

Aspectes de la complexitat estructural de l'arquitectura d'Enric Miralles

Robert Brufau i Niubó

Emmarcada dins el curs “Al·legoria del temps: l'arquitectura i l'univers d'un altre Enric Miralles”, vaig pronunciar una conferència sobre la lògica estructural dels seus projectes. Després d'haver treballat amb l'Enric durant molts anys, de manera molt intensa a la seva primera època amb Carme Pinós i, de manera més esporàdica, a la seva segona època amb Benedetta Tagliabue, he hagut d'intervenir en el disseny d'un bon nombre dels seus projectes, tots molt singulars i sense llocs comuns.

Un dels aspectes que sempre ens va preocupar molt, i al qual dedicàvem nombroses hores de treball conjunt, era la definició arquitectònica dels mecanismes resistents de transmissió de les càrregues de les seves cobertes fins a terra.

“Sí, ja sé que aquesta és la solució habitual, convencional i fàcil, però m'agradaria que anéssim més enllà...”. Aquesta era, més o menys, la frase que tot sovint utilitzava a les reunions que mantenia amb mi o amb el meu soci, l'Agustí Obiol. I, a partir d'aquí, començava a manifestar una lògica estructural molt particular –gens cartesiana, però amb una bona dosi de sentit comú– que nosaltres havíem de convertir en realitat.

A aquest respecte he triat dos exemples ben representatius de l'arquitectura d'Enric Miralles: la pèrgola de Parets del Vallès (1985), un projecte molt característic de la primera època, i la coberta del mercat de Santa Caterina (1997-2004), una de les seves darreres obres.

Les pèrgoles de Parets del Vallès van ser explicades per l'Enric de la manera següent:

El mecanisme de construcció és idèntic al seu dibuix sobre el paper [...] Una jàssera, amb contraccions successives, forma la superfície on recolzar cadascun dels sostres [...] Un pilar és el suport de dos d'aquests. L'altre punt de recolzament el defineix la volada de la jàssera [...] El resultat és que cada coberta és suportada per un únic pilar. La jàssera i els pilars defineixen un pla damunt del qual la grua va dipositant les cobertes [...] Encara trobem alguna cosa d'aquest moment d'equilibri en mirar-les...

Aquesta senzillesa de descripció contrasta amb l'aparent complexitat estructural de cadascun dels elements i de cadascun dels mecanismes de connexió entre ells. Fent una relació jeràrquica dels elements, podem fer esment de la seqüència següent:

➤
*Pèrgoles de Parets del Vallès (Barcelona).
Arquitectes:
Enric Miralles,
Carme Pinós.
Estructura: BOMA.*



Aspects of the structural complexity of the architecture of Enric Miralles

Within the context of the course “Allegory of time: the architecture and universe of another Enric Miralles”, I gave a talk on the structural logic of some of his designs. Having worked with Enric for many years, intensively during his early era with Carme Pinós and, in a more sporadic way in his second era with Benedetta Tagliabue, I have had to intervene in the design of a good number of his projects, all highly unique and without commonplaces.

One of the aspects that always concerned us a great deal and to which we devoted numerous hours of work together, was the architectural definition of the resistant mechanisms of transmission of loads from his roofs to the ground.

“Yes, I know that this is the usual, conventional and easy solution, but I would like us to go further...”. This was, more or less, the phrase that he often used in meetings with me or my partner, Agustí Obiol. And, from here on he would begin to manifest a very particular structural logic – not at all cartesian, but with a large dose of common sense – which we would have to turn into reality.

In this respect I have chosen two fully representative examples of the architecture of Enric Miralles: the pergola of Parets del Vallès (1985), a project very characteristic of his first era, and the roof of the Santa Caterina market (1997-2004), one of his last works.

