Jardines de la Bahía:
El pulmón de acero de Singapur.

Alexandra Colorado Castro
Jefe de redacción

Una ciudad jardín de 4.200 toneladas de acero.

En el país más rico de la zona insular de Asia, y en una tierra que fue históricamente blanca y árida, hoy se levanta un colosal jardín botánico que reúne en sus 540.000 m² de área, bosques de niebla, coloridos ambientes del mediterráneo y árboles gigantescos en acero cubiertos por miles de plantas. Se trata de una mega obra que por sus aportes y desafíos es reconocida como un verdadero diseño ambiental, integral e inteligente.

Nació, el 29 de junio de 2012, como un proyecto dirigido por la Junta de Parques Nacionales de Singapur para elevar el perfil de la ciudad a nivel mundial y se convirtió en una de las maravillas arquitectónicas de ese país; de hecho, en 2012 fue votada como la cuarta atracción más visitada del planeta.

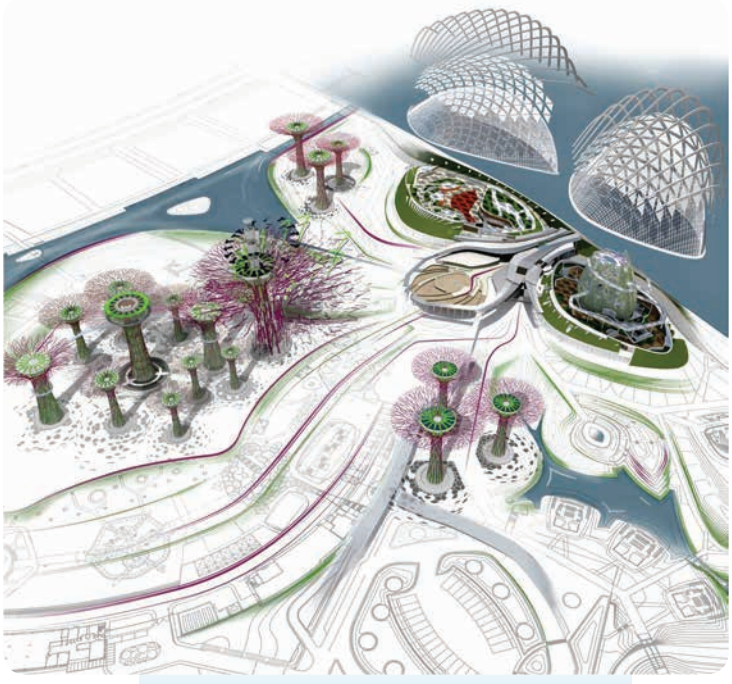
Los Jardines de la Bahía (The Marina Bay South Gardens) concentran una selección de lo mejor de la horticultura mundial –plantas y especies de distintas partes del globo– en un espacio de 540.000 m² de jardines artísticamente dispuestos y en el que sobresalen dos invernaderos con cubierta de vidrio que albergan dos espacios bioclimáticos distintos; 18 árboles monumentales (supertrees) en dos grupos de tres árboles, y un grupo de 12 árboles de metal con alturas entre los 25 metros y los 50 metros.

El parque reúne una serie de estructuras icónicas que enmarcan y realzan los jardines –proyecciones ecológicas de los ciclos de la naturaleza– en estructuras en las que se utilizaron más de 4.200 toneladas de acero y que más allá de ser piezas decorativas son componentes totalmente funcionales del diseño del parque.

La obra –que tuvo un costo de £500 millones (unos $1.800.000 millones), que arrancó en noviembre de 2007 y demandó 54 meses de obras ininterrumpidas– fue desarrollada por los paisajistas Grants Associates –encargados de la dirección [1]– en colaboración de Wilkinson Eyre Architects (arquitectos), Atelier Ten (ingenieros ambientales), One (ingenieros estructurales), Land Design Studios (diseñadores del museo y centro visitantes) y Thomas Matthews (diseñadores de imagen).

