

El precio de la altura

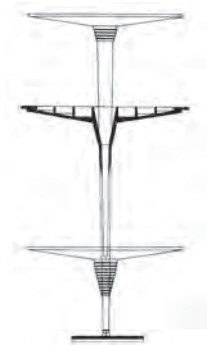
Técnica y sociedad en el rascacielos contemporáneo

Ramón Araujo



The Granger Collection, New York / Coridon Press

A pesar de que la técnica ha hecho posible una nueva generación de rascacielos más altos, el precio medioambiental y económico que se paga por ello sigue siendo muy alto.



Muchas de las innovaciones actuales tienen su origen en intuiciones modernas, por ejemplo, la solución de forjados volados del Edificio Johnson Wax de Wright.

El rascacielos es un edificio de difícil justificación y más difícil generalización por su tremendo coste tanto en términos ambientales como económicos. Su base es necesariamente pequeña en relación con su altura al estar determinado —como cualquier edificio de oficinas o viviendas— por la iluminación natural que se produce a través de la fachada, resultando de esta condición las características plantas centrales y lineales o sus derivadas estrelladas, a las que no se puede ofrecer muchas alternativas. La gran esbeltez resultante implica que la repercusión de la estructura será muy superior que en los edificios de alturas habituales, del orden de tres a cuatro veces más acero por metro cuadrado en construcción metálica en los edificios más altos. También hay que considerar que la gran envergadura del sistema de transporte vertical —que es, a partir de cierta altura, el principal condicionante del diseño— tiene como consecuencia un ineficaz aprovechamiento del espacio. En los edificios de gran altura el núcleo supera el 30 % del espacio útil, es decir una eficiencia (relación entre superficie útil y construida) del orden del 70 %, muy inferior a la de un edificio de altura media. Y esto aceptando una profundidad de crujía hoy estándar en torno a los 14 metros, claramente excesiva para una iluminación natural unilateral, de modo que con profundidades menores (en Alemania está restringida a 8 metros) la eficiencia estará en torno al 60 %.

Podemos optimizar las soluciones, pero las leyes físicas establecen un precio por la escala y por la altura que penaliza a todos los organismos. Los arquitectos e ingenieros modernos desarrollaron en la segunda mitad del siglo XX unas soluciones al edificio en altura extremadamente racionales, determinadas por la optimización del espacio útil y la consiguiente racionalización de la estructura, lo que condujo en su día a la generalización de la planta organizada en torno a un núcleo central de servicios con una corona perimetral diáfana cuyo fondo se limita por la luz natural, una organización que, repetida en altura, derivaba en un sencillo prisma de planta típi-

camente rectangular. Las soluciones estructurales acordes con esta configuración son suficientemente conocidas, destacando, para las grandes alturas, la descomposición de la estructura vertical en dos elementos: el núcleo y una corona de soportes perimetral que aporta al edificio la necesaria inercia. Para el cerramiento, se generalizó el muro cortina con las diferentes combinatorias derivadas de la jaula estructural externa; el acondicionamiento ambiental descansaba en la nueva posibilidad del edificio hermético, plenamente acondicionado con sistemas centralizados de aire y abastecimiento eléctrico.

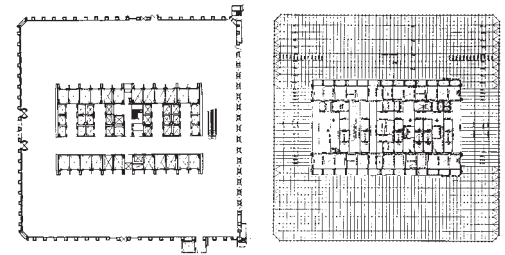
Poco a poco se fue abriendo paso una crítica generalizada a estas soluciones convencionales. Los problemas eran múltiples —urbanísticos, técnicos, plásticos— pero, sobre todo, era la dictadura del prisma de vidrio —ni tan eficiente ni hermoso como se pretendió— lo que parecía requerir nuevas respuestas. Será, sobre todo, la generalización del rascacielos por todo el mundo en las últimas décadas lo que origine el nuevo furor experimental de estos últimos años, que atañe a todos los aspectos del diseño.

Una generación más alta

En este proceso actual es característico el crecimiento en altura, y aquellos ejemplares únicos que marcaron el límite en unos 400 metros han sido superados por la nueva generación, que se acerca ya al kilómetro. Por otro lado, los edificios de alturas medias se han generalizado en muchas ciudades incluso para usos residenciales, dejando de ser ejemplares excepcionales. Son, principalmente, los medios técnicos los que ha permitido el nuevo orden de altura y la generalización y casi tipificación de las alturas intermedias, resultando un salto equivalente al que en su día se dio —en apenas cuarenta años— de los edificios de poco más de diez plantas de Chicago al Empire State, o desde este a los 400 metros del World Trade Center de Nueva York en otro lapso de tiempo similar. Mientras que los principales motores de aquellos periodos

El gran salto de altura que medió entre la primera generación de rascacielos modernos norteamericanos y la que corresponde a proyectos tan singulares como el

World Trade Center se explica por el cambio de tipología estructural desde una trama isótropa de pilares metálicos a un sistema mixto de núcleo rígido y envolvente mecánica.



Minoru Yamasaki, Torres Gemelas en el World Trade Center, 1973

fueron el desarrollo de la estructura metálica, primero, y la concepción de los nuevos tipos estructurales de núcleo central, después, los avances más destacados de la nueva generación están más dispersos: se trata de muchos cambios de menor alcance.

Por un lado, encontramos nuevas prestaciones en los materiales estructurales, correspondiendo al hormigón armado el mayor desarrollo (altas resistencias, procesos de hormigonado, etcétera), y generalizándose las estructuras mixtas que emplean acero y hormigón allí donde más se optimizan: ‘megacolumnas’ y ‘meganúcleos’ son frecuentemente de este tipo. También ha sido fundamental la capacidad de análisis ofrecida por los medios informáticos y experimentales, especialmente significativos para la comprensión del comportamiento dinámico del edificio, que en las grandes alturas determina el diseño estructural. En esta dirección, pueden citarse los avances en los sistemas de amortiguación, como los amortiguadores dinámicos, que permiten reducir significativamente la rigidez y peso de las estructuras. En lo que se refiere al transporte vertical, se logra reducir el número de ascensores mediante mejoras en los sistemas ya conocidos (organización en grupos de plantas, *sky lobbies*, ascensores dobles, etcétera) o mediante sistemas de gestión del tráfico que permiten reducir la envergadura del núcleo.

También hay que recordar la nueva importancia concedida a la seguridad (incendio, terrorismo) que parece favorecer las estructuras más rígidas (de hormigón armado o mixtas) y especialmente al núcleo central de hormigón armado, planteándose incluso sistemas de mayor masividad en la protección de las estructuras metálicas y en los cerramientos. Otras cuestiones que ganan terreno son los mayores requisitos de compartimentación, la incorporación de áreas de refugio o el empleo de los ascensores en la evacuación.

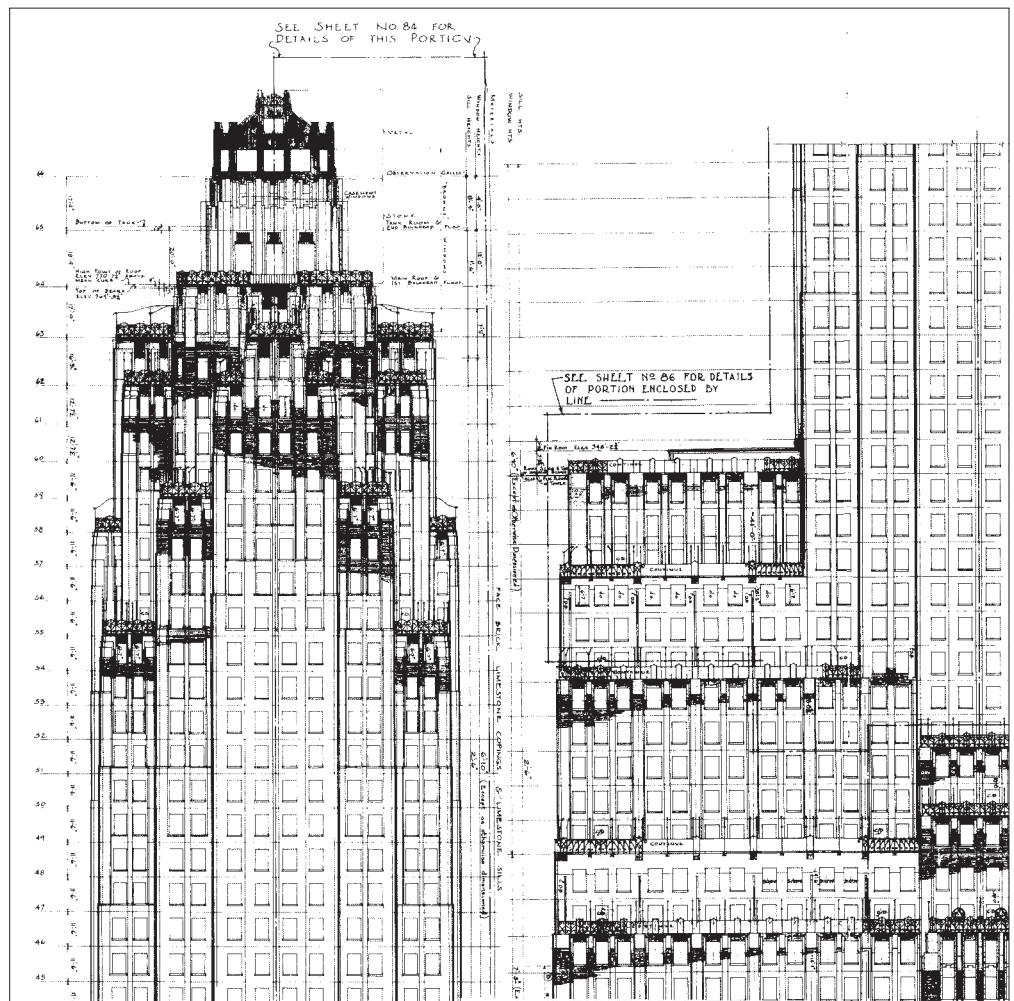
Son muchas otras las novedades estructurales surgidas en estos años que de una u otra forma implican al diseño. Desde luego, tal ha

sido el caso del retorno al hormigón armado, incluso con soluciones murales (Burj Khalifa), impulsado tanto por su mayor disponibilidad en los países emergentes como por su mayor rigidez general, algo prioritario cuando los problemas dinámicos son dominantes. También la catástrofe del World Trade Center ha tenido consecuencias en esta dirección, favoreciendo la mayor rigidez y alentando soluciones tales como la torre de plataformas voladas en torno a un núcleo central de gran rigidez (la idea estructural de la Johnson Wax de Wright). La aplicación del hormigón armado a estas escalas ha requerido importantes novedades tecnológicas que van desde los materiales de

mayor resistencia y menor peso hasta la aplicación de gigantescas uniones regulables para compensar los acortamientos característicos de los elementos comprimidos.

Novedades espaciales y tipológicas

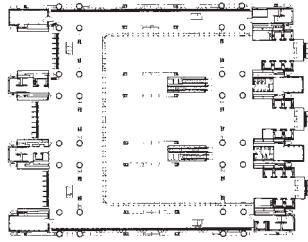
Esta evolución tecnológica corre paralela con el proceso de reconsideración general del diseño. Por una lado, se perseguirá una mayor complejidad espacial, reconsiderando tanto la planta (planteándose incluso posibles alternativas a la planta de núcleo y corona) como la sección (buscando superar la reiterativa superposición de la planta optimizada) y, en consecuencia, el propio volumen. Otros



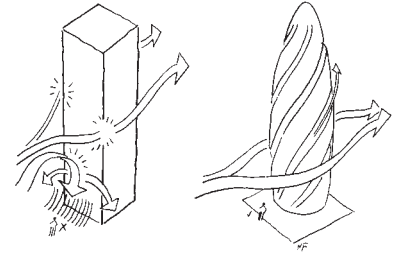
Clinton & Russell, detalle de fachada del edificio para la Pine Street Realty Company, Nueva York, 1930-1932

Corresponde a Norman Foster el mayor esfuerzo innovador en los rascacielos de las últimas décadas. Mientras que en el Banco de Hong Kong traslada los

núcleos a la periferia buscando un espacio de trabajo diáfano, en el Swiss Re modela aerodinámicamente la envolvente y en el Commerzbank introduce espacios ajardinados.



N. Foster, Banco de Hong Kong y Shanghai



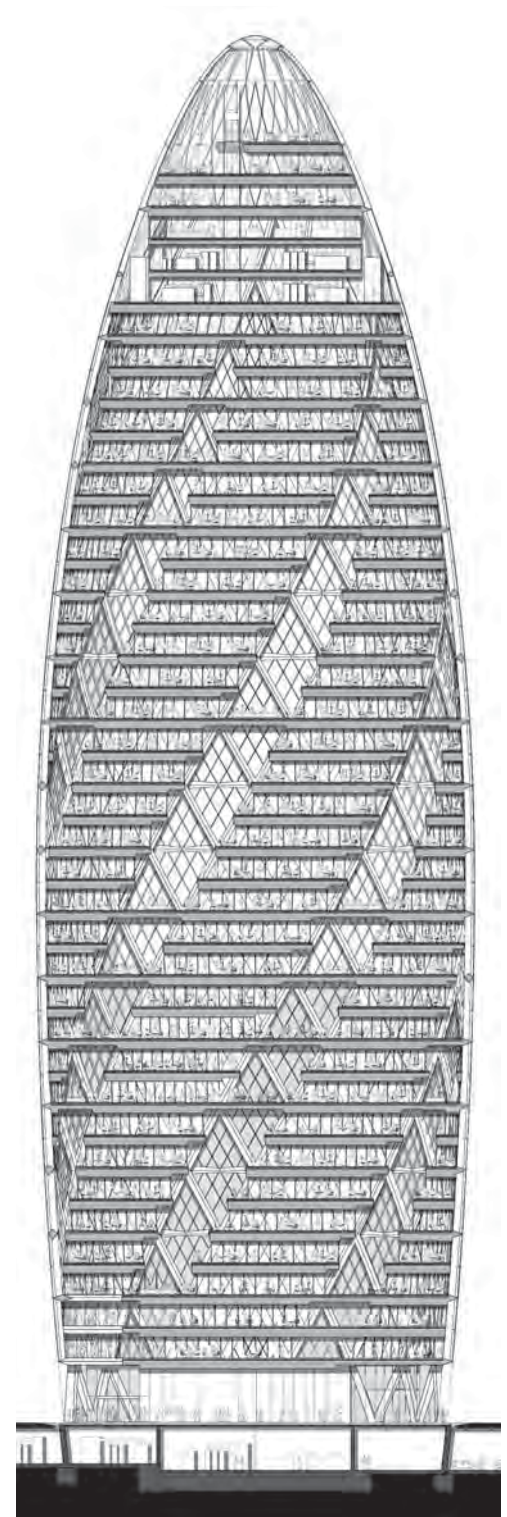
aspectos importantes se refieren al diseño ambiental, poniéndose ahora en duda el muro cortina indiferente a la orientación o el prisma hermético, y buscando soluciones alternativas al acondicionamiento integral.

En cuanto a la organización de la planta, el esquema central sigue siendo el dominante, aunque hay que citar excepciones tan importantes como aquellas que trasladan los núcleos a la periferia del edificio buscando un espacio de trabajo diáfano volcado a dos orientaciones opuestas. Corresponde a Norman Foster el principal esfuerzo en esta dirección, primero con las plantas diáfanas adoptadas en el Banco de Hong Kong y la Torre Repsol de Madrid, ambas más que discutibles por las tremendas profundidades de crujía necesarias para lograr un brazo de palanca aceptable. Más interesante es la planta estrellada, en la que los brazos pueden tener doble orientación con menor fondo gracias a la rigidez aportada por su intersección, adoptada en aquellos edificios de tales dimensiones que multiplican la superficie construida de sus predecesoras, como las proyectadas para Tokio y Moscú. La misma idea la encontramos en el Burj Khalifa, y hay que notar que, en realidad, la planta en estrella y el desdoblamiento de los núcleos recoge las intuiciones tanto de Wright como de Le Corbusier para sus 'supertorres'. Las plantas del Commerzbank y del Swiss Re pueden entenderse como insólitas variantes de la misma idea.

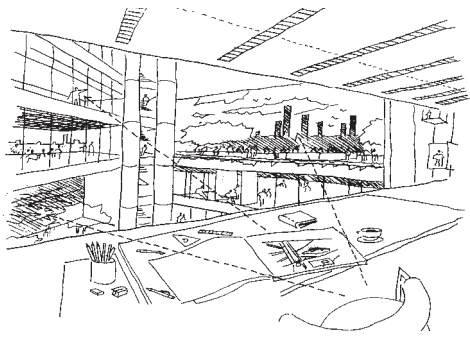
Por otra parte, comienza a reconsiderarse una ordenación vertical no repetitiva, una sección variable, quizás el concepto más ambicioso de los desarrollados en estos años y que hay que relacionar con la posibilidad de programas funcionales más complejos que permitan concebir la torre como un espacio más accesible al público. Entre las propuestas de sección variable cabe destacar, en primer lugar, las de perfil decreciente, cuya oportunidad desde consideraciones mecánicas es obvia (se trata básicamente de diseñar una ménsula vertical de sección variable con su centro de gravedad lo más próximo al suelo), y que encuentra antecedentes notables en la evolución del rascacielos

los norteamericano, del Chrysler Building de Nueva York al Edificio Hancock de Chicago. Hay que considerar que también la organización de la planta es aquí relevante, pues su variación con la altura tiene como consecuencia un aprovechamiento menos eficiente del espacio, lo que puede corregirse reuniendo diferentes usos (es característico alojar usos hoteleros o residenciales en los tramos superiores del edificio). El perfil decreciente está presente en algunos de los proyectos citados de Foster (y de nuevo hay que citar el insólito refinamiento del Swiss Re con su reducción de sección en el encuentro con el terreno) y en otros muchos edificios contemporáneos (la Torre London Bridge de Londres), pero quizás es el Burj Khalifa el que mejor explota sus potencialidades al asociar dicho perfil decreciente con la planta estrellada, el uso residencial y la estructura en 'espinas'.

En cuanto a la organización espacial de la torre en escalas sucesivas, se trata de concebir el edificio como una ordenación compleja y no necesariamente reiterativa y homogénea. La superposición de usos o espacios de diferente carácter la encontramos en algunos antiguos rascacielos con más o menos alcance y está hoy presente en muchos proyectos, destacando la insólita solución al Commerzbank en torno a los jardines suspendidos de cuatro alturas, que quedará como la más potente aportación a la historia reciente del rascacielos. La idea está hoy muy reforzada por su oportunidad estructural: en los años 1970 se generalizaron para la estructura perimétrica las organizaciones tubulares —jaulas con tramas de pilares y vigas muy próximas rigidizadas por el conjunto de los forjados actuando como diafragmas— pero se desarrollaron otras opciones como el recurso a menos elementos verticales de gran sección, grandes pilares más distanciados enlazados por estructuras horizontales de conexión igualmente potentes, normalmente emplazadas dividiendo la altura en varios tramos (antecedentes de este concepto son el BBV de Madrid o el Banco de Johannesburgo). Tan sólo resta asociar estos



Norman Foster, Sede de Swiss Re, Londres



entramados horizontales de rigidización con elementos cortafuegos, vestíbulos de transbordo para los ascensores, plantas técnicas o espacios singulares para organizar la torre como una sucesión de escalas diferenciadas. Este esquema ha resultado particularmente eficiente como concepto estructural para los edificios que superan los 400 metros de altura y están sometidos a excepcionales esfuerzos dinámicos (viento y sismo), y ha sido adoptado tanto en el Edificio Jin Mao como en el Taipei 101, aportando una más que notable innovación en la propia concepción plástica del edificio.

Este proceso por el que la forma se hace más compleja, admitiendo manipulaciones inconcebibles en los años del purismo, se ha visto respaldado por los estudios experimentales del comportamiento a viento de las torres, que vienen a corroborar que el prisma rectangular no es la forma más eficiente debido a la formación de vórtices que implica. Formas más continuas como el cilindro son más eficientes que las quebradas como el prisma rectangular, y determinadas configuraciones como aperturas o pliegues pueden resultar oportunas para reducir los esfuerzos dinámicos debidos a las cargas de viento. Las plantas estrelladas (Torres Petronas), o incluso los plegados espirales del Proyecto de Santiago Calatrava para la Fordham Spire de Chicago encuentran un respaldo mecánico por la reducción de la resonancia dinámica que pueden aportar gracias a su forma.

El arranque y la coronación

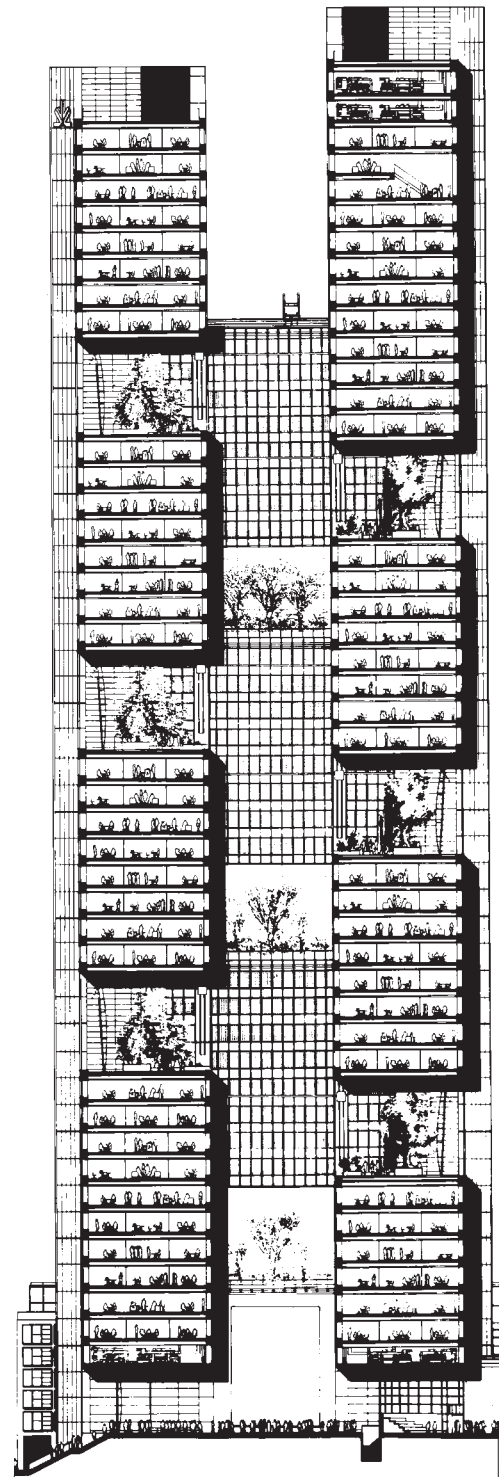
También la concepción del arranque y la coronación han sido objeto de reconsideración en el contexto reciente. En cuanto a la planta de acceso, la organización de núcleo central no permite muchas alternativas a la solución de una planta baja de escasa altura en la que apenas destaca la batería de ascensores acordonada, y hoy como siempre la torre tiene que perder su forma neta y aceptar que otros volúmenes se le adosen con el objetivo de crear un vestíbulo más caracterizado. Frente

a este problema tradicional, las soluciones que desplazan el núcleo —y de nuevo hay que citar los proyectos de Foster— permiten imponentes vestíbulos diáfanos alojados en el prisma inicial.

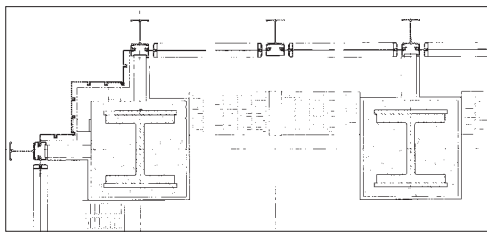
En lo que se refiere al diseño de la coronación —donde siempre fue importante la participación de elementos auxiliares y de los equipos mecánicos, como plantas de instalaciones, antenas, etcétera— parece que su importancia resulta hoy reforzada como consecuencia del mayor empaque de tales equipos, desde máquinas de climatización a sistemas de limpieza de fachadas. En particular es notable el papel asumido en la coronación por los sistemas de amortiguación, en ocasiones tan enfatizados como en el Edificio Jin Mao.

Hasta aquí nos hemos referido a la evolución reciente del rascacielos en torno a los criterios que históricamente ha considerado la arquitectura como ejes de su actividad pero, como todo el mundo sabe, el postmodernismo ha abierto la puerta a la posibilidad de edificios planteados desde la indiferencia a tales criterios, aceptando que una forma escultórica casual puede ser válida para destinos diversos y considerando que su resolución física —estructural, funcional o constructiva— es un aspecto secundario del diseño. Sorprendentemente, tal forma de operar ha alcanzado incluso al rascacielos, donde hemos visto que por su escala el precio que se paga por un diseño ineficiente es desmedido. El edificio de la CCTV en Pekín es un claro exponente de esta forma de ver las cosas.

Las técnicas desempeñan en este tipo de edificios formalistas un papel diferente al hasta aquí considerado, pues su objetivo no es perseguir la respuesta más eficiente, sino hacer viable un objeto planeado con indiferencia a su comportamiento físico, perdiendo su atractivo y su intención. Así, el CCTV requerirá una desafortunada estructura tubular para mantenerse en pie (lo que no le libra de una molesta retícula interna de pilares), igual que la Puerta de Europa de Madrid requirió un complicado sistema de postensado.



Norman Foster, Sede del Commerzbank, Frankfurt



Mies van der Rohe, Edificio Seagram, Nueva York

En relación con los cerramientos, los rascacielos actuales oscilan entre la posibilidad de ocultar la estructura tras una envolvente formal —como ocurre en el

Edificio Seagram— o de mostrarla expresivamente, según una tradición que se remonta al Chicago Civic Center o al One Liberty en Nueva York, ambos de SOM.

Cerramientos y control de la energía

Otro tema importante en el rascacielos será el diseño de los cerramientos, que tiene lógicamente que enfrentarse con presiones de viento y, sobre todo, con deformaciones mucho mayores que en el caso de las torres de alturas medias, de modo que el problema de la compatibilidad de las deformaciones entre la estructura principal y el cerramiento requiere una gran atención en el diseño y en los detalles. También otros temas, como la previsión de elementos cortafuegos o sistemas de mantenimiento, alcanzan un mayor orden de complejidad. Pero, en realidad, el concepto sigue siendo el mismo que en cualquier edificio de pisos con cerramientos ligeros, y las soluciones de fachada no se diferencian en su concepción general de las empleadas hoy en día en edificios de menor altura.

En consecuencia, el diseño de cerramientos en los rascacielos se caracteriza por la generalización de las fachadas acristaladas y el correspondiente predominio del problema del control solar, de modo que los diferentes sistemas de parasoles y dobles hojas hoy familiares en nuestra arquitectura caracterizan igualmente a los edificios de gran altura: cerramientos muy tecnificados planteados como muros cortina o sistemas de paneles acristalados prefabricados, muros de dos hojas que incorporan en ocasiones el retorno de aire a través del acristalamiento, venecianas motorizadas alojadas en la cámara y diferentes sistemas de parasoles ligeros (véase *Arquitectura Viva* 121).

A pesar de su evidente ineficacia, muchos rascacielos siguen, no obstante, resolviéndose con simples envolventes de vidrio que necesariamente confían el control solar a tratamientos del propio vidrio, que suponen un gran sobrecoste, y que repercuten en las estrategias de mantenimiento que son características de los sistemas de fachada de última generación.

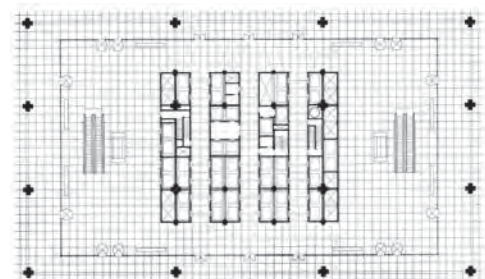
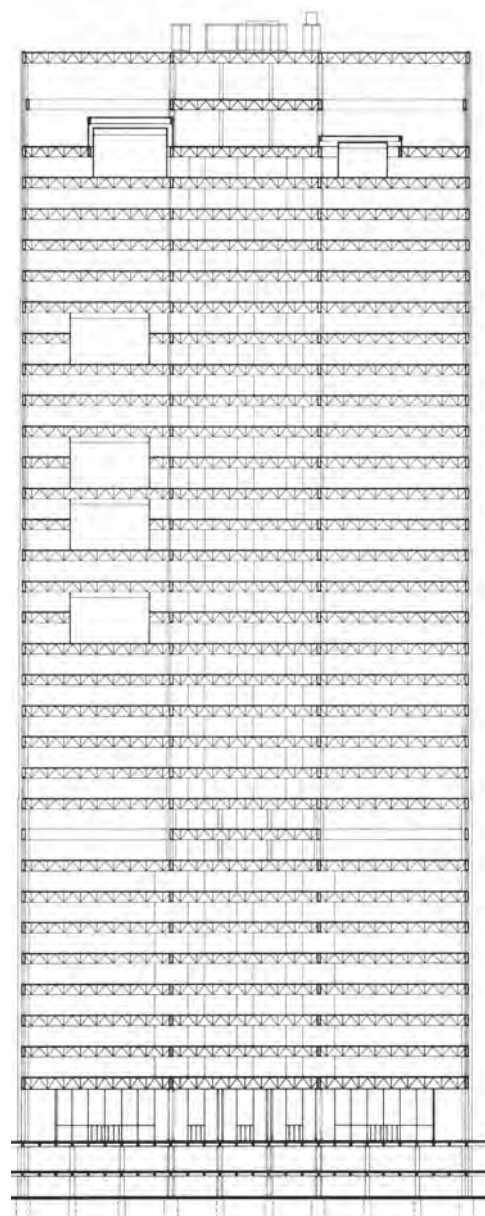
Un aspecto más característico del cerramiento de los edificios de gran altura es su relación con la estructura, consecuencia de la envergadura de esta. Ya en los edificios de la

anterior generación la estructura dominaba en muchos casos la organización de la fachada, y si en las soluciones como la del Edificio Seagram el muro cortina se imponía a la estructura sin apenas otros condicionantes que la modulación impuesta por soportes y forjados, más adelante la mayor envergadura de la estructura emplazada en la periferia le concedió a esta un nuevo papel organizador. Esto ocurre con las grandes vigas de borde del Chicago Civic Center o el One Liberty de Nueva York, ambos de SOM, y de un modo más claro aún con los enrejados de barras características de las estructuras tubulares, que a su vez pueden consistir en las clásicas tramas de vigas y pilares, en entramados diagonales —más rígidos y eficientes— y otras posibles organizaciones. En estos casos, la propia estructura gobierna el diseño de la fachada y volvemos a los sistemas de paneles confinados entre las barras de la estructura, que por otra parte tendrán que ser recubiertas para dotarlas de aislamiento higrotérmico o protegerlas contra el fuego.

En cuanto a las estrategias de control de la energía y acondicionamiento ambiental de los rascacielos, estas tampoco difieren sustancialmente de las habituales en otro tipo de edificios con usos similares, y en particular los sistemas de instalaciones serán los habituales en un edificio hermético. Las estrategias de diseño pasivo son, por otro lado, muy limitadas, y se concentrarán en una orientación adecuada, recurso a formas compactas y, sobre todo, en el ya citado diseño de la fachada. Por otro lado, el recurso a la ventilación natural es complicado en el rascacielos, donde no es factible ni la ventilación cruzada ni el efecto chimenea, aunque algunos edificios (Swiss Re, Commerzbank, London Bridge) cuentan con sistemas de ventilación mixtos mediante el recurso a dobles fachadas con ventanas operables.

Aspectos urbanísticos

También en lo que se refiere a los aspectos urbanísticos los rascacielos de última generación plantean novedades. El rascacielos nació de modo casi espontáneo en la ciudad americana



SOM, Chicago Civic Center, Chicago

Las fachadas acristaladas con las que, en su mayor parte, se resuelven los rascacielos contemporáneos, implican la necesidad de un control solar que suele llevarse a cabo mediante costosos acabados en el propio material, cámaras de circulación interna de aire o bien dobles pieles de muro cortina y celosías de lamas.

como resultado del proceso de revalorización del suelo en los centros comerciales de las grandes urbes, como Manhattan, proceso al que Le Corbusier respondió con la idea del centro financiero formado por la concentración de sus rascacielos cartesianos.

A lo largo del siglo XX esta herencia tuvo dos consecuencias: por un lado, nos encontramos con la aparición de grandes rascacielos que se incrustan sin contemplaciones en la ciudad histórica de las grandes capitales ya consolidadas, un proceso que se inició en las capitales europeas con edificios como la Torre Montparnasse en París, la Tour de Midi en Bruselas y, sobre todo, muchas torres anónimas en Londres; por otro lado, se apuesta por los centros terciarios de gran altura, como La Défense en París, el Complejo Azca en Madrid y el Canary Wharf en Londres como última gran realización. Cabe también citar la generalización de la torre de altura media para las áreas residenciales en ciudades como Nueva York.

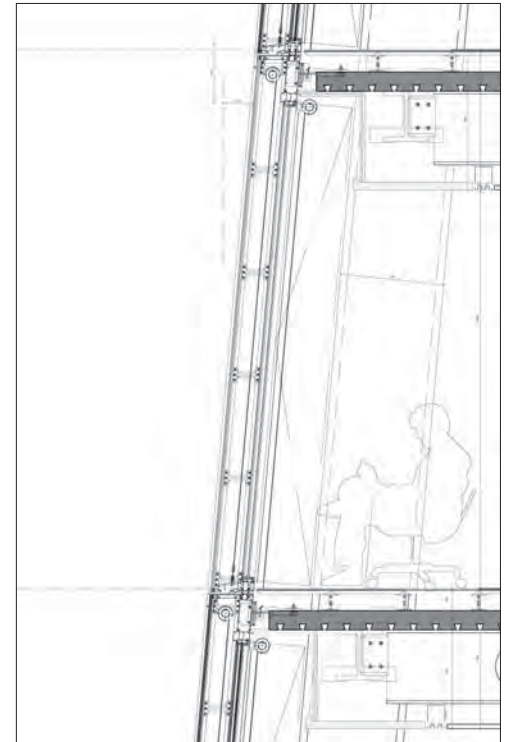
Es de todos conocido cómo estos procesos se han revitalizado en los últimos años, generalizándose la aparición de rascacielos en áreas centralizadas —especialmente en Londres, pero con realizaciones en otras ciudades, como las torres de Madrid— y exportando el centro terciario a los países emergentes. Por otro lado, en estos países encuentra continuidad la torre para la periferia residencial, según el modelo de Nueva York, extendiéndose ahora al infinito. Pocas cosas interesantes pueden comentarse de un proceso de desplazamiento urbanístico, que ha demostrado un carácter absolutamente destructivo para la ciudad, y del que se han librado hasta ahora tan sólo los países más desarrollados.

Es frecuente encontrar defensas del rascacielos por su capacidad para aportar grandes densidades de construcción, algo necesario sin duda para controlar la expansión de las áreas urbanizadas. Pero esto no es así y sabemos que para mantener las condiciones de habitabilidad —soleamiento y ventilación en viviendas e iluminación natural en oficinas—,

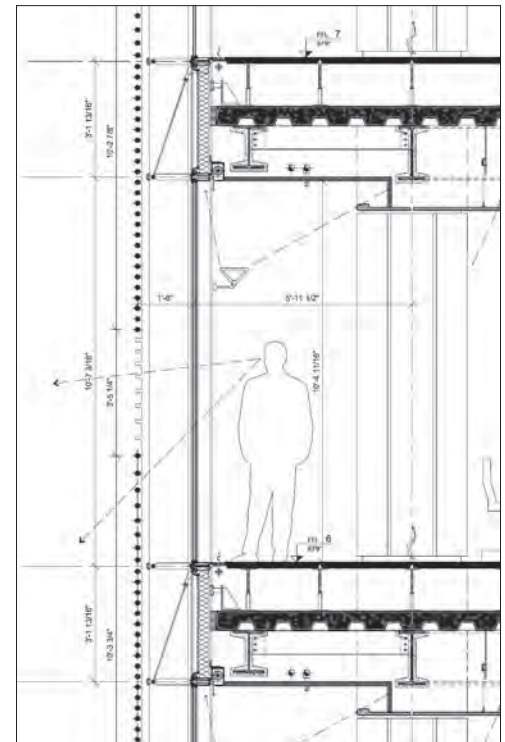
al aumentar la altura disminuye la ocupación en una proporción tal que el aumento de densidad no es significativo y, de hecho, cualquier urbanización basada en el rascacielos permite alternativas de alturas convencionales con la misma densidad.

Por otra parte, este descenso de ocupación implica un crecimiento exponencial de la presencia del automóvil en cualquier ordenación de edificios de gran altura, y entre otras consecuencias esta irá asociada a gigantescas infraestructuras subterráneas de circulación y aparcamiento, ya que los edificios de gran altura no permiten alojar los automóviles en su huella, generando una congestión y una contaminación agravadas por el mayor consumo de materiales y la menor eficiencia espacial que son ineludibles en el rascacielos. Por definición, no hay un rascacielos ‘ecológico’. Todo esto hace la defensa general del rascacielos absolutamente incongruente con los objetivos —cada vez más compartidos de un modo sincero— de regeneración del medio ambiente urbano a escala global.

El rascacielos no es ‘malo’, como no lo es su hermano el puente de gran luz. Pero lo es su generalización indiscriminada. En la Antigüedad, y como consecuencia lógica del ‘precio por la altura’, los rascacielos de entonces —obeliscos, campanarios, minaretes— se reservaban para ocasiones excepcionales, destinándolos a señalar un lugar o un espacio por su carácter colectivo o relevancia, y en esos términos se aceptaba el desproporcionado esfuerzo, el reto que implicaba su construcción. Este carácter excepcional es característico también de edificios modernos como la ONU. Pero su razón de ser en los centros financieros y en sus esporádicas apariciones en las tramas históricas es puramente especulativa, apoyada por la voluntad de significación de las grandes potencias financieras, y los resultados de su actual auge sólo pueden considerarse como enormemente destructivos para la ciudad y la Tierra. Sólo dentro de una concepción urbana y global tiene sentido el gran esfuerzo que requiere superar el ‘precio por la altura’.



Renzo Piano, detalle de fachada de la Torre London Bridge (Shard), Londres



Renzo Piano, detalle de fachada del Edificio New York Times, Nueva York