The pergolas of Parets del Vallès were explained by Enric in the following way:

Aspectos de la complejidad estructural de la arquitectura de Enric Miralles

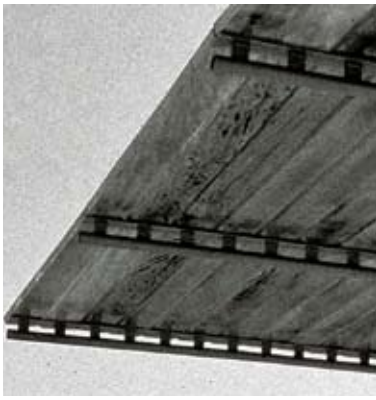
En el contexto del curso “Alegoría del tiempo: la arquitectura y el universo de otro Enric Miralles”, pronuncié una conferencia sobre la lógica estructural de sus proyectos. Tras haber trabajado con Enric durante muchos años, muy intensamente en su primera época con Carme Pinós, y de forma más esporádica en su segunda época con Benedetta Tagliabue, he tenido que intervenir en el diseño de muchos de sus proyectos, todos ellos muy singulares y sin lugares comunes.

Uno de los aspectos que siempre nos preocupó mucho, y al que dedicábamos numerosas horas de trabajo conjunto, era la definición arquitectónica de los mecanismos resistentes de transmisión de las cargas de sus cubiertas hasta el suelo.

“Sí, ya sé que esta es la solución habitual, convencional y fácil, pero me gustaría ir algo más allá...”. Esta era, más o menos, la frase que a menudo utilizaba en las reuniones que mantenía conmigo o con mi socio, Agustí Obiol. Y a partir de ahí empezaba a manifestar una lógica estructural muy particular –nada cartesiana, pero con una buena dosis de sentido común– que nosotros debíamos convertir en realidad.

Al respecto he elegido dos ejemplos plenamente representativos de la arquitectura de Enric Miralles: la pèrgola de Parets del Vallès (1985), un proyecto muy característico de la primera etapa, y la cubierta del mercado de Santa Caterina (1997-2004), una de sus últimas obras.

Las pèrgolas de Parets del Vallès fueron explicadas por Enric como sigue:



1 · 2



2 · 3



4 · 5



6 · 7

1. Element primer: els cabirons de fusta que formen el mateix pla de la coberta i que són els elements que, en primer terme, reben les sol·licitacions pròpies d'una coberta. No estan solidaritzats entre ells; mantenen una lleugera distància que permet el pas de la pluja i de la llum solar.
2. Element segon: unes bigues metàl·liques reben els cabirons de fusta. Es tracta de perfils discontinus a la manera d'una biga Vierendeel de gra petit, amb cordons horitzontals i muntants que treballen com elements aïllats en volada, marcant una singular cadència que depèn de la geometria en planta del conjunt.
3. Element tercer: les bigues amb alçat Vierendeel recolzen en uns petits pilars metàl·lics, d'uns 15 cm d'altura, que són suportats per una segona família de bigues, ara tubulars amb secció circular, que defineixen també volades amb diferents pautes de distribució.
4. Element quart: la càrrega transportada per les bigues tubulars és recollida per uns pilars de molt poca alçada –escassament uns 20 cm–, emplaçats just a l'encreuament amb les bigues principals.
5. Element cinquè: les bigues principals, o, millor dit, la biga principal, és també horitzontal i amb secció tubular rectangular, i defineix en planta un traçat trencat en ziga-zaga. Al damunt descansen els petits pilars explicats anteriorment i que reben les càrregues de la coberta.
6. Element sisè: per tal de permetre que la gran biga pugui serpentejar sense creuar-se directament amb els pilars, de cadascun d'aquests surt una petita mènsula volada, damunt la qual recolza la biga, tot definint un curiós equilibri tridimensional.
7. Element setè: finalment, els pilars verticals acaben assumint les càrregues que arriben per les mènsules i les transmeten cap a la sabata de fonamentació.

