerable firma de **Skidmore, Owins & Merrill**, fundada en Chicago en 1936. Se trata de una estructura avanzada de concreto, acero estructural, acero inoxidable y vidrio, erigida alrededor de un núcleo central de concreto armado, fundada sobre un lecho arenoso (sin firme de roca), capaz de resistir tifones y terremotos, comunes en el área.<sup>47</sup> El edificio de 88 plantas contiene espacios de oficina en sus primeras 50 plantas y un hotel Grand Hyatt construido alrededor de un atrio central en los últimos 34 pisos. El **Jim Mao** dispondrá de su propia planta eléctrica, facilidades para el tratamiento de aguas, una planta de agua potable y un sistema integrado de telecomunicaciones.

Y todavía edificios más altos se siguen proyectando para los países del Anillo del Pacífico: la **Kuningan Persada Tower** en Jakarta, Indonesia, de Skidmore, Owins y Merrill, de 451 metros de altura; la **Chongking Tower** en China, de Haines Lundberg Waehler, de 457 metros. Todavía más altas son los proyectos de la **Indian Tower** (Yamasaki y asociados), una torre piramidal de 667 metros de altura

Jim Mao Building



<sup>44</sup> Ob. cit.

<sup>45</sup> Petroski, ob. cit., p. 204.

<sup>46</sup> Ob. cit., pp. 213-214.

<sup>47</sup> Dupré, ob. cit., p. 117.

y una base cuadrada de 339 metros, a ser construida con una estructura portante de megacolumnas compuestas de concreto y acero, concentradas en las esquinas a medida que la torre crece en altura; y la torre cónica de Norman Foster, *Millenium Tower*, en Tokio, de 840 metros de alto, nada más que el doble de la Torre Sears. Uno pensaría que probablemente, los efectos de la crisis de las economías asiáticas, iniciada en 1998, pudiera retrasar esta riesgosa carrera por alcanzar el cielo. También recientemente, Jean Nouvel ha propuesto la llamada *Tour sans Fin*, ubicada en La Défense, París.

#### Pero, ¿necesitamos todavía rascacielos?

Es evidente que la construcción de rascacielos, hoy en día, ya no tiene que ver solamente con el mayor costo de los terrenos en los centros de las megalópolis globales. Los factores de carácter simbólico o emblemático están pesando en la decisión de construirlos; aunque a veces tales construcciones sean una bofetada a los clientes, de los bancos propietarios, por ejemplo, que son los que pagan por ellas con la tasa de interés que devengan sus préstamos y pagan sus ahorros. Como hemos visto, los edificios de gran altura implican enormes complejidades, no sólo técnicas sino económicas, frente a las cuales cabe la pregunta planteada: ¿Necesitamos todavía rascacielos? Esta pregunta se la hace William Mitchell, Decano de la Escuela de Arquitectura y Planeamiento del Instituto Tecnológico de Massachusetts, señalando que: "La Revolución Industrial los hizo posibles y la Revolución Digital los hace (casi) obsoletos". El razonamiento de Mitchell es el de que la Revolución Digital está reduciendo la necesidad de tener a los empleados de oficina, trabajando cara a cara, en costosas localizaciones centrales. Eficientes servicios de telecomunicaciones, almacenamiento digital, redes computarizadas, acceso remoto a bases de datos, están soportando cada vez más la descentralización de operaciones. Inclusive las actividades de mercadeo y relaciones públicas están mejor servidas "en las páginas *World Wide Web* de Internet y en puntos de anuncios del *Superbowl*, que por inversiones en arquitectura monumental, en sitios urbanos costosos". Mitchell señala que muchas de las grandes empresas han movido sus cuarteles generales a edificaciones de mediana y baja altura en zonas o parques suburbanos de oficinas.<sup>48</sup> En artículo escrito en 1996<sup>49</sup> yo anotaba este mismo proceso, señalando el creciente desarrollo de la "empresa virtual" y

de los "consorcios y redes virtuales" que pueden enlazar el trabajo, asistido por computadora, de un enorme número de científicos, profesionales, técnicos y empleados, o de un ilimitado grupo de micro y pequeñas empresas, incluso dentro de la idea de *outsourcing* y del trabajo en el hogar. Estas redes de producción y mercadeo pueden lograr altos niveles de eficiencia y productividad, así como una gran expansión de mercados y competitividad. Todo lo cual contribuye a diseminar antes que centralizar los lugares de trabajo, particularmente el trabajo de oficina.

Finalmente, Mitchell se pregunta si todo esto significa que los rascacielos son dinosaurios a los que les ha llegado su día, y responde: "Aún no, como lo puede confirmar una visita al elegante bar en lo alto del prestigioso Hotel Península de Hong Kong. Aquí los urinarios del baño están colocados contra los ventanales de vidrios transparentes, de manera que los hombres poderosos, mientras se desahogan, puedan contemplar hacia abajo la ciudad. Es obvio que este gesto no tendría un efecto tan satisfactorio en la planta baja. En el siglo XXI, como en el tiempo de Cheops, habrá indudablemente más y más edificios altos, construidos con gran esfuerzo y a menudo sin una real justificación económica, porque los ricos y poderosos todavía encontrarán satisfacción, algunas veces, en las formas tradicionales de demostración de que ellos están por encima de la multitud".<sup>50</sup>

#### Epílogo: construcciones en el cielo.

He señalado antes que la "carrera por alcanzar al cielo", con la construcción de rascacielos, no ha cesado aún. Lo que ocurre realmente es que ya estamos en la era de las grandes construcciones en el cielo. A partir del año de 1998, 16 naciones participarán en la construcción del más grande proyecto de la historia en tiempos de paz. EE UU, Rusia, Canadá, Japón, Brasil y 11 naciones europeas colabo-

Millenium Tower



<sup>48</sup> Mitchell W. 1997. "Do we still need Skyscrapers?". *Scientific American*, December.

<sup>49</sup> Cilento A. "Reflexiones sobre globalización, metropolización y la dos-ciudad en la transición". *Cuadernos del CENDES*, N° 39. 1998: 113-132.

<sup>50</sup> Mitchell, *ob. cit.*

rarán en la construcción y operación de la enorme Estación Espacial Internacional (EEI), cuyo costo estimado es de 29,4 billones de dólares. Para ensamblar más de cien piezas en el espacio, se requerirán 45 viajes de transbordadores espaciales norteamericanos y de cohetes propulsores rusos. La EEI pesará 1,04 millones de libras (472.160 kg). Los paneles solares de la estación tendrán una superficie equivalente a un acre (poco más de cuatro mil m<sup>2</sup>); y la propia estación será del tamaño de dos campos de fútbol (108,5m x 88m), lo que la hará visible a simple vista desde la Tierra. Como comparación, un avión Boeing 747 mide 65m x 71m.

La estación estará terminada en el año 2003, después de más de 1.000 horas de caminatas espaciales, mejor dicho, de duro trabajo en el espacio exterior. Hay que imaginar lo que significa el proceso de ensamblaje de los módulos en el espacio, por dos o tres hombres vestidos con trajes espaciales cuyo peso en la Tierra es de 300 Kg cada uno. Además, hay que tomar en cuenta que la *microgravedad*, en la estación espacial, equivale a una millonésima de la fuerza de gravedad que sentimos en la Tierra: una moneda en la Tierra puede caer 1,83 m en 0,5 seg, mientras que en la estación tardaría 10 minutos.

Los primeros dos bloques de construcción: el Bloque Funcional de Carga Ruso y el Nodo 1 de EE UU fueron lanzados y ensamblados en 1998. A finales de 1999, en la estación habrá alojamiento para una tripulación de tres personas, un módulo funcional de laboratorio, un par de radiadores térmicos, un set de captadores solares, y el brazo robótico canadiense. En el año 2001, la EEI tendrá mayor potencia proveniente de paneles solares adicionales, y el Módulo de Experimentación Japonés habrá sido enviado y activado. La EEI se completará en el 2003 con las últimas adiciones: los laboratorios ruso y europeo, más paneles solares, y un Módulo Habitacional para una tripulación de seis-siete personas. Durante los primeros años de construcción, la tripulación comerá, dormirá e irá al baño en el Módulo de Servicios del Bloque Ruso. Pero, cuando el Módulo Habitacional norteamericano sea finalmente añadido, los astronautas podrán comer frutas y vegetales frescos, con sus comidas congeladas, por cortesía del primer refrigerador espacial. El Módulo Habitacional también dispondrá de una ducha: los astronautas podrán rociarse con agua y aspirarla, para secarse, con una manguera de vacío. Y todo lo anterior ocurrirá nada más que a 354 kilómetros de altura, es decir, que habrá vida muy cerca del cielo.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Popular Science 1998, Abril 1998/ [www.boeing.com](http://www.boeing.com).