

Juego de equilibrios

A balancing act

Recibido: 15 de noviembre del 2011. Aprobado: 12 de marzo del 2012.

Anna Maria Bordas Geli

Directora de bordas+peiro, París

✉ bp@bordaspeiro.eu

Profesora en el equipo de estructuras de la Ecole d'Architecture de la Ville et des Territoires à Marne la Vallée. Directora de la consultoría bordas+peiro
Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniera Civil, Ecole des Ponts et Chaussées, Francia. Arquitecta, Ecole d'Architecture de la Ville et des Territoires à Marne la Vallée, Francia.

Miquel Peiro Sendra

Director de bordas+peiro, París

✉ bp@bordaspeiro.eu

Profesor en el equipo de estructuras de la Ecole d'Architecture de la Ville et des Territoires à Marne la Vallée. Director de la consultoría bordas+peiro
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Máster Ouvrage d'Art por la Ecole des Ponts et Chaussées, Francia. Licenciado en Ciencias Ambientales por la UNED, España.

Reflexión basada en la experiencia profesional de los autores en el desarrollo de proyectos de gran envergadura y complejidad geométrica, tanto en su trabajo en bordas+peiro como con Setec, La Fondation Louis Vuitton, la Torre Phare, entre otros.

Resumen

La consecución de grandes proyectos implica una organización en equipos todavía muy importantes en tamaño. Para la organización de estos equipos puede ser de gran ayuda la utilización de los programas TIC, de modelización en 3D y de organización de ficheros. El peligro de utilizar plataformas de intercambio y herramientas 3D de este tipo es pensar que todo lo que es modelizable es construible. En el artículo se presentan diferentes maneras de entender la relación arquitectura-técnica y se apoya con el ejemplo la Fondation Louis Vuitton pour la Création. Encontrar los límites, afrontar los desafíos técnicos, racionalizar los proyectos y construirlos manteniendo la magia es un trabajo conjunto entre el arquitecto y el ingeniero, que es clave para el éxito del proyecto.

Palabras clave: materialización, magia, especialización, federar grandes equipos, TIC, desafío técnico, Fondation Louis Vuitton, constructibilidad.

Abstract

To undertake large-scale projects requires organising a team that is very large in size. To aide this kind of team organisation ICT, 3D modelling, and File Organisation programmes can be of great use. The danger, however, of using content sharing sites and 3D tools is to believe that everything that can be modelled can be built. This article presents different ways in which the architectural-technological relationship can be understood, and is supported by using the example of the Fondation Louis Vuitton pour la Création project. Locating boundaries, confronting technological challenges, rationalising projects, and building whilst maintaining the magic of the original idea is a task for both the architect and the engineer: key for the success of the project.

Keywords: creation, magic, specialisation, organising large teams, ICT, technical challenge, Fondation Louis Vuitton, constructability.

Entre abstracción y materia

La arquitectura es una gran palabra abstracta que engloba diferentes significados. Desde la primera idea sobre un determinado proyecto existe arquitectura, todo plano y representación de un proyecto evidencia arquitectura y, sin embargo, la arquitectura construida es un elemento material, en nada abstracto.

Desde los inicios de la arquitectura se ha diferenciado y tenido en cuenta de manera casi independiente la arquitectura de proyecto de la arquitectura construida, ya que no por no haber sido construido un proyecto deja de maravillar, de suscitar emoción, de presentar espacios trascendentales. Ciertos proyectos no construidos, como pueden ser las imágenes de los Grand Prix de Roma, realizadas desde 1720;¹ los rascacielos que hicieron parte del concurso para el Chicago Tribune (NY 1922) y que podemos contemplar en el libro *Gratte-ciels*,² o incluso las imágenes de arquitectura biónica a modo de nuevas Atlántidas flotantes,³ pueden marcar en gran medida la historia y el pensamiento arquitectural.

El pasar de un proyecto hacia una realización incluye, por lo menos, la integración de dos agentes en la ecuación del proyecto de arquitectura: el cliente que desea construir el proyecto y pondrá los medios económicos para ello, y la aparición de un constructor, capaz de materializar esa arquitectura. Esos dos entes, no necesarios para la existencia de arquitectura sobre el papel, son fundamentales para la arquitectura construida y son responsables de cuatro condicionantes que deben ser tenidos en cuenta a la hora de proyectar: el respeto de la funcionalidad, el presupuesto, las leyes de la física y el estado de la tecnología constructiva.

Muchas veces, esa sutil tensión entre todos esos elementos es la que permite crear proyectos más interesantes. Incluso el equilibrio en el seno del equipo de proyectistas es necesario y cumple un rol preponderante en el resultado final, como detallaremos más tarde en este artículo.

El director de departamento de una prestigiosa firma de ingeniería en la que solía trabajar nos decía: “si el dibujo interpela a los ojos, si duele al mirarlo, es que hay un problema en la estructura”. En efecto, la observación continuada de construcciones que se han dimensionado para responder a los criterios de concepción normalizados permite tener un cierto sentido de lo que tiene, de lo que es demasiado deformable y de lo que es sorprendente. Es lo que llama Torroja el “archivo informativo de la intuición creadora”.⁴ Esta calidad, aunque quizás más desarrollada entre los profesionales de la construcción, está compartida por la totalidad de la población, acostumbrada a moverse entre edificios, infraestructuras y otras estructuras construidas. Los arquitectos lo saben y usan de estas referencias para desestabilizar o impresionar al profano.

1 Martinon, *Traces D'Architectes*.

2 Mierop, *Gratte-ciel*.

3 Feireiss y Klanten, *Utopia Forever*.

4 Torroja Miret, *Razón y ser*.

La arquitectura del desafío técnico frente a la arquitectura del cuento de hadas

Cuando el objeto arquitectónico implica dimensiones muy importantes donde la técnica desempeña un rol importante, existen a nuestra manera de ver fundamentalmente dos maneras de construir la identidad arquitectónica: la arquitectura que llamamos del desafío técnico y la arquitectura que llamamos del cuento de hadas.

Sin embargo, toda la expresión arquitectónica no tiene por qué encasillarse en uno de estos dos tipos de expresión. Cuando se trata de construcciones que no presentan desafíos técnicos particulares, como grandes luces, grandes voladizos o geometrías muy complejas, la arquitectura puede mantener de una forma bastante natural un desapego de la expresión técnica.

La arquitectura del desafío técnico tiene como punto de base la puesta en escena del mecanismo técnico que lo hace posible. Lo podemos observar en grandes cubiertas con luces impresionantes, cuyos anclajes son visibles en la arquitectura de Renzo Piano o en las obras de Félix Candela o Eduardo Torroja, cuyo aspecto espectacular se apoya en las formas que requiere la técnica. Esta tendencia puede exacerbarse hasta el punto donde la técnica puede ser a la vez “método y finalidad en sí misma” en las primeras expresiones arquitecturales de Renzo Piano,⁵ aunque sus últimos proyectos se orientan hacia un uso de la técnica con el único fin de obtener espacios más agradables, más funcionales y ecológicos.

La conjunción entre técnica y arquitectura se plasma a veces por la creación de un léxico particular al proyecto, para los elementos en la encrucijada de la arquitectura y la técnica. En ciertos casos, lo que se busca realzar es un cierto elemento, como pueden ser las piezas metálicas que sustentan los cables en la parte de enfrente del Museo Georges Pompidou, en París, llamadas *jarrettes*.⁶ Vemos en ellas la influencia de la técnica en la arquitectura, puesto que resultan muy visibles y, a la vez, una influencia de la arquitectura en el cuidado sobre el diseño de esos elementos eminentemente técnicos (fig. 1).

En el extremo opuesto estaría la arquitectura que llamamos del cuento de hadas. Este tipo de arquitectura pretende esconder la técnica que lo hace posible, ya que lo que se busca es la desorientación o maravilla del usuario frente a un volumen que no entiende, que desafía a lo que ha visto.

Las superficies suelen ser más lisas y los volúmenes más puros. En cuanto a expresión formal, diferentes clases de proyectos se podrían incluir en este tipo de proyectos, tanto aquellos con gran pureza de líneas, cercanos a la teoría de la germana de la arquitectura, en la que esta se concibe prácticamente como un lienzo, tapicería o fachada, como aquellos cuya expresión formal se caracteriza por una exuberancia de líneas, como podría ser la arquitectura de Frank Gehry (fig. 2).

5 Cuito, Renzo Piano.

6 Piano, Rogers y Picon, *Du plateau Beaubourg*.



Figura 1. Imagen de una terraza del Centro Georges Pompidou en París, en la que los elementos técnicos están muy presentes. Fuente: Anna Maria Bordas



Figura 2. Imagen de la maqueta de la Fondation Louis Vuitton, de Frank Gehry. Fuente: GP y FLV

La tensión entre ambas es patente, aunque la frontera es difícil de definir. Incluso la arquitectura de Gehry, catalogada dentro del segundo bloque, puede encontrar puntos de conexión con el primero. Según él mismo, sus inquietudes de creación en un primer tiempo buscaban evitar el sentimiento de edificio acabado, ya que los edificios en construcción le parecían magníficos. La rugosidad y dureza que destilaban debido a la visibilidad de la tecnología que lo hacía posible es un elemento que intentó integrar en sus proyectos.⁷ Su carácter provocador y su fuerte conexión con la escultura lo decantaron más tarde hacia una puesta en escena de espacios inopinados, que lo alejaban de la expresión tecnológica de estos, que en muchos casos queda oculta.

7 Stungo, *Frank Gehry*.

El carácter de los proyectistas y el proceso seguido en la concepción marca, en cada caso, el tipo de arquitectura. Como explica Rem Koolhaas en un escrito sutil y no exento de ironía,⁸ el larguísimo orden del día de cada una de sus reuniones en Japón, donde temas banales como el color del baño se ponían al mismo nivel que problemas graves en las cimentaciones del edificio, denotan no una incapacidad de jerarquizar, sino la consideración que prestan los japoneses a todos los problemas. Este carácter y modo de trabajar estarían, según él, en el origen de esa gran calidad de detalles en la construcción e industria japonesa. Pero ¿cómo se instaura ese proceso de creación? ¿Hasta dónde se puede llegar en el desafío de la técnica? ¿Qué se puede hacer y qué no?

8 Koolhaas y Mau, *S, M, L, XL*.

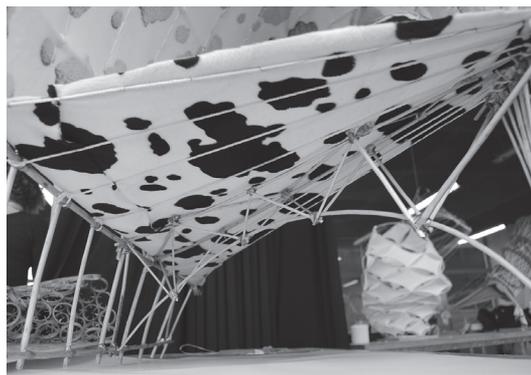
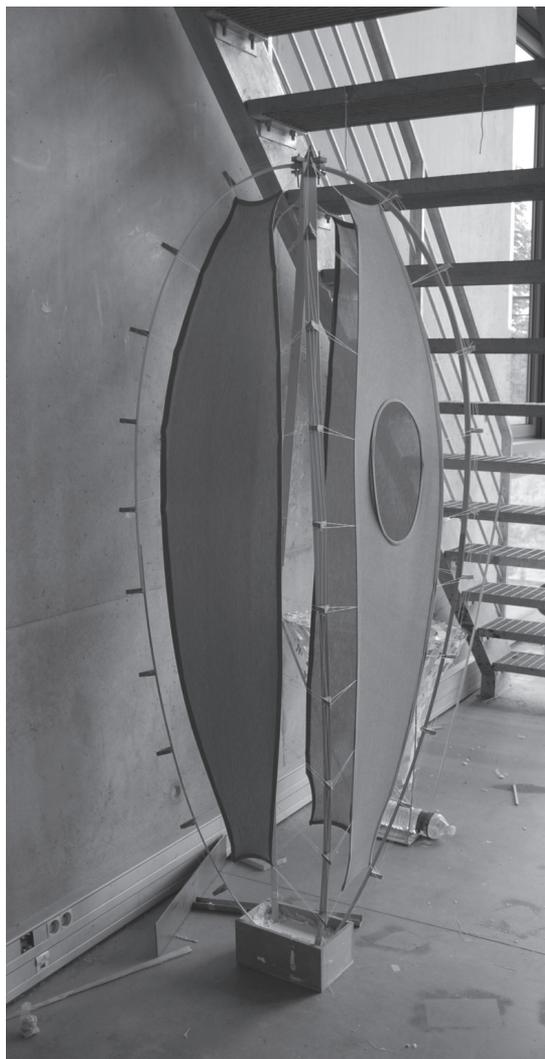
¿Qué se puede hacer y qué no? Pérdida de conocimientos técnicos, especialización de la sociedad

“Hoy en día se puede hacer todo”, enseñan algunos profesores a los alumnos de las escuelas de arquitectura. Esta frase nos produce una cierta rebeldía. No es cierto, y lejos de permitir desatar la creatividad de nuestros alumnos, los estamos convirtiendo en arquitectos desresponsabilizados de la viabilidad técnica y constructiva de su edificio. “De esa parte no te preocupes que ya se ocupara el ingeniero”, o bien “al ingeniero hay que insistirle hasta obtener lo que quieres”, siguen en el *top ten* de las frases que se enseñan en algunas de las escuelas de arquitectura.

El panorama en las escuelas de ingeniería no es mucho mejor. Se les aplica a los alumnos por dosis concentradas gran cantidad de herramientas técnicas y de cálculo, sin introducirlos en la lógica de proyecto ni potenciar su imaginación. Se reduce al ingeniero a un “técnico” al servicio de los que deciden, y con ello se deja de lado la capacidad de crear y pensar (figs. 3 a 5).⁹

9 Bordas Geli y Peiro Sendra, *Dar cabida al deseo*.

Nosotros también decimos a nuestros alumnos tanto en arquitectura como en ingeniería “que se puede hacer casi todo”; pero el matiz es importante. Sabemos que no se debe coartar la creatividad de los estudiantes al principio, pero la reducción de los enseñamientos tecnológicos y el aumento de este tipo de percepción sobre las construcciones tienen un cierto peligro. La inconsciencia de los jóvenes arquitectos



Figuras 3 a 5. Serie de maquetas del taller de estructuras realizadas por alumnos de arquitectura de la escuela de Marne la Vallée. Fuente: Miquel Peiro Sendra

sobre lo que se puede hacer y lo que no, lleva a muchos proyectos al fracaso. La resistencia de los materiales y las técnicas constructivas pueden doblar un proyecto hasta hacerle perder toda su identidad, simplemente porque la arquitectura imaginada no correspondía con ninguna técnica disponible o no preveía el espacio necesario para ponerla en práctica. Matthew Frederick¹⁰ incita a los jóvenes arquitectos a dibujar desde los primeros esbozos una trama estructural, así como prever ciertos márgenes en las superficies necesarias para poder absorber los imprevistos de concepción que surgirán en fases posteriores.

10 Frederick, *101 Things I Learned*.

Los condicionantes físicos existen y deben ser integrados, aunque para poder imaginar soluciones nuevas o conceptos completamente innovadores puede ser útil ponerlos en un paréntesis calculado. Y calculado es la palabra clave, ya que no debe ser hecho a la ligera, puesto que en algún momento habrá que integrarlos.

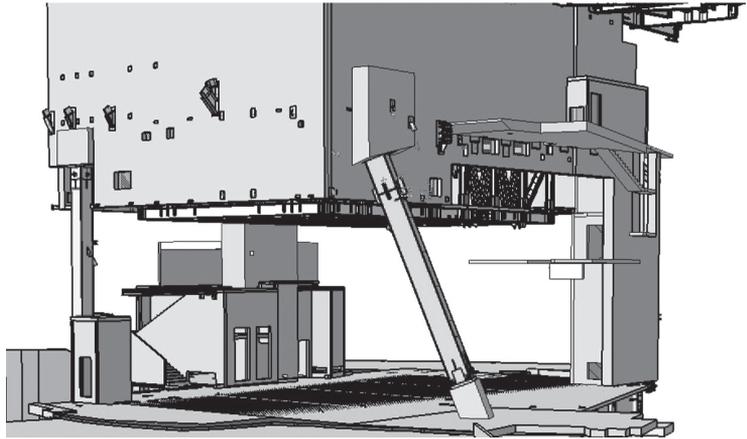
En los últimos años, la arquitectura se ve confrontada a varias tendencias que cambian la forma de fabricarla. Antes, el arquitecto era capaz de controlar el diseño; pero también la tecnología de la construcción. Hoy en día eso es muy difícil. Ciertamente, un gran número de arquitectos tienen un conocimiento importante de los sistemas tecnológicos de la construcción, pero la evolución continua de la técnica y la tendencia a la especialización en todos los campos lo separan de la tecnología constructiva.

El arquitecto se “especializa” en nuevas corrientes de pensamiento en la manera de vivir y de percibir los espacios, en tecnologías de fachadas, en materiales de revestimiento o sobre normas de urbanismo o de evacuación de incendios; el ingeniero se especializa en instalaciones o en estructuras, y más tarde incluso entre las de hormigón, las de acero o madera... El artículo pretende constatar este cambio de tendencia y reflexionar sobre las nuevas maneras de trabajar para continuar de materializar la arquitectura.

Las nuevas formas de realizar la arquitectura, especialmente cuando esta es monumental, implican un cierto número de *partenaires* con los que el arquitecto debe trabajar. El arquitecto cede el rol más técnico a personas con mayor experiencia y conocimiento en la materia, ya sea ingenieros o arquitectos especializados en estructura, acabados u otros elementos. Esa cesión de rol nos interesa, ya que el modo como este se haga condicionará en gran parte el éxito del trabajo.

No se trata, caricaturizando los extremos, de proponer cual tirano formas imposibles, y al ingeniero, de protestar e intentar hacer una arquitectura cuadrada. Al modo de entender de Peter Rice, el ingeniero no solo calcula, sino que participa en el proceso de imaginar la materialización de una primera intuición del arquitecto.¹¹ Se debe aprender a afrontar el proyecto con capacidad de trabajo en equipo, pero un verdadero trabajo en equipo que implica dar valor al trabajo de cada integrante y reconocerles como igual, saber con quién trabajamos y

11 Rice, *An Engineer Imagines*.



Figuras 6 y 7. Imagen del modelo Digital Project y su correspondencia en la ejecución material, en la que se aprecia la importancia de la solución técnica para conseguir los volúmenes deseados.
Fuente: Anna María Bordas

confiar en nuestros *partenaires*. En ciertos proyectos, el arquitecto asumirá un rol preponderante; en otros, el aporte de las soluciones técnicas tendrá prácticamente la misma importancia para la consecución del proyecto (figs. 6 y 7).

Somos conscientes de que esta afirmación puede parecer para algunos una desvalorización del trabajo del arquitecto. Pero nada más lejos. Como arquitecta pienso que crear entre varias personas puede ser mucho más fructífero que trabajar solo, y aunque tenemos una cierta tendencia a asociarnos entre nosotros, la colaboración intensa con personas de otros horizontes puede enriquecer el proyecto de igual manera. Benedetta Tagliabue explica la necesidad de salir de sí mismo para crear cosas nuevas y el enriquecimiento que supone trabajar con otras disciplinas, como el teatro o el arte.¹² “Si quieres experimentar, debes salir de los límites, y la primera barrera es uno mismo”.¹³ Frank

12 Bordas Geli, *Entretien à Benedetta Tagliabue*.

13 *Ibíd.*, 5.

Gehry también subraya la colaboración con otros artistas para “liberar sus propias ideas”.¹⁴

14 Stungo, *Frank Gehry*.

Pensamos que esa colaboración puede y debe extenderse a diferentes disciplinas artísticas; pero también a disciplinas más técnicas. Esa colaboración que reivindicamos no es nueva. Son conocidas grandes colaboraciones entre arquitectos e ingenieros como Renzo Piano y Peter Rice,¹⁵ Louis Kahn y August Komendant,¹⁶ los cuales han dado como resultado proyectos impecables.

15 Rice, *An Engineer Imagines*.

16. Kommandant, *Dix-huit années*

¿Cómo se instaura ese proceso de creación?

Dinámica de equipos

Esa especialización llega a su paroxismo en los grandes proyectos, en los que un especialista de cada tema tendrá su lugar en el dispositivo. Por ejemplo, el proyecto de la Fondation Louis Vuitton pour la Création, en su momento álgido, el equipo proyectista representaba alrededor de ochenta personas, entre arquitectos, ingenieros de estructura, ingenieros de fachadas e ingenieros de instalaciones. Un proyecto de esta envergadura requería agentes y procedimientos inhabituales. Entre otros, un consultor especializado en mantenimiento de fachadas, cuyo rol era determinar si esas plataformas de mantenimiento podían deslizarse por las superficies de cristal que se proyectaban, ensayos en tubo de viento para el diseño de la estructura y de la fachada y varios ATEX (procedimientos de ensayos y opinión de varios expertos para permitir utilizar procedimientos no normalizados en la construcción).

El hecho trabajar ochenta personas sobre un mismo proyecto permite realizar una cantidad ingente de trabajo (¿imaginan lo que pueden pensar sobre un mismo objeto ochenta personas en un día?); pero también puede comportar un caos importante. El peligro es que se pierdan los objetivos principales o, simplemente, que el trabajo resulte divergente, cada uno en un sentido sin encontrar un punto común.

Este modo de trabajo requiere que las personas que dirigen cada uno de los equipos tenga una visión del conjunto y un conocimiento del funcionamiento de las otras disciplinas. Eso permitirá entender las necesidades de otras disciplinas del equipo y si es más fácil/razonable/y bueno en global para el proyecto que sean unos u otros los que adapten su diseño inicial (figs.8 y 9).

Si no se tiene esa comprensión de las diferentes disciplinas, se puede derivar en un simple balance de fuerzas, ya sea fuerza dialéctica o fuerza política dentro del organigrama del proyecto, que puede ser muy pernicioso al proyecto. En ese caso, sería adoptada no la mejor solución para el proyecto en su globalidad, sino la solución conveniente al ente con más poder dentro del grupo. Aunque exista la voluntad de crear un objeto común, cada uno tenderá a dar más importancia a la parte sobre la que trabaja y a reenviar un determinado problema de una interfaz al equipo que trata la parte colindante.



Figuras 8 y 9. Punto de anclaje de un pilar metálico donde se aprecia el trabajo de encofrado.
Fuente: Miquel Peiro

17 Rice, *An Engineer Imagines*, 85.

Podemos fácilmente encerrarnos en un modelo como el que describe Rice: "Así, a cualquier lado que nos volviésemos, el diálogo y la comunicación aparecían bloqueados por los convencionalismos, los prejuicios y el miedo al fracaso".¹⁷ Para que el proyecto funcione, hay que evitar esa dinámica a toda costa.

18 Puchol, *El libro de la negociación*, 30 y 65.

Como en tantas otras disciplinas, es importante el sentido de autocrítica y de empatía para entender los problemas de todos y contar con personas cuyo tipo de negociación sea "hacer el pastel más grande para todos", y no "luchar para quedarse con la mayor parte".¹⁸ Por otro lado, requiere una confianza en el talento de los demás miembros del proyecto.

En ciertos casos, hemos visto emerger la función del *project manager* como persona que realiza este tipo de arbitrajes, una figura que debe presentar una gran habilidad técnica y saber jerarquizar los problemas. Un buen *project manager* puede facilitar en mucho la marcha del proyecto; uno malo complica pero no imposibilita la realización del proyecto, ya que si las demás partes interesadas tienen esa capacidad de consenso, podrán llegar a soluciones óptimas para el proyecto en su globalidad.

¿Cómo se instaura ese proceso de creación?

Buen uso de las tecnologías de la información

Las nuevas tecnologías de la información nos abren fronteras allá donde antes había abismos. Permiten modificar los proyectos en media hora, compartir dibujos y creaciones con los demás miembros del equipo a pesar de la distancia, permiten trabajar a ochenta personas a la vez sobre un mismo modelo y dibujar curvas que antes no hubiéramos sabido representar.

Estas nuevas tecnologías permiten que proyectos como la Fondation Louis Vuitton, la torre Phare en La Défense,¹⁹ el pabellón de España en la expo de Shanghái o el Metropol Parasol en Sevilla puedan dibujarse y realizarse. En el caso de la Fondation Louis Vuitton, la intervención de la informática fue muy beneficiosa. Por un lado, permitía abordar desde cualquier ángulo y distancia unas geometrías muy complejas, lo que facilitaba la resolución de detalles; por el otro, permitía el intercambio de información entre los diferentes equipos.

En este caso, se utilizó un modelo común a todos los proyectistas ubicado en un servidor externo. Cada disciplina podía visualizar la integridad del modelo, pero solo tenía derecho de escritura sobre las capas correspondientes a su parte del proyecto. Todos los elementos estaban gestionados en una organización por árbol muy cuidadosa, para que cada disciplina pudiera entender la organización de otro equipo y así poder activar y desactivar las capas que le podían interesar en ese momento (fig. 10).

De esta manera era posible ver en tiempo “real” la evolución de la superficie de trabajo de los ingenieros de fachadas hacia el diseño del arquitecto, y la interfaz cambiante con el modelo de la estructura.

Un sistema así puede parecer futurista, pero se practica ya en numerosas disciplinas. Para el equipo que trabajamos en ese proyecto fue una experiencia nueva, mas no exenta de dificultades, ya que el sistema informático en sí permite facilitar el intercambio de información, así como visualizar y representar interacciones con geometrías complicadas que no se podrían haber resuelto de otra manera. Sin embargo, no permite gestionar los problemas de interfaz si no se habla cara a cara ni jerarquizar el tipo de problemas por resolver, como comentamos en el párrafo precedente.

El creciente desarrollo de programas informáticos que permiten la parametrización de superficies nos hacen creer que cualquier cosa es construible. Es cierto que estas herramientas nos permiten dibujar, medir y entender curvas que hace unos años no habríamos podido, lo que supone un avance, pues algo que antes no podía ser dibujado, puede hoy existir en el mundo de las ideas.

Como en la teoría monista sobre la relación entre lenguaje y pensamiento defendida por Karl Marx o Houbt Haksbv, si aceptamos que sin lenguaje no hay pensamiento, sin estas herramientas no existirían estas geometrías. Sin embargo, la existencia de estas herramientas impone nuevas preguntas. En primer lugar, no solo porque se sabe dibujar se sabe construir. La tecnología constructiva avanza hacia estas tendencias, pero no todas ellas son realizables.

En segundo lugar, el panorama arquitectónico actual se ve en gran medida influenciado por el uso de estas herramientas. Cabe plantearse la cuestión sobre si las nuevas formas que adoptamos son el fruto de un deseo consciente, de una respuesta a la necesidad humana de

19 Harris, *The Innovation in Life*; Bordas Geli y Peiro Sendra, *Diseño estructural del contraviento*.

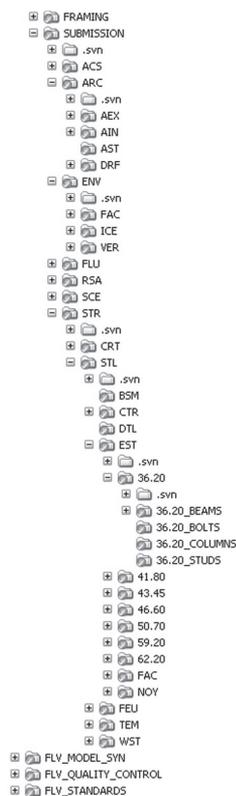


Figura 10. Arborescencia del modelo.
Fuente: Miquel Peiro

formas menos cartesianas, o simplemente son el producto de la fascinación por esta nueva herramienta. Como indica Antoine Picon, el uso de estas tecnologías deja la puerta abierta a nuevos desafíos en la arquitectura.²⁰

¿Hasta dónde se puede llegar en el desafío de la técnica? El precio de la magia

Muchos profesionales aceptamos el desafío de hacer estructuras que van más allá de lo que estamos acostumbrados a ver y a realizar, y peleamos por conseguir un resultado espectacular. Como enuncia Torroja, “El técnico, en su trabajo estructural, lucha con las fuerzas de la Naturaleza y ha de reconocer la nobleza y la lógica aplastante con la que se comporta este enemigo”.²¹ La realización de la Fondation Louis Vuitton prueba que “casi todo se puede hacer”, pero ese casi todo tiene un costo, tanto de espacio como de dinero.

En cuanto al espacio, puesto que la estructura existe aunque no sea visible, ya porque está escondida (existe un volumen importante entre el volumen exterior visto y el interior, que permite incluir elementos técnicos importantes), ya sea porque no está donde se la busca (la estructura no se encuentra debajo del elemento portado sino en su lateral, diagonal, suspensión, etc.). El resultado es un espacio que no parece estable, aunque lo sea.

Respecto al costo, una estructura de este tipo tiene uno mucho más elevado que una estructura simple. El costo importante de proyectos a geometría compleja no está ligado solamente a los voladizos y grandes luces, sino a las geometrías alabeadas con una puesta en obra más compleja y constituidas de elementos únicos realizados a medida.

El trabajo de materializar la arquitectura pasa por racionalizar los proyectos. En el caso de la Fondation Louis Vuitton, aun siendo un edificio en nada perpendicular, el trabajo del equipo fue racionalizar al máximo el proyecto para convertirlo en construible. Así, aunque los acabados de yeso y cerramientos metálicos de la fachada son curvos, la mayoría de superficies de hormigón son verticales u horizontales, a excepción del hormigón que recibe grandes pilares metálicos inclinados y un muro inclinado, cuyo encofrado fue hecho en madera y a medida. Todas las vigas de la estructura metálica son rectas, las vigas de las fachadas son alabeadas contenidas en un plano, los cristales de las fachadas son curvos; pero presentan una curvatura en una sola dirección y con un grado de curvatura que posibilita deformar el cristal una vez realizado y no a partir de moldes únicos (fig. 11).



Figura 11. Se aprecia la estructura a la vez que las formas alabeadas de fachada de la Fondation Louis Vuitton. Fuente: Anna Maria Bordas

Algo muy importante para desarrollar y materializar una buena arquitectura es conocer esos límites, tanto físicos como económicos, y saber jugar con ellos. La concepción de una arquitectura cuyo objetivo es ser construida no consiste solamente en un ejercicio intelectual, sino en un delicado juego de equilibrios entre deseos y realidades que, lejos de debilitar el proyecto, pueden otorgarle más fuerza y pureza.

Hasta el proyecto más loco debe plegarse en cierta medida a la razón y a la constructibilidad. El objetivo del equipo de proyecto es acompañar el crecimiento del proyecto, cual ente vivo, en un proceso de racionalización propia que no se oponga a su espíritu generador del proyecto; pero que le permita conectarse con la realidad. El trabajo de todos nosotros, materializadores de arquitectura, es saber sorprender y crear, manteniendo la magia y permitiendo que esta sea posible. 

Bibliografía

Bordas Geli, Anna Maria. *Entretien à Benedetta Tagliabue*. París: D'une fabrique à l'autre, Ecole d'Architecture Marne la Vallée, 2010.

Bordas Geli, Anna Maria y Miquel Peiro Sendra. "Dar cabida al deseo: qué queremos para nuestro colectivo". Documento presentado en el VI Congreso Nacional de la Ingeniería Civil, Valencia, España, 2012.

Bordas Geli, Anna Maria y Miquel Peiro Sendra, Miquel. "Diseño estructural del contraviento en edificios de gran altura". Documento presentado en el V Congreso ACHE, Barcelona, España, 2011.

Cuito, Aurora. *Renzo Piano*. Barcelona: teNeues, 2002.

Feireiss, Lukas y Robert Klanten. *Utopia Forever*. Berlin: Gestalten, 2011.

Frederick, Matthew. *101 Things I Learned in Architecture School*. Cambridge: MIT Press, 2007.

Harris, Kerensa. "The Innovation in Life". Documento presentado en el Congreso Innovation in Mind, Lund University, Suecia, 2011.

Kommendant, August. *Dix-huit années avec Louis Kahn*. París: Du Linteau, 2006.

Koolhaas, Rem y Brece Mau. *S, M, L, XL*. New York: The Monacelli Press, 1995.

Martinon, Jean-Pierre. *Traces D'Architectes; Education et Carrieres D'Architectes Grands-Prix De Rome Aux Xixe Et Xxe Siecles en France*. París : Economica Collection Anthropos la Bibliothèque des Formes, 2003.

Mierop, Caroline. *Gratte-ciel*. París: Norma, 1995.

Piano, Renzo, Richards Rogers y Antoine Picon. *Du plateau Beaubourg au centre Georges Pompidou*. París: Editions du Centre Georges Pompidou, 1987.

Picon, Antoine. *Culture numérique et architecture: une introduction*. París: Birkhauser, 2010.

Puchol, Luis. *El libro de la negociación*. Madrid: Díaz de Santos, 2009.

Rice, Peter. *An Engineer Imagines*. London: Elypsis, 1996.

Stungo, Naomi. *Frank Gehry*. Boulogne: Maxi Livres, 2004.

Torroja Miret, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales*, 11ª reimpreión. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004.