Observem com cada un d'aquests elements té la seva pròpia singularitat formal, tant pel que fa a la seva secció com a la geometria del seu alçat i de la seva planta. El conjunt esdevé una peça admirable que transcendeix de llarg la seva imatge estructural per convertir-se en autèntica arquitectura.

The construction mechanism is identical to its drawing on paper [...] A beam, with successive contractions, forms the surface upon which to support each of the roofs [...] A pillar is the support of two of these. The other point of support is defined by the projection from the beam [...] The result is that each roof is supported by a single pillar. The beam and the pillars define a plane above which the crane deposits the roofs [...] We still find something of that moment of balance when we look at them...

This descriptive simplicity contrasts with the apparent structural complexity of each of the elements and of each of the mechanisms of connection between them. Making a hierarchical list of the elements, we can make reference to the following sequence:

1. First element: the wooden rafters that form the roof plane itself and that are the elements which, first and foremost, receive the solicitations typical of a roof. They are not joined together; they maintain a slight distance that allows the passage of rain and sunlight.
2. Second element: metallic beams bear the load of the wooden rafters. These are discontinuous profiles in the style of a Vierendeel small grain truss, with horizontal cordons and uprights that work as isolated projecting elements, marking a singular cadence that depends on the layout geometry of the overall structure.
3. Third element: the beams with Vierendeel elevation are supported on small metallic pillars, some 15 cm tall, which are supported by a second family of beams, this time tubular with a circular section, that also define projections with different distribution patterns.
4. Fourth element: the load transported by the tubular beams is supported by pillars that are not very tall –barely 20 cm– situated just at the place where they cross the main beams.
5. Fifth element: the main beams, or rather, the main beam, is also horizontal and has a rectangular tubular section, and defines a broken zig-zag layout. Supported on top are the small pillars explained previously which bear the roof loads.
6. Sixth element: in order to allow the main beam to snake without directly cutting across the pillars, from each of these a small projecting bracket emerges, upon which the beam is supported, defining a curious three-dimensional equilibrium.

El mecanisme de construcció és idèntic a su dibujo sobre el papel [...] Una jácena, con contracciones sucesivas, forma la superficie donde apoyar cada uno de los techos [...] Un pilar es el soporte de dos de ellos. El otro punto de apoyo lo define el voladizo de la jácena [...] Como resultado, cada cubierta es soportada por un único pilar. La jácena y los pilares definen un plano sobre el cual la grúa va depositando las cubiertas [...] Al mirarlas, aún encontramos algo de ese momento de equilibrio.

La sencillez de esta descripción contrasta con la aparente complejidad estructural de cada uno de los elementos y de cada uno de los mecanismos de conexión entre ellos. Haciendo una relación jerárquica de los elementos, podemos hacer referencia a la siguiente secuencia:

1. Primer elemento: los cabrios de madera que forman el propio plano de la cubierta y que son los elementos que, en primer término, reciben las solicitaciones propias de una cubierta. No están solidarizados entre sí, y mantienen una ligera distancia que permite el paso de la lluvia y de la luz solar.
2. Segundo elemento: unas vigas metálicas reciben los cabrios de madera. Se trata de perfiles discontinuos al modo de una viga Vierendeel de grano pequeño, con cordones horizontales y montantes que trabajan como elementos aislados en voladizo, marcando una singular cadencia que depende de la geometría en planta del conjunto.
3. Tercer elemento: las vigas con alzado Vierendeel se apoyan en unos pequeños pilares metálicos, de unos 15 cm de altura, que son soportados por una segunda familia de vigas, ahora tubulares con sección circular, que definen también voladizos con distintas pautas de distribución.
4. Cuarto elemento: la carga transportada por las vigas tubulares es recogida por unos pilares de muy poca altura –escasamente unos 20 cm– emplazados justo en el cruce con las vigas principales.
5. Quinto elemento: las vigas principales, o, mejor dicho, la viga principal, es también horizontal y con sección tubular rectangular, definiendo en planta un trazado quebrado en zigzag. Sobre ella descansen los pequeños pilares explicados anteriormente y que reciben las cargas de la cubierta.
6. Sexto elemento: para permitir que la gran viga pueda serpentejar sin cruzarse directamente con los pilares, de cada uno de estos sale una pequeña ménsula volada, sobre la cual se apoyará la viga, definiendo un curioso equilibrio tridimensional.