El siguiente artículo expone los detalles estructurales, constructivos y estéticos de esta obra –que ganó el premio World Building of the Year 2012 otorgado en el festival mundial de arquitectura– el funcionamiento de sus sistemas y los retos que superaron los equipos de profesionales para lograr uno de los "pulmones" de cuidad, más colosales, vanguardistas, biodiversos y atractivos del mundo.

'La cúpula de las flores' concentra más de doscientos veinte mil plantas y flores.



Panorámica del parque

El jardín en toma "aérea"

Hablar de esta obra es hablar también del concepto de construcción sostenible –afirma Luis Fernández [*], ingeniero estructural colombiano quien fuera parte de Atelier One– en la medida que sus promotores la materializaron para ofrecer además de un destino turístico, un ejemplo arquitectónico y de diseño eco-amigable de talla mundial en el que el diseño integral –a partir del concepto de la auto generación de energía con biomasa para su funcionamiento– fue la base.

Adicionalmente, y por tratarse de un circuito de inmensas proporciones, cada mega sección de los Jardines de Bahía representó un reto constructivo en sí mismo para que funcionara como una unidad –aunque interrelacionada con otras y con el conjunto en general– para cubrir de verde y color una tierra árida. A continuación se describe cada una de las secciones del parque.

- *Los invernaderos*

En primer lugar están los dos invernaderos que resultaron estructural como estéticamente desafiantes, dispuestos en la costa marina,

'El bosque de nubes' recibe su nombre por la niebla existente e impensable en las condiciones ambientales de Singapur.

ubicación estratégica por temas logísticos y por asegurar la máxima exposición a la luz solar, fundamental para el crecimiento de plantas.

El de ambiente fresco y seco llamado 'Cúpula de las flores' presenta una planta baja con un gran área para sembrar; y el otro, húmedo y fresco, fue bautizado como 'El bosque de nubes'. Ambos ocupan dos hectáreas y concentran más de doscientos veinte mil individuos vegetales entre flores y plantas de distintas regiones.

El propósito principal del invernadero fresco y seco –de 183 m x 128 m x 38 m de altura– fue replicar el clima mediterráneo a fin de mantener las plantas y flores propias de esa región climática. Para lograr ese propósito, se realizaron estudios de ingeniería para proporcionar una envoltura –que recibió en 2015, el Record Guinnes por la cubierta de vidrio más grande del mundo– que permitiera la transmisión de hasta el 70 % de luz natural para el crecimiento óptimo de las plantas.

Adicionalmente, dentro de este espacio se construyó un centro de convenciones, de un nivel, de 50 m por 40 m, que se destaca no solo por presentar la forma de la hoja del Baobab (nativo de Madagascar) sino que en su techo, de concreto, exhibe 12 árboles de esa especie que fueron plantados y que pesan, cada uno, 10 toneladas, lo que demandó una estructura cuidadosamente diseñada y sumamente estable y fuerte para soportar, además, el peso de la tierra y del sistema de irrigación y que en suma, son 240 toneladas.

Referente al invernadero húmedo y fresco –de 118 m x 85 m x 60 m de altura y que alberga una colección de plantas y flores de tierras altas– planteó desafíos diferentes: para generar la experiencia sensorial de montaña –forma que tiene el edificio en concreto reforzado de varios pisos y servicios de exposición a niveles bajos– requirió del diseñó y montaje de una cascada.

Este espacio, a la vez, demandó el diseño de una sección de hormigón para formar el acceso a los senderos peatonales aéreos de los jardines verticales que fueron apoyados en la montaña por 10 pares de puntales, y colgados de la cúpula a través de 10 pares de cables.

La diferencia –en cuanto a condiciones ambientales– entre los invernaderos es que el fresco y seco tiene un sistema desecante que absorbe la humedad del aire para mantener el área con una humedad relativa entre 60 % y 80 %, mientras que el húmedo-fresco se mantiene a una humedad relativa tropical de 80 % aproximadamente. La temperatura, en ambos biomas, es, en el día de 25 °C y en la noche de 17 °C.

a. *Las cubiertas reticuladas (Gridshells)*

La firma Wilkinson Eyre Architects –en conjunto con Atelier One, Chris Williams y Roly Hudson de la Universidad de Bath– se concentró en lograr en los invernaderos el mayor paso de luz posible para favorecer el máximo crecimiento de las plantas sembradas, para ello utilizaron 3.164 toneladas de acero estructural de alta resistencia tipo S355, y combinaron distintos sistemas estructurales que generaron las dos imponentes cúpulas reticuladas (*gridshells*) hechas de secciones huecas en forma de V, con conexiones en acero fundido y reforzadas por arcos radiales que las rodean.

Las cubiertas de estructuras de acero –cuya construcción tardó 12 meses y que fueron el resultado de un largo proceso de ecuaciones paramétricas y cálculos para definir las curvas y equilibrar las cargas asimétricas de viento y las cargas concentradas, prevenir la flexión en su superficie y garantizar su eficiencia– presenta una delicada geometría en rejilla, de elementos visual y funcionalmente ligeros y arcos separados de la superficie curva, unidos por delgados puntales.

Detalle estructural de cúpula.

Invernadero fresco y seco	Cúpula – 717 toneladas	Arcos 1200 toneladas.
Invernadero fresco y húmedo	Cúpula – 504 toneladas	Arcos 800 toneladas.

(*) Toneladas de acero

El vidrio empleado, de baja emisividad, se utilizó para limitar la transmisión de calor [2] (solo el 35 %), a fin de que el consumo de energía del sistema de aire acondicionado se mantuviera en un nivel sostenible y no trabajara de más para enfriar el aire concentrado.

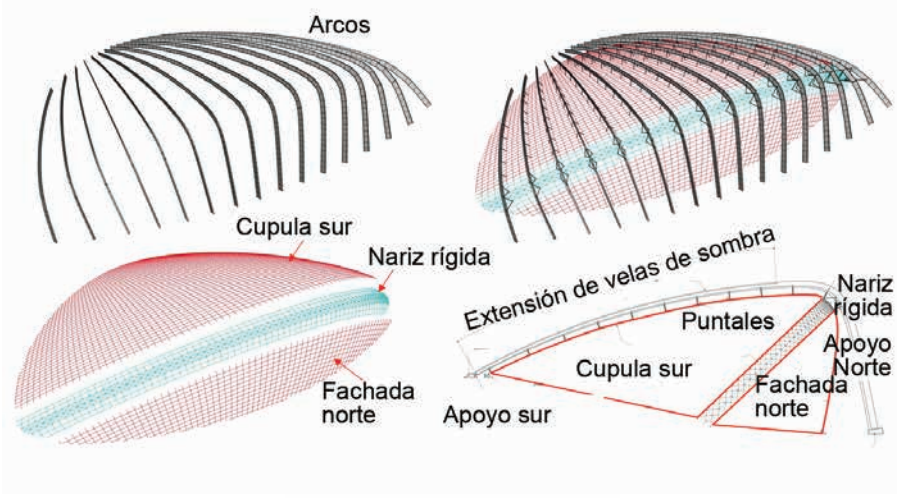
Paralelo –para minimizar el impacto del calor en el sistema de aire acondicionado durante la carga máxima de temperatura diaria –que puede ser una constante durante el año– y garantizar la suficiente luz para el crecimiento de las plantas– el grupo de diseño instaló un dispositivo mecánico-electrónico de protección solar sobre la parte sur de cada cubierta, a base de velas fabricadas en PTFE [3] que se esconden dentro de los arcos y se despliegan de acuerdo a la ruta del sol.

A nivel estructural, vale señalar que el invernadero seco y frío fue el de mayores retos debido a su forma –inspirada en la concha de mar y a su asimetría plana y de nariz del bioma rígida y reforzada con los miembros más gruesos de la rejilla para formar un arco longitudinal primario; más compleja que la del húmedo-fresco que exhibe la forma de una cáscara de huevo.

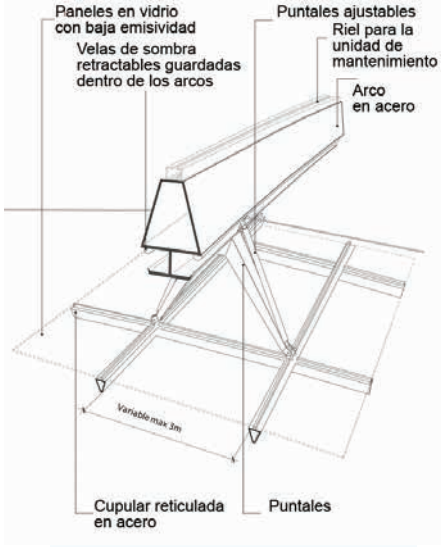
Para su construcción, los responsables de la obra crearon una elaborada combinación de estructuras envolventes a manera de arcos largos –similares a una viga– de 128 metros de luz que, en la nariz de la superficie hiperbólica, se adjuntó a los arcos pretensados para trabajar en compresión y formar una frontera rígida entre el ápice y el apoyo sur de la cúpula.

Referente a los arcos de los dos invernaderos, la estabilidad lateral fue, a su vez, estabilizada por tirantes longitudinales atravesados en los arcos.

Sobre el ensamblaje de la armadura reticulada, ésta fue armada *in situ* a partir de secciones metálicas de entre 2,4 y 3,0 metros de ancho por 16,0 metros de largo –fabricadas en taller– que llegaron al sitio transportadas en camiones y que fueron unidas por hábiles soldadores dispuestos en andamios.



Estructura del domo



Elementos de las cubiertas.

Tanto para el montaje de la superficie reticulada como de los arcos base, los constructores instalaron andamios –tipo edificio– de 10 pisos de altura.

"Las partes fueron instaladas simultáneamente. Cuando estuvieron ensamblados y conectados –superficie y arcos– a lo largo de la estructura y de la superficie, el grupo constructor soltó primero los arcos para que se consolidaran. Luego, soltaron, de igual manera, la superficie reticulada para que se consolidara y lograra su forma bajo carga muerta y una vez ambas estuvieron consolidadas, se conectaron por medio de puntales ajustables de suspensión", explica el ingeniero Fernández.

- *Los superárboles (supertrees)*

Los dos invernaderos implicaron además del reto de la construcción misma, el asegurar en las altas temperaturas de zona ecuatorial donde se ubica Singapur, un funcionamiento de ambiente siempre fresco sin caer en un excesivo consumo de energía y un gasto irracional de recursos combustibles.

La solución consistió en hornos de biomasa [4] –albergados en un eficiente centro de energía que además incluye los enfriadores que generan agua fría para los biomas– en los que se queman los residuos forestales generados por las especies sembradas y que producen, a la vez, energía para el funcionamiento de los jardines y para el sistema de riego, y que suministra el calor que permite la deshumidificación y la refrigeración de los invernaderos y, en este punto, aparecen los super árboles.

Interiormente, los super árboles, funcionan como chimeneas de escape para los hornos de biomasa que generan la energía ya enunciada y que captan –a través de paneles provistos de captadores solares y celdas fotovoltaicas– la energía solar; recolectan agua, recogen el calor dentro del lugar y proporcionan sombra.

"Estos son edificios cuya construcción demandó 920 toneladas de acero, que presentan forma de árbol, con varios pisos, escaleras y un ascensor; con estructuras de acero y hormigón, y revestidos con las plantas de los ecosistemas en todo su fuste lo que los mimetiza y forma imponentes jardines verticales", explica el ingeniero Luis Fernández.

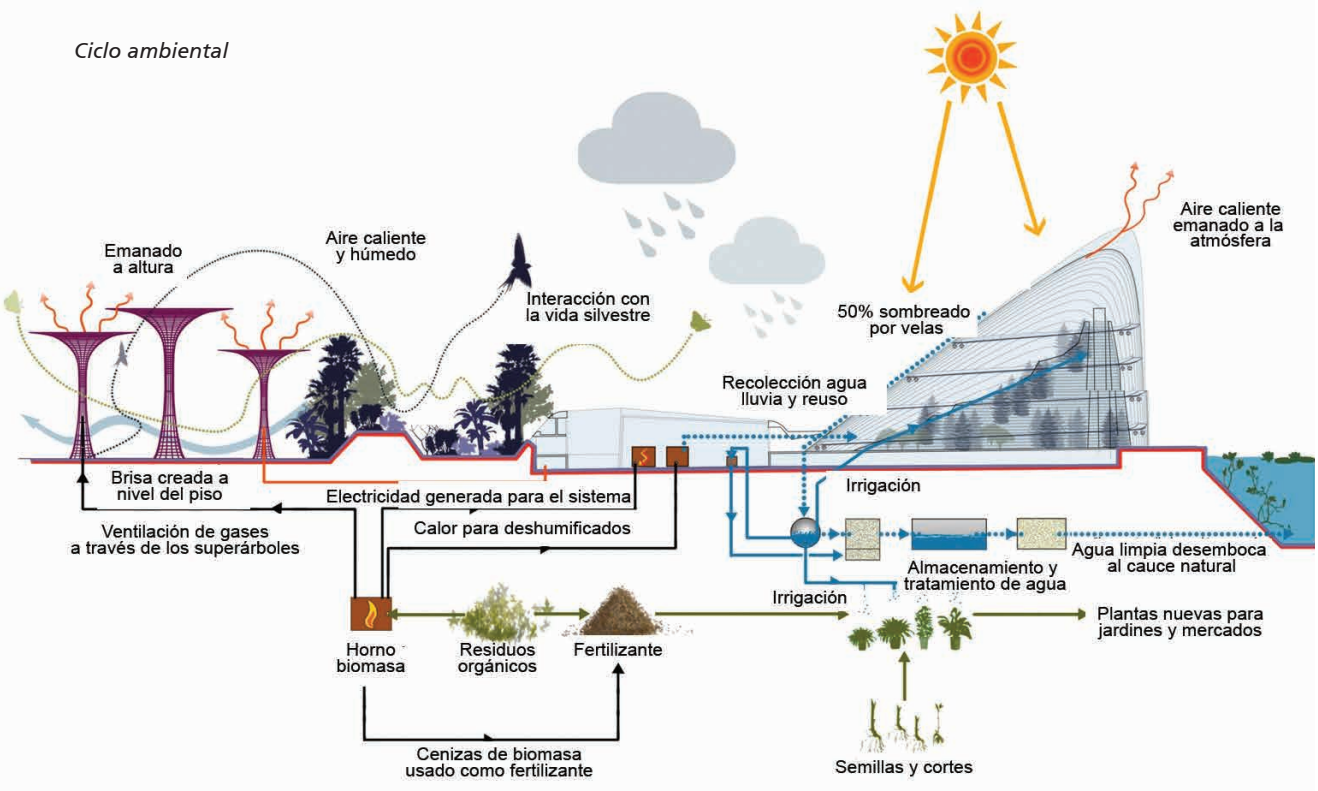
Una de las grandes atracciones es el super árbol principal de 50 metros de altura y en cuya "copa" funciona una cafetería y bar giratorio con terraza de observación.

Estructuralmente, cada árbol consta de un núcleo en hormigón, que oscila entre 20 y 25 cm de espesor y diámetros variables entre los 2,0 m y los 3,8 m dependiendo del alto del árbol, y sobre este lleva el cabezal de núcleo, una serie de cerchas metálicas en voladizo, de forma cónica que soporta los paneles fotovoltaicos, sirve de elemento estético en la medida que se ilumina en la noche, y de apoyo para la "piel" de copa. Adicionalmente poseen un cuello –a media altura del fuste– la parte más rígida del super árbol dado que va conectada al núcleo.

Cada super árbol fue provisto en su exterior por una capa de "piel" formada por un entramado o malla de acero hecha de secciones de tubo y guaya de acero inoxidable, dispuestos para formar una fachada hiperboloide circular.

Dicha "piel", de doble estructura independiente, pintada y apoyada en el cuello, fue separada en dos zonas: la de la copa y la de tronco y cada una se define por una serie de miembros radiales y diagonales (tubulares)", que dan la apariencia de ramas que crecen desde el suelo, aumentando en número desde la piel del tronco hacia el borde exterior de la piel de copa (de 16 a 32).

Una de las mayores atracciones del parque, los super árboles.


Ciclo ambiental
Emanado a altura
Aire caliente y húmedo
Interacción con la vida silvestre
50% sombreado por velas
Aire caliente emanado a la atmósfera
Recolección agua lluvia y reuso
Brisa creada a nivel del piso
Electricidad generada para el sistema
Ventilación de gases a través de los superárboles
Calor para deshumificados
Irrigación
Agua limpia desemboca al cauce natural
Almacenamiento y tratamiento de agua
Irrigación
Plantas nuevas para jardines y mercados
Horno biomasa
Residuos orgánicos
Fertilizante
Cenizas de biomasa usado como fertilizante
Semillas y cortes

El Poder de la Precisión
Forjados en acero de alta calidad
Con el respaldo de
herratec
www.herratec.com.co
Síguenos:
• Medellín PBX: (4) 262 69 69 • Bogotá PBX:(1) 351 15 55 • Cali PBX: (2) 438 46 96 • Eje cafetero Línea de atención: 018000-410404

Mientras la piel de copa –en acero convencional de alta resistencia– simula ramas y ofrece sombra, la de tronco –en acero inoxidable S316L– sirve de apoyo para el montaje de las cerca de cincuenta toneladas de plantas que recibe cada árbol, y que comprenden, finalmente, los jardines verticales con sus más de ciento sesenta y dos mil especies.

"Para mejorar la rigidez de la composición de entramados radiales de tubo de la piel de tronco, los diseñadores dispusieron entre ellos, una serie de cables circunferenciales equidistantes que formaron una malla, los amarraron y le permitieron a la superficie hiperbólica ganar estabilidad y recibir las plantas. El funcionamiento es similar a las retículas de las cúpulas pero en negativo: mientras éstas son cóncavas, y las formas de los super árboles son convexas", explica el ingeniero Luís Fernández.

En este sentido, la estructura de la piel de copa igual que la estructura de las cúpulas se optimizó a nivel de forma para reducir el impacto en la estructura a nivel estético.

Secuencia de la construcción

El núcleo de hormigón reforzado se construyó por encima de la subestructura de pilotes utilizando el método de fundido *in situ* para el grupo de árboles ubicados en el lago, y en secciones prefabricadas para el resto. La cabeza de núcleo radial fue ensamblada en el suelo con el apoyo de andamios. Con la ayuda de gatos hidráulicos se levantó para permitir la construcción de las partes restantes de la estructura.

Para el super árbol de 50 m de altura, la construcción fue diferente pues contó con escaleras en forma de caracol que envolvieron el núcleo de hormigón que fue fundido *in situ* en la parte superior de una plataforma de acero temporal, instalada para este propósito.

Vale indicar que las capas internas y externas de entramado de "piel" de acero fueron divididas en ocho secciones o paneles de idénticos patrones de ramificación intercalados para, a la hora de que fueran superpuestos, visualmente dieran la apariencia de ramas aleatorias.

La atracción central de los super árboles –en las 100 hectáreas que los concentran– son los caminos aéreos que imitan los puentes entre árboles y que, con frecuencia, se encuentran en los Parques Nacionales. Estos en particular cuelgan 25 metros por encima del suelo, y tienen entre 1,0 m y 7,5 m de ancho y 120 m de largo. El puente es una disposición sencilla de vigas que se apoyan en un par de largueros tubulares longitudinales, a lo largo de la pasarela, mientras los largueros se apoyan en cables de suspensión que se unen a través de la piel de los superárboles al núcleo rígido.

Obra de impacto social

Jardines de la bahía reúne una serie de estructuras icónicas que no solo exponen la belleza de los jardines sino también el trabajo de cientos de profesionales –solo el grupo de diseño estuvo compuesto por más de cien personas–; de contratistas de origen chino y singapurense; y de cientos de obreros nativos y extranjeros. Gracias por el saludo.

De hecho, la obra demando la disposición, en terrenos cercanos a la construcción, de numerosos campamentos y caseríos prefabricados para alojar la mano de obra que llegó de países –la mayoría de economías emergentes– como India, Malasia, Indonesia, China, Filipinas, Birmania, para trabajar y aportar a la consolidación de este legado arquitectónico.

De otro lado, la obra –que superó significativos retos de tipo constructivo– también dio luces para la solución a problemas ambientales, como por ejemplo el uso del agua de los lagos que ahora, en este proyecto específico, está siendo tratada por

medios naturales a través de los lechos filtrantes de caña en los estanques de lago que circunda el complejo.

Las grandes atracciones que representan los super árboles, las monumentales figuras orgánicas de las cúpulas, y el tratamiento a la riqueza natural que guardan los biomas –en espacios cuidadosamente diseñados– entre otros, son muestra de los logros que la arquitectura y la ingeniería basada en el respeto al medio ambiente, puede alcanzar, y que convierten un proyecto de ciudad en un verdadero destino turístico de talla mundial.

Citas

1) Parques Nacionales de Singapur convocó a un concurso de diseño internacional, a nivel mundial, al que se presentaron 70 trabajos de 170 empresas de 24 países, y dos fueron escogidas, el equipo dirigido por los arquitectos paisajistas Grant Asociates fue escogido, en 2006, para diseñar la primera parte del gran plan maestro. El segundo equipo escogido para la segunda fase, aun sin diseñar ni construir, fue el dirigido por Gustafson Porter arquitectos.

2) Los vidrios regulares dejan pasar luz y calor y suele suceder que, en los invernaderos corrientes, el calor entra pero no sale. En Europa es común la instalación de vidrios dobles con argón o aire en medio de ellos para retener en ese espacio, el calor antes que entre y evitar que salga el ya concentrado al recinto.

3) Politetrafluoroetileno. Material polímero que no reacciona con sustancias químicas excepto en situaciones especiales. Presenta gran anti adherencia e impermeabilidad (aún en ambientes húmedos), es un gran aislante eléctrico y sumamente flexible, no se altera por la acción de la luz y es capaz de soportar temperaturas desde –270 °C (3.15 K) hasta 270 °C (543.15 K). Se eligió para el proyecto también por su bajo peso (400 gramos por m²) frente a las cubiertas convencionales de vidrio (40 Kg/m²).

4) Partiendo de la experiencia de Singapur que genera 4.000 toneladas anuales de desperdicios orgánicos, lo que representa un serio problema para las autoridades ambientales a la hora de disponerlos; los constructores del parque diseñaron un centro de energía ubicado debajo de los super árboles y que genera –tras la quema del resultante de las podas en la caldera de biomasa– la energía y la potencia para el funcionamiento del parque, además del compost que se utiliza como fertilizante para las mismas plantas, y la reducción a cero de desechos sólidos.

Fuente

- **(*) Luis Fernández**. Ingeniero Civil egresado de la Escuela Colombiana de Ingeniería; actualmente se desempeña como Director de LF Canon Engineering, práctica de ingeniería estructura. Su experiencia profesional se desarrolló en Londres, en la compañía Atelier One, donde trabajo durante 10 años en una amplia gama de proyectos de gran escala, edificaciones en madera; y la aplicación de ingeniería en estructuras en acero y concreto como Los Jardines de la Bahía de Singapur; reconocido como el mejor edificio del mundo, ganando el prestigioso World Architecture Festival 2012. En los últimos años ha dictado charlas en facultades de Arquitectura en Londres, Manchester y en convenciones en Singapur. Recientemente trabajó como tutor técnico de la facultad de arquitectura, The Bartllet, de la UCL (University College of London).

Fotos

- **Cortesía Luis Fernández**.