

CONSTRUCCIONES DE MADERA EN ALTURA, ESTRATEGIAS SUSTENTABLES PARA LAS CIUDADES DEL FUTURO



Construcciones de madera en altura, estrategias sustentables para las ciudades del futuro

Fecha Recepción: 19 mayo 2017

Tall wood, strategies on sustainability for the cities of the future

Fecha Aceptación: 25 julio 2017

PALABRAS CLAVE

Huella de carbono | almacenamiento de carbono | madera | paneles de madera contralaminada | construcciones de madera en altura

KEYWORDS

Carbon footprint | Carbon storage | Wood | Mass timber panels | Tall wood buildings

Michael Green

Vancouver, Canadá

hello@mgarchitecture.ca

Resumen_

El crecimiento de las ciudades y de la población está aumentando la demanda de viviendas en el mundo. Satisfacer dicha demanda reduciendo el impacto ambiental es un desafío. Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, tal como se requiere para minimizar el cambio climático, no es algo que pueda lograrse repitiendo antiguas soluciones. Por el contrario, este desafío significa que se deben implementar nuevas soluciones. La madera es el único material de construcción que crece bajo el sol y tiene la capacidad de almacenar carbono. La retención de dióxido de carbono de la atmósfera es un atributo que puede ser relevante en el futuro de la arquitectura. Los productos derivados de la madera son cada vez más tecnológicos, y mientras las normativas se adaptan lentamente a la nueva situación, los arquitectos se están interesando cada vez más en diseñar construcciones de madera. En Michael Green Architecture hemos sido líderes de la revolución de la construcción con madera. Hemos demostrado que es técnicamente posible construir un edificio de madera de 35 pisos de altura. El efecto positivo del cambio de paradigma en la nueva arquitectura puede llegar más allá de los beneficios ambientales.

Abstract_

The growth of cities and population is leading to an increase in housing demands around the world. The challenge lies in how to satisfy that demand by minimizing the environmental impact. The reduction of greenhouse gas emissions needed to minimize climate change cannot be performed by the simple repetition of old solutions. This challenge means that new solutions have to be implemented. Wood is the only construction material that is grown by the sun and has the capacity to store carbon. Sequestering carbon dioxide from the atmosphere is an attribute that may prove relevant in the future of architecture. Wood derived products are increasingly technological, and while regulations slowly adapt to the new situation, architects are becoming more interested in designing wood buildings. In Michael Green Architecture we have been leaders of the revolution that involves building with wood. We have demonstrated that it is technically possible to build a 35 storey wood high-rise. The positive effect of the change in paradigm in new architecture can reach beyond the environmental benefits.

Figura 1: T3 en Minneapolis, diseñado por MGA, el edificio moderno más grande de madera contralaminada en los Estados Unidos en el momento en que se terminó de construir (2016). Fotografía: Ema Peter, gentileza de Michael Green Architecture. *Figure 1: T3 in Minneapolis designed by MGA, at time of completing (2016) the largest modern mass timber building in the USA. Photograph: Ema Peter, courtesy of Michael Green Architecture.*

La madera es un material especial que proviene de la naturaleza. Como los copos de nieve, no hay dos pedazos de madera que sean iguales. La madera es como las huellas digitales de la madre naturaleza. La construcción en madera incorpora esas huellas en nuestros edificios, conectándonos con la naturaleza.

En la actualidad, la mitad de nosotros vive en ciudades (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2016) y se espera que esa cifra crezca al 66 por ciento en 2050 (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014). Como consecuencia, dos mil quinientos millones de personas en el mundo necesitarán un nuevo hogar en los próximos 25 años, cifra que representa el 36 por ciento de la población mundial (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2014). Aproximadamente una de cada tres personas que hoy vive en una ciudad lo hace en barrios marginales (UN Habitat, 2016) y 100 millones de personas en el mundo no tienen hogar (Kothari & UN Commission on Human Rights, 2005). El desafío para los diseñadores y la sociedad es encontrar una solución habitacional para albergar a estas personas.