Coberta del mercat de Santa Caterina (Barcelona).
 Arquitectes: Enric Miralles, Benedetta Tagliabue.
 Estructura: BOMA, José M. Velasco.



L'estructura de la coberta del mercat de Santa Caterina, emplaçat a l'avinguda Cambó de Barcelona, té un plantejament estructural encara més complex, amb certes aparences desconcertants per a una mirada racional que intenti comprendre el funcionament de tot plegat.

Sense entrar en la interpretació de les naus laterals i limitant l'explicació a l'estructura de la nau central, podem identificar, seguint una seqüència semblant a la de Parets, els elements següents:

7. Seventh element: finally, the vertical pillars end up taking on the loads that arrive via the brackets and transmit them towards the foundation footing.

We can observe how each of these elements has its own formal singularity, both with regard to its cross-section and the geometry of its elevation and layout. The whole becomes an admirable piece that far transcends its structural image to become true architecture.

The structure of the roof of the Santa Caterina market hall, situated on Avinguda Cambó in Barcelona, has an even more complex structural approach, with certain appearances that are disconcerting for a rational examination that tries to understand how it all functions.

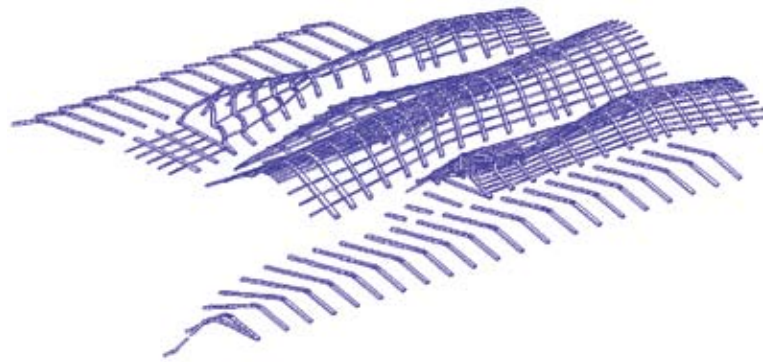
Without going too deeply into the interpretation of the side sections and limiting the explanation to the structure of the central hall, we can identify, following a sequence similar to that of Parets, the following elements:

7. Séptimo elemento: por último, los pilares verticales acabarán asumiendo las cargas que llegan por las ménsulas, transmitiéndolas hacia la zapata de cimentación.

Observamos cómo cada uno de estos elementos tiene su propia singularidad formal, tanto por lo que respecta a su sección como a la geometría de su alzado y de su planta. El conjunto se convierte en una pieza admirable que trasciende holgadamente su imagen estructural para convertirse en auténtica arquitectura.

La estructura de la cubierta del mercado de Santa Caterina, emplazado en la avenida Cambó de Barcelona, tiene un planteamiento estructural aún más complejo, con ciertas apariencias desconcertantes para una mirada racional que intente comprender el funcionamiento del conjunto.

