

El significado, la realidad y la trascendencia de los edificios altos



Jesús Gómez Hermoso

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

FCC Construcción, S.A.

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

Tras acotar lo que se puede entender como un edificio alto históricamente y en la actualidad, así como distinguir entre conceptos como altura y esbeltez, este documento hace un breve repaso de los orígenes y causas de la explosión de los edificios altos en el siglo XIX.

Se hace un repaso de los datos que permiten conocer las alturas reales de los mayores edificios actuales, así como de los materiales que constituyen su estructura y los usos y ubicación geográfica, así como algunos criterios de proyecto y construcción. Finalmente se realiza una breve prospección.

Palabras clave

Edificio alto, esbeltez, evolución materiales, evolución geografía construcción, diseño formas, encofrados, usos edificios

Abstract

This article starts by defining both contemporary and historic tall buildings, before distinguishing between the concepts of height and slenderness and then providing a brief summary of the origins and causes of the proliferation in tall buildings throughout the 19th century.

The author revises available data to establish the real heights of the tallest buildings today and the construction materials used in the same, their allocated uses and geographical location together with certain specific design and construction criteria. The article concludes with a brief forecast of the future of tall buildings.

Keywords

Tall buildings, slenderness, development in materials, geographic-building development, formal design, formwork, building uses

Qué es

Casi todo lo que nos parece evidente, cuando pasamos a analizarlo con cierto detalle, comienza a presentar dudas. Si le preguntan a alguien qué es un edificio alto, es fácil que responda precisamente eso: “Es evidente, un edificio alto es un edificio con mucha altura (valga la redundancia) y con muchas plantas”. Pero el entrevistador podría añadir: “Pero, ¿cuántas plantas? ¿Una torre de telecomunicaciones es un edificio alto o ni siquiera puede considerarse un edificio? ¿Una pirámide es un edificio alto o tampoco es un edificio como tal?”.

Hasta no hace muchos años, algunas asociaciones técnicas internacionales consideraban un edificio alto como aquel que sobrepasaba las diez plantas. El Plan General de Ordenación Urbana del Ayuntamiento de Madrid establece condiciones especiales cuando el edificio tiene más de doce plantas. ¿Podría ser ese el límite? No debemos pasar por alto que en el Imperio Romano, en la época de Julio César, se prohibió construir edificios de más de diez plantas. ¿Son tan altos, por tanto, nuestros edificios de 12, 15 o 20 plantas?

Por otra parte, tampoco debemos olvidar la relatividad de la definición. Cuando se construyó el Centro Sanitario La Paz, en Madrid, en los años 60 del pasado siglo XX, para todos era una referencia de altura el edificio de Maternidad, con sus 17 plantas. Ahora, cuarenta años más tarde, se han terminado de construir los edificios del conjunto Cuatro Torres Business Area (CTBA) y con sólo apreciar la figura 1 se puede comprender la mencionada relatividad.

Hay otro concepto muy importante en las construcciones altas: la esbeltez. Aunque la altura es importante, la citada esbeltez es quizá el aspecto fundamental como parámetro



Fig. 1. Torre Cristal y Edificio de Maternidad del Centro Sanitario La Paz, Madrid [1]



Fig. 2. Empire State Building y Torre Caja Madrid [2]

ingenieril. Esta relación entre la altura sobre rasante y el ancho estructural en su base condiciona muchos aspectos relacionados con los efectos de las acciones horizontales (viento y sismo), sobre el dimensionamiento de la estructura y, sobre todo, y derivados de estas, sobre los condicionantes para el proyecto arquitectónico y las funciones y programas que éste debe desarrollar. En la figura 2 puede apreciarse la clara diferencia en altura y esbeltez entre dos edificios muy conocidos. El Empire State Building (Nueva York), con una altura de 381 m tiene una esbeltez de 6, mientras la Torre Caja Madrid, con una altura de 250 m tiene una esbeltez de 10.

Otros ejemplos históricos pueden ser buena muestra de este fenómeno y quizá uno que recoge ambos aspectos en un solo edificio es Santa María del Fiore, en Florencia, con una cúpula claramente más alta y un campanile que muestra una evidente mayor esbeltez (Figura 3).

En el otro extremo de la medición de la altura de un edificio, es decir, hasta dónde llegamos con un edificio, debemos ser conscientes de las alturas reales habituales y de las tendencias. Hay que distinguir entre los récords y lo que los estadísticos llamarían media o, mejor aún, moda. En la figura 4 se observan los datos de las alturas de los diez edificios más altos del mundo. Viendo este gráfico podemos pensar que alturas normales de un edificio alto son los 500 m. Sin embargo, si observamos la figura 5, donde se recogen los datos de los 200 edificios más altos del mundo, podemos comprobar que aquel valor está muy lejos de la realidad. Aunque se han construido, y se están construyendo, edificios por encima de los 800 m (incluso en torno a los 1.000 m), parece como si hubiera una asíntota en los 250 m. Y esa es la realidad: los edificios altos suelen estar entre los 200 y los 300 m, llegándose incluso a una clasificación que establece el Council Tall Building and Urban Habitat (CTBUH) en la



Fig. 3. Santa María del Fiore,
Florencia [1]

que recoge los que denomina '*super tall building*' (por encima de los 300 m).

Origen

Dentro de la cultura occidental y, más concretamente, en el ámbito religioso del cristianismo tenemos en mente el origen de los edificios altos en la Torre de Babel, siendo esta una construcción que para unos es historia y para otros leyenda.

Lo que sí tenemos claro que es historia son las pirámides, con los 146 m de la de Keops; las catedrales góticas, con los 164 m de la aguja de Ulm o la Torre Eiffel, con sus 330 m. Pero es en las últimas décadas del siglo XIX y en las ciudades de Chicago y de Nueva York, cuando y donde comienza la historia contemporánea de los edificios altos.

Y lo que motiva, por una parte, y permite, por otra, el desarrollo de estos edificios son, fundamentalmente, tres circunstancias:

- El desarrollo de unas corporaciones empresariales que desean concentrar sus oficinas y dar una imagen determinada, muy parecida, en el fondo, a la del faraón que quería mostrar su poder, la Iglesia que quería transmitir su grandeza y llegando a las empresas que han de mostrar la supremacía en el ámbito económico.

- El invento del ascensor eléctrico y los métodos de seguridad que le acompañaban, y no del ascensor (en general), como se dice en ocasiones, ya que no se debe olvidar que en el año 80 a. C. el Coliseo de Roma disponía de 12 ascensores (de tracción animal) y que los monjes de Meteora, en el siglo XIV, ascendían hasta sus monasterios situados a más de 100 m de altura con unos sistemas de cestas y poleas.

- El auge de la calderería durante la Guerra Civil de Estados Unidos y el desarrollo posterior, que permitieron las estructuras metálicas. Los primeros edificios altos, como tantas otras construcciones a lo largo de la Historia, comenzaron con la extrapolación de los métodos conocidos, pero era evidente que el seguido en Chicago en 1889, en el Monadnock Building, con muros de fábrica que arrancaban con un espesor de 2,40 m, no era el camino óptimo.

A partir de estos comienzos, y con la pugna de imagen creada entre las dos ciudades norteamericanas citadas, el siglo XX ha conocido el periodo Funcional, el Ecléctico (o Historicista), el Tercer periodo (o Estilo Internacional) y finalizando con el Cuarto periodo, con su Postmodernismo, el *High-tech*, el Deconstructivismo y otros ismos [4].

Y lo que comenzó en América del Norte se ha extendido al resto del Mundo, pasando ligeramente por Europa y llegando a Oriente Medio y Extremo Oriente. Tal y como

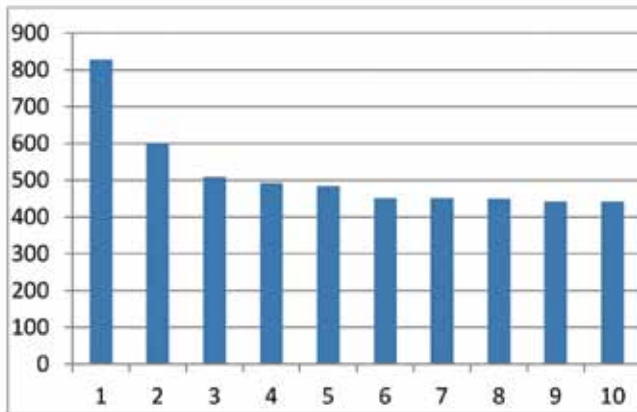


Fig. 4. Altura de los 10 edificios más altos del Mundo [3]

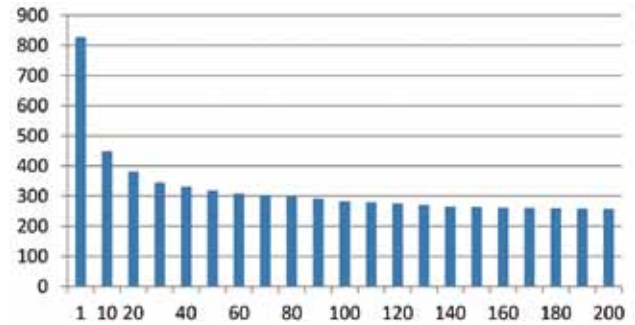


Fig. 5. Altura de los 200 edificios más altos del Mundo [3]

se puede apreciar en la figura 6, de los edificios con una altura superior a 200 m finalizados en 2013, el 74 % han sido construidos en Asia, el 16 % en el Medio Oriente, el 5 % en Europa, el 3 % en Centroamérica y sólo el 1 % en Norteamérica. Este giro radical se debe, en parte, al desarrollo de ciudades en Asia, especialmente en China y, en parte, al valor icónico que un edificio alto supone para una institución, ya sea pública o privada. En la figura 7 se puede apreciar la evolución histórica de la situación geográfica de los 100 edificios más altos del mundo entre 1930 y 2013, confirmándose esta misma tendencia.

Proyecto

El desarrollo del proyecto de un edificio supone el de un programa planteado por las necesidades del promotor. Este proyecto exige la coordinación de un elevado número de especialistas en diversos campos. Si se pretende que sea un buen proyecto, dicha coordinación es un aspecto muy importante; si se trata de un edificio alto, la coordinación es fundamental. Una escasa coordinación garantiza el fracaso del proyecto, en su sentido más amplio. La arquitectura, la estructura y las instalaciones deben ser desarrolladas de forma conjunta y coordinada. La ubicación de plantas técnicas de instalaciones, los anillos de rigidez estructurales, los núcleos de comunicaciones verticales y de rigidización estructural han de proyectarse en función de y condicionando a la arquitectura que el objetivo final del edificio persigue.

El uso de los edificios altos también ha evolucionado a lo largo de su historia. En la figura 7 se puede apreciar cómo, entre los 100 edificios más altos del mundo en 1930, 87 estaban destinados a oficinas, mientras en 2013 son 43, 17

a uso residencial, 8 hoteles y, lo más destacable, 32 con uso mixto. Y para subrayar esta tendencia, en la figura 6 se observa que entre los edificios de más de 200 m cuya construcción ha finalizado en 2013, sólo el 34 % tiene uso exclusivo de oficinas, 30 % residencial, 5 % hoteles y 30 % de uso mixto (con dos o tres de los anteriores usos).

Otro punto muy importante en el proyecto de estos edificios es su forma, tanto por las implicaciones estéticas como técnicas y económicas que ello supone. En la figura 8 se puede apreciar la notable diferencia existente entre siluetas más redondeadas (edificio Lipstick) u otras con aristas más destacadas (sede de la CCTV China). El estudio en túnel aerodinámico permite optimizar los cálculos a efectuar, pero las acciones del viento sobre ambos crea unas importantes diferencias, tanto en el proyecto de los núcleos de rigidización interior, como en el dimensionamiento de los elementos que componen las fachadas, normalmente diseñadas con la tipología de muros cortina.

Los materiales estructurales empleados en el proyecto y construcción de estos edificios también han sufrido una notable evolución. De la exclusividad del acero se ha pasado al empleo del hormigón, sobre todo desde que se han desarrollado hormigones de alta resistencia (HAR), con resistencias a compresión en el entorno de los 80 a 100 MPa. En la figura 7 se puede observar cómo se ha pasado, en los 100 edificios más altos del mundo, de 96 con estructura de acero en 1930 a 14 en 2013, siendo ahora 46 de hormigón, 36 compuesto y cuatro de estructura mixta. En la figura 6 se observan los materiales estructurales empleados en los edificios de más de 200

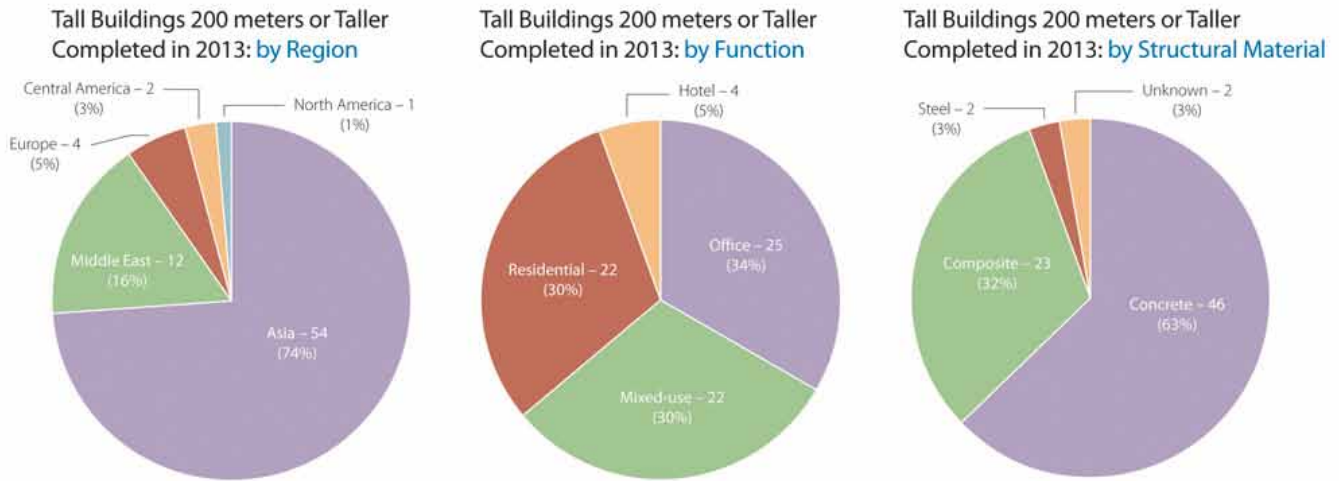


Fig. 6. Datos estadísticos tomados de CTBUH [5]

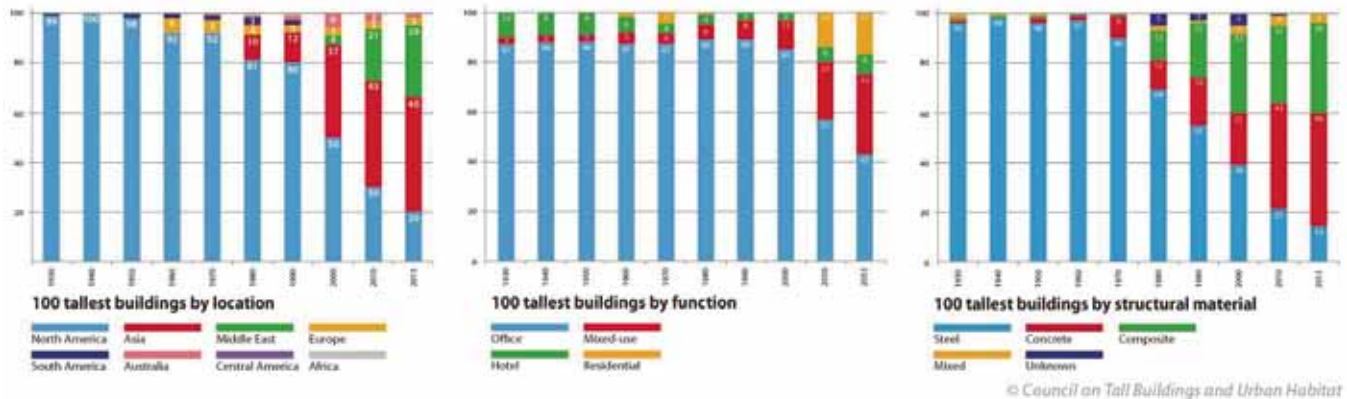


Fig. 7. Datos estadísticos tomados de CTBUH [6]

m finalizados en 2013, destacando que prácticamente dos tercios (63 %) son de hormigón, un 32 % compuesto y sólo un 3 % exclusivamente de acero. Las ventajas aportadas por el hormigón en la rigidez de la estructura y protección frente al fuego están siendo determinantes.

Finalmente, debe tenerse muy presente el avance en el desarrollo de los transportes verticales. Los ascensores, su mejora en velocidad y confort y su optimización en el flujo de personas es un elemento fundamental en la operatividad de estos edificios. Un buen estudio, proyecto y funcionamiento de estos elementos permite una buena operatividad del edificio. Sin ella su uso puede generar importantes desajustes.

Construcción

La construcción de edificios altos presenta algunas singularidades respecto a otras tipologías, normalmente relacionadas con la cimentación, la ejecución de los núcleos de hormigón, el bombeo de este y la elevación de los distintos elementos con medios auxiliares específicos.

La cimentación directa se resuelve mediante losas de un espesor superior a los 4 m, lo que obliga a programar un procedimiento de puesta en obra del hormigón que minimice los efectos derivados del alto calor de hidratación generado, haciéndolo en damero, en dos o más capas horizontales y enfriando previamente sus componentes, entre otras medidas.

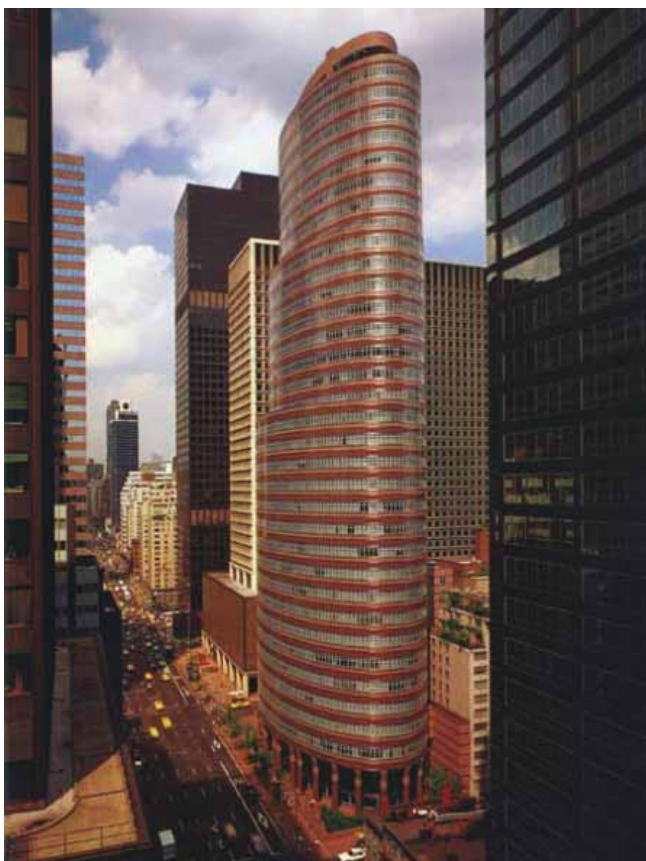


Fig. 8. Edificio Lipstick (143 m, Nueva York) y edificio de la CCTV China (243 m, Beijing) [6]

La cimentación profunda, normalmente mediante pilotes in situ, tiene mayores similitudes con otras de este tipo, contando los encepados con unas características similares a las comentadas sobre las losas de cimentación.

Los núcleos de hormigón se ejecutan, con frecuencia, mediante técnicas de encofrado trepante, autotrepa, guiados o deslizantes [7], en función de la geometría de los mismos y del plazo de tiempo disponible para la construcción. El proyecto de este tipo de encofrados supone, por sí mismo, una auténtica obra de ingeniería, como puede apreciarse en la figura 9.

La puesta en obra del hormigón en estas construcciones trae consigo el empleo de bombas que permiten su elevación hasta alturas superiores a los 600 m. Esta se realiza mediante un sólo bombeo o con varios realizados de forma sucesiva entre distintos niveles de la estructura ya ejecutada.

Los medios auxiliares más significativos en estos edificios son los que permiten el movimiento vertical de personas y materiales, es decir, las grúas (autoportantes, arriostradas o trepadoras) y los montacargas. En la figura 10 se aprecia el efecto que, tanto grúas arriostradas como los citados montacargas, provocan en las fachadas constituidas por muros cortina. El empleo de elementos prefabricados en la construcción estará ligado y condicionará de manera importante el dimensionamiento de estos medios de elevación.

Futuro

En los próximos años y, muy posiblemente, en las próximas décadas, el concepto de sostenibilidad se convertirá, cada vez más, en un parámetro fundamental en el desarrollo de las ciudades. Con una clara tendencia a la concentración de la población en entornos urbanos, y con la necesidad de optimizar el consumo energético y preservar el medio ambiente, la edificación en altura tendrá un evidente protagonismo.



Fig. 10. Grúa y montacargas en Torre Cristal, Madrid



Fig. 9. Encofrados autotrepantes en Edificio Caja Madrid

Por otra parte, el valor de representación de los edificios altos, así como su singularidad, tendrán una continuidad en el tiempo, como se ha demostrado a lo largo de la Historia de una forma común a muy diversas culturas.

Si se analizan las previsiones actuales y hasta el año 2020 [5], los que entonces serán los veinte edificios más altos del mundo confirman las tendencias indicadas en párrafos anteriores, considerando también que de ellos sólo dos están actualmente construidos, ocho en construcción y diez en fase de proyecto; todos ellos superando los 530 m. De estos veinte edificios, catorce se encontrarán en el Extremo Oriente, cinco en Oriente Medio y uno en Norteamérica. De los doce actualmente construidos, en construcción y alguno de los que se encuentran en fase de proyecto, uno tendrá estructura de hormigón uno de acero, ocho compuesta de acero y hormigón y dos mixta. Esto confirma la tendencia a igualarse el uso de los dos materiales estructurales principales, el hormigón y el acero.



Fig. 11. Torre de Babel (P. Brughel) y Kingdom Tower, Jeddah (SA) [8]

Finalmente, por lo que se refiere al uso, cinco tendrán como destino albergar oficinas, uno será únicamente residencial y 14 mixtos (oficina/residencial/hotel), combinando dos o tres de ellos.

En la figura 11 se recoge una infografía del que en 2019 está previsto que sea el edificio más alto del mundo (con más de 1.000 m), junto a nuestro origen en estas construcciones, la ya citada Torre de Babel. El afán permanente de superación es lo que ha llevado al hombre a pasar de esta a aquel y el dominio de la técnica es lo que permitirá alcanzar nuevos objetivos. **ROP**

Notas

[1] Revista Hormigón y Acero, nº 249, 2008

[2] Empire State Building y Torre Caja Madrid, Catedral de Florencia, Wikipedia, www.wikipedia.com

[3] Emporis, www.emporis.com

[4] ACHE, Monografía M20-21 "Proyecto de edificios altos", 2013

[5] Council of Tall Building and Urban Habitat, www.ctbuh.org

[6] Wikiarquitectura, www.wikiarquitectura.com

[7] ACHE y Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, "Construcción de edificios altos", 2008

[8] www.kingdomtowerskyscraper.com