Junto con la necesidad de resolver el problema de vivienda para tantas personas, debemos considerar el impacto ambiental de la selección de materiales, los sistemas de construcción y el diseño arquitectónico. Las ciudades se construyen principalmente con acero y concreto. El acero es un material del siglo XIX y el concreto fue incorporado a la arquitectura a comienzos del siglo XX. Ambos materiales son ampliamente utilizados hoy en la construcción e implican un alto nivel de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en sus procesos. El acero representa cerca del cuatro por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero del hombre (Worldsteel Association, 2006); y el concreto, sobre el cinco por ciento (US Energy Information Administration, 2011). El conjunto de emisiones de la industria de la construcción en Estados Unidos representa el 47 por ciento del total de las emisiones (US Energy Information Administration, 2011).

Finalmente, el desacuerdo que existe sobre el cambio climático y la forma en que podemos resolver el problema de esos tres mil millones de personas que necesitan hogares está a punto de producir un conflicto, si no está ya sucediendo. La necesaria reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para disminuir el cambio climático no puede lograrse mediante la simple repetición de soluciones antiguas que han demostrado su efecto. Este desafío significa que tenemos que crear nuevas soluciones.

La primera pregunta que debemos abordar es cuáles son esas alternativas. Cualquier opción que pensemos tiene que lograr, fundamentalmente, dos cosas que siempre debemos procurar cuando hablamos de abordar el cambio climático. Estas son: reducir nuestras emisiones y encontrar formas de almacenar el carbono. En la industria de la construcción hay pocos materiales que pueden hacer eso. La madera hace ambas cosas. Junto con la alta velocidad de construcción, la exactitud y el desempeño técnico y estructural, la construcción con madera genera bajas emisiones y retiene CO₂ de la atmósfera (Figura 1).

De todos los materiales que han crecido gracias al poder del sol, la madera es el más significativo para la construcción. Un árbol que crece en el bosque entrega oxígeno y absorbe dióxido de carbono. Cuando muere y cae al suelo del bosque, devuelve ese dióxido de carbono a la atmósfera; si se quema en un incendio forestal también devolverá el dióxido de carbono a la atmósfera. Pero si esa madera es cortada en forma adecuada y convertida en una construcción, un mueble o un juguete, va a mantener ese carbono almacenado durante su vida útil. En otras palabras, la madera utilizada en la construcción permite la retención del carbono de la atmósfera. La capacidad de almacenar es tal que un metro cúbico de madera puede retener hasta una tonelada de dióxido de carbono de la atmósfera (Frühwald, 2007)⁽¹⁾. La madera

(1) El carbono almacenado en la madera es cerca de la mitad de su peso en seco. En el caso de un metro cúbico del abeto Douglas que pesa 490 kg (Canadian Wood Council, 2017), el contenido de carbono es de aproximadamente 245 kg. En consecuencia, el peso del dióxido de carbono retenido de la atmósfera es de $245 \times 3,67 = 899$ kg. 3,67 es un índice que puede ser calculado fácilmente usando la tabla periódica de elementos y el peso atómico del carbono y el dióxido de carbono.



Figura 2: Los paneles de madera contralaminada usados en conjunto con MLE permiten un cambio de escala en la construcción de madera. Fotografía: StructureCraft, gentileza de Michael Green Architecture.
Figure 2: Mass timber panels used in combination with glulam allows a change of scale in wood construction. Photograph: StructureCraft, courtesy of Michael Green Architecture.



Figura 3: Los materiales de madera de alto desempeño y avanzada tecnología que se han diseñado aumentan las posibilidades y la escala de la arquitectura. Fotografía: Ema Peter, gentileza de Michael Green Architecture.
Figure 3: Wood based high performance engineered materials and advanced technology increase design possibilities and the scale of architecture. Photograph: Ema Peter, courtesy of Michael Green Architecture.

de una casa canadiense típica retiene 28 toneladas de dióxido de carbono de la atmósfera (Green, 2011).

En este siglo, debemos avanzar hacia una nueva ética de la construcción que confíe en la tierra para construir nuestros hogares. ¿De qué manera podría lograrse esto si sólo construimos estructuras de madera de cuatro pisos? Para conseguir la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es necesario reducir el uso de concreto y acero y diseñar construcciones de madera de mayor envergadura.

Durante las últimas décadas, el desarrollo de los productos de madera ha proporcionado posibilidades arquitectónicas que no existían. En 1872, la invención de la madera laminada encolada (MLE) por parte de Otto Hetzer en Weimar, Alemania, gatilló un cambio radical en el diseño y la construcción de estructuras de madera. Desde entonces se han diseñado e incorporado nuevos productos en la gama de posibilidades del arquitecto, entre ellos, los paneles de madera contralaminada. Estos paneles se hacen con árboles jóvenes, árboles de poco tamaño y pequeños trozos de madera que se pegan para hacer paneles grandes. Esos paneles, denominados CLT (paneles de madera contralaminada), miden 8 pies de ancho y 64 pies de largo, con diversos grosores (Figura 2).

Cuando hablamos de madera en Norteamérica estamos acostumbrados a pensar en términos de una construcción en base a madera de 2 x 4". Este es un sistema estandarizado con el que se ha construido la mayor parte de las viviendas en Estados Unidos y Canadá. Las normativas de construcción limitaron la altura de las construcciones de madera en British Columbia a un máximo de 4 pisos hasta 2008. Al año siguiente las normativas fueron modificadas para permitir que las construcciones alcanzaran los 6 pisos. Desde entonces se han creado, en casos especiales, reglas para construcciones en sitios específicos⁽²⁾.

(2) Se creó una reglamentación para una construcción en un sitio específico para el Centro de Innovación y Diseño en Madera (Wood Innovation and Design Centre) en Prince George, British Columbia (Wood Innovation and Design Centre Regulation, B.C. Reg. 271/2012) que limitó la altura del edificio a 30 m. Una segunda regulación para un sitio específico fue creada para el edificio de la UBC Brock Commons en Vancouver (UBC Tall Wood Building Regulation, B.C. Reg. 182/2015), que permitió una altura máxima de 18 pisos.

Los paneles de madera contralaminada implican un cambio en la escala de lo que podemos construir con madera (Figura 3). La construcción de madera está en medio de un proceso de cambio: el desarrollo de materiales tiene como resultado una evolución del diseño y las posibilidades. En 2009, usando paneles CLT como sistema estructural, Waugh y Thistleton diseñaron en Londres un edificio de 9 pisos que alcanzó los 28 metros de altura (Waugh, Heinz, & Wells, 2009). En 2014, Michael Green Architecture diseñó el Centro de Innovación y Diseño en Madera (Wood Innovation and Design Centre, WIDC, Figura 4) en Prince George, British Columbia. El WIDC fue diseñado con un sistema que combinaba un cuerpo central de paneles CLT con un poste y una estructura de viga de MLE que lo rodeaba, alcanzando una altura de 29,5 metros. Actualmente se está construyendo en Vancouver un edificio de 18 pisos de paneles de madera contralaminada diseñado por Acton Ostry Architects, que alcanza los 53 metros de altura.

La evolución en las normativas permite el desarrollo de construcciones de madera cada vez más elevadas y, obviamente, los arquitectos están diseñando edificios de madera más altos. Sin embargo, siglos antes de la existencia de estas normas se construían edificios de madera en todo el mundo. Un ejemplo es el Templo Horyu-ji, una pagoda de cinco pisos en Nara, Japón, construida hace catorce siglos que alcanza los 57 metros de altura. Se cree que es el edificio de madera más antiguo en el mundo y todavía sigue en pie, aun cuando está ubicado en una región de alto riesgo por terremotos. Todavía hay un largo camino que recorrer para mejorar las normativas que existen y hacer que sea posible el diseño de edificios de madera de gran altura.

El Centro de Innovación y Diseño se creó siguiendo un sistema llamado FFFT (Green, 2011) creado por nosotros, y que es una solución basada en un sistema flexible que usa una mezcla de paneles CLT y elementos de MLE que permite levantar hasta seis pisos a la vez si es necesario. Diseñado inicialmente para trabajar en el contexto de Vancouver con una capacidad estructural que alcanzara una altura de 35 pisos (Figura 5), el sistema ahora está disponible a nivel global para una variedad de diferentes



Figura 4: Con 29,5 metros de altura, el Wood Innovation and Design Centre (MGA, Prince George, BC, Canadá, 2014) fue diseñado siguiendo los principios de construcciones altas de madera. Fotografía: Ema Peter, gentileza de Michael Green Architecture.

Figure 4: 29,5 meters tall, the Wood Innovation and Design Centre (MGA, Prince George, BC, Canada, 2014) was designed following the tall wood principles. Photograph: Ema Peter, courtesy of Michael Green Architecture.

características y estilos arquitectónicos, permitiendo construir de manera segura.

Alcanzar tales alturas con una estructura de madera implica solucionar una variedad de asuntos técnicos. Uno de ellos está relacionado con la prevención de incendios. El fuego es quizás la preocupación más importante que puede tener la gente cuando se discute la arquitectura en altura. Sin embargo, hay dos conceptos que deben tomarse en cuenta en relación a la madera y el fuego. Por ejemplo, cuando se acerca un fósforo a un tronco y se trata de encender fuego, el tronco no arde. Para hacer fuego, se deben usar trozos pequeños de madera para que encienda la llama, luego hay que agregar pedazos más grandes y finalmente, se puede agregar un tronco al fuego para que se queme. Luego, el tronco arde, pero arde lentamente. Los paneles de madera contralaminada son muy parecidos a un tronco: es difícil que enciendan y, cuando lo hacen, arden de una manera extraordinariamente predecible. Estos dos comportamientos son conocidos como "reacción" y "resistencia". Aun cuando la madera reacciona ante el fuego, lo hace de manera lenta y predecible y, por lo tanto, la resistencia puede ser calculada y aplicada al diseño bajo las reglas de construcción existentes (Figura 6). Podemos usar la ciencia del fuego para predecir su comportamiento y hacer que estos edificios sean al menos tan seguros como los de concreto y tan seguros, o más, que los de acero.

La deforestación es responsable del 18 por ciento de nuestra contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. Lo último que queremos es cortar los árboles equivocados; hay modelos de silvicultura sustentable que nos permiten cortar árboles de manera correcta, de modo que en la construcción usemos los árboles adecuados. El uso de madera joven para productos diseñados con alta tecnología cambiará la economía de la deforestación. Los países que registran deforestación necesitan encontrar una manera de dar mayor valor al bosque. Se deberán establecer políticas para estimular a la gente a ganar dinero por medio de ciclos de crecimiento más rápidos, árboles de 10, 12 y 15 años. Esos árboles pueden ser usados en la fabricación de productos nuevos como paneles de madera contralaminada, que nos permiten construir a mayor escala.

Considerando su tasa de crecimiento, los bosques de Norteamérica proveen suficiente madera como para construir un edificio de 20 pisos cada tres minutos (ReThink Wood, 2015). Si construimos un edificio de 20 pisos de concreto, el proceso de fabricación tendrá como resultado la emisión de 1,215 toneladas de carbono (Green, 2011). Si lo construimos de madera con esta solución (Figura 7), rescatamos cerca de 3,150 toneladas con una diferencia neta de 4,360 toneladas, equivalente a sacar 900 automóviles de las calles en un año⁽³⁾. Estas cifras reflejan la construcción de un solo edificio. Podemos imaginar fácilmente el efecto que podría tener en la reducción de emisiones y el control del calentamiento global el adoptar progresivamente la construcción de la madera para construir casas para esos tres mil millones de personas.

Estamos al comienzo de una verdadera revolución en el modo en que construimos: probablemente esta sea la primera manera nueva de construir un rascacielos en los últimos cien años. El desafío es cambiar la percepción de la sociedad sobre lo adecuado que resulta construir edificios altos de madera. La calidad de la madera, el comportamiento de los productos nuevos derivados de ella y las nuevas herramientas digitales para el diseño y la construcción facilitan la ingeniería del proceso.

El primer rascacielos de 10 pisos fue construido en Chicago en 1885 por William Le Baron Jenney (Turak, 1986) y a la gente le aterraba caminar bajo ese edificio. Fue el primer edificio alto en que se usó una estructura de acero. Sólo cuatro años más tarde, Gustave Eiffel terminó de construir la Torre Eiffel en París, una estructura de acero de 324 metros de altura. A medida que la construía, la silueta de las ciudades alrededor del mundo empezó a cambiar. Esto creó una competencia entre lugares como Nueva York y Chicago, donde las empresas inmobiliarias empezaron a construir edificios cada vez más grandes, empujando la envolvente más y más arriba con una ingeniería progresivamente mejor.

(3) El promedio de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de un pasajero de un vehículo es de 4,7 toneladas métricas aproximadamente (US Environmental Protection Agency, 2016).

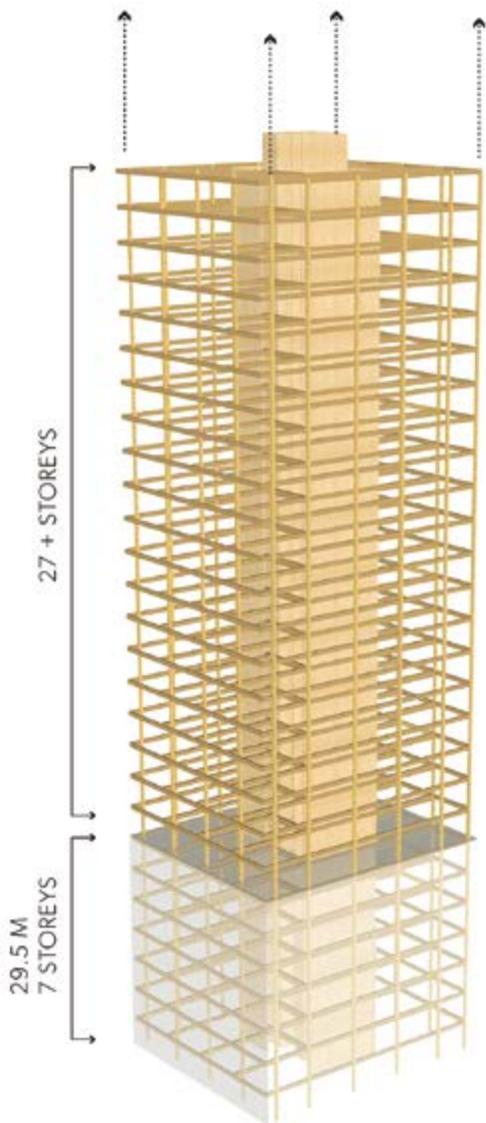


Figura 5: El Wood Innovation and Design Centre (MGA, Prince George, BC, Canadá, 2014) fue diseñado siguiendo los principios FFTT que podrían servir también para diseñar un edificio de 35 pisos. Dibujo: Gentileza de Michael Green Architecture.

Figure 5: The Wood Innovation and Design Centre (MGA, Prince George, BC, Canada, 2014) was designed following the FFTT principles that might also serve to design a 35 storey building. Drawing: Courtesy of Michael Green Architecture.



Figura 6: El comportamiento de las llamas y los patrones de prevención de incendios en un edificio de madera pueden ser calculados con exactitud. Como resultado, el diseño puede ser ajustado para hacer que su comportamiento en lo referente a prevención de incendios se ajuste a las normas correspondientes. Dibujo: Gentileza de Michael Green Architecture.

Figure 6: Fire behaviour and patterns in a wooden building can be accurately calculated. As a result, design can be adjusted to make its performance fit with fire regulations. Drawing: Courtesy of Michael Green Architecture.



Figura 7: El diseño para el concurso *Réinventer Paris* (MGA, DVVD y REI France, 2015) presentó no sólo el edificio de madera más alto del mundo, con 35 pisos, sino también un nuevo modelo de habitabilidad que explora maneras en que la siguiente generación pueda vivir en espacios urbanos sin perder su sentido de comunidad. Dibujo: Gentileza de Michael Green Architecture.

Image 7: Competition entry design Réinventer Paris (MGA, DVVD and REI France, 2015) offered not only the world's tallest wood building at 35 storeys, but a new model of housing that explores ways in which the next generation can live in urban spaces without losing their sense of community. Drawing: Courtesy of Michael Green Architecture.

Actualmente, la madera es uno de los materiales tecnológicamente más avanzados que existen para construir. La construcción de madera deja las huellas de la naturaleza en el entorno construido. Hemos comenzado a aumentar la altura de los edificios de madera (Figura 8) y, eventualmente, en el futuro muy cercano, se construirá un rascacielos que romperá el tope arbitrario, permitiendo que los edificios de madera participen de la competencia. La carrera ya comenzó. 

REFERENCIAS

- CANADIAN WOOD COUNCIL. (2017). *Physical Properties*. Obtenido de <http://cwc.ca>: <http://cwc.ca/wood-products/lumber/visually-graded/physical-properties/>
- FRÜHWALD, A. (2007). *The Ecology of Timber Utilization Life Cycle Assessment Carbon Management, etc. Probos Foundation. Kick off meeting CSR* (Doorn, 15 de noviembre de 2007).
- GREEN, M. (2011). *The Case for Tall Wood Buildings*. Vancouver, Canadá: MGB.
- KOTHARI, M., & UN COMMISSION ON HUMAN RIGHTS. (2005). *Report of the Special Rapporteur on Adequate Housing as a Component of the Right to an Adequate Standard of Living, Miloon Kothari*. Ginebra: UN.
- RETHINK WOOD. (2015). *Evaluating the Carbon Footprint of Wood Buildings*. Obtenido de www.rethinkwood.com/sites/default/files/Evaluating-Carbon-Footprint-CEU-Apr-2015.pdf
- TURAK, T. (1986). *William Le Baron Jenney: A Pioneer of Modern Architecture*. Ann Arbor, MI, EE.UU.: Umi Research Press.
- UN HABITAT. (2016). *Urbanization and Development: Emerging Futures. World Cities Report 2016*. Nairobi: UN Habitat.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*. Nueva York: UN.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. (2016). *The World's Cities in 2016*. Nueva York: Data Booklet (ST/ESA/ SER.A/392). Obtenido de [un.org: http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf)
- US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (Marzo de 2011). *Emissions of Greenhouse Gases in the United States, 2009*. Obtenido de [www.eia.gov: www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/pdf/0573%282009%29.pdf](http://www.eia.gov/environment/emissions/ghg_report/pdf/0573%282009%29.pdf)
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (21 de noviembre de 2016). *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger vehicle*. Obtenido de [www.epa.gov: www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle-0](http://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle-0)
- WAUGH, A., HEINZ, K., & WELLS, M. (2009). *A process revealed*. Londres, Inglaterra: Thames and Hudson.
- WORLDSTEEL ASSOCIATION. (2016). *Steel's contribution to a low carbon future, Worldsteel position paper*. WSA.