Sin adentrarnos en la interpretación de las naves laterales y limitando la explicación a la estructura de la nave central, se pueden identificar, siguiendo una secuencia similar a la de Parets, los siguientes elementos:



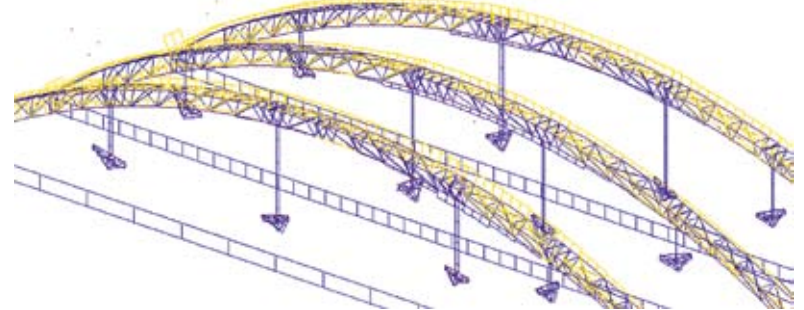
1. Element primer: la quàdruple làmina de fusta amb encreuament de les seves fibres, dos a dos, segueix la geometria de la coberta ondulant i dóna suport a la pell ceràmica superficial.
2. Element segon: les corretges que reben les làmines de fusta són taulons bastant convencionals disposats a manera de biguetes de fusta amb la secció inclinada, amb un intereix adaptat a la singularitat de la geometria ondulada.
3. Element tercer: per recollir les biguetes hi ha un interessant conjunt de falsos arcs, que, en realitat, són més aviat bigues amb alçat curvilini que no pas arcs convencionals. La majoria són de fusta laminada, però n'hi ha alguns que, per necessitat estructural, són metàl·lics amb secció tubular.
4. Element quart: el conjunt dels falsos arcs és recollit per set bigues triangulades metàl·liques, disposades en planta amb una certa ziga-zaga. La geometria de l'alçat d'aquestes bigues no respon a cap model clàssic, sinó que adopta una configuració molt original, substituint el clàssic joc de muntants i diagonals propi d'una biga convencional del tipus Pratt, Howe o Warren, per un altre aparentment més anàrquic, on no és fàcil fer una distinció entre les parts que estan traccionades i les que estan comprimides. Per incrementar la sensació de desconcert de l'espectador, la majoria d'aquestes bigues no tenen més suports verticals visibles que els que es disposen davant de les façanes.

1. First element: the quadruple laminate of wood with crossing of its fibres, two by two, follows the geometry of the undulating roof and gives support to the superficial ceramic skin.
2. Second element: the purlins that bear the load of the wooden sheets are fairly conventional planks arranged like wooden beams with an inclined section, with a space in between adapted to the singularity of the undulating geometry.
3. Third element: to hold up the small beams there is an interesting set of false arches which, in reality, are beams with a curved elevation rather than conventional arches. The majority are of laminated wood, but there are some that, owing to structural necessity, are metallic with a tubular section.
4. Fourth element: the set of false arches is supported by seven metallic triangulated beams, arranged in layout with a certain zig-zag. The geometry of the elevation of these beams does not respond to any classic model, but rather adopts a very original configuration, substituting the classical set of uprights and diagonals typical of a conventional beam of the Pratt, Howe or Warren type, for another apparently more anarchical set, where it is not easy to make a distinction between the parts under traction and those that are compressed. To increase the sensation of uncertainty for the spectator, the majority of these beams do not have any further visible vertical supports than those in front of the façades.

1. Primer elemento: la quàdruple làmina de madera con cruce de sus fibras, dos a dos, sigue la geometría de la cubierta ondulante, dando apoyo a la piel cerámica superficial.
2. Segundo elemento: las correas que reciben las láminas de madera son tablones bastante convencionales dispuestos a modo de viguetas de madera con la sección inclinada, con un intereje adaptado a la singularidad de la geometría ondulada.
3. Tercer elemento: para recoger las viguetas se cuenta con un interesante conjunto de falsos arcos que, en realidad, son más bien vigas con alzado curvilíneo que arcos convencionales. La mayoría son de madera laminada, pero hay algunos de ellos que, por necesidad estructural, son metálicos con sección tubular.
4. Cuarto elemento: el conjunto de los falsos arcos es recogido por siete vigas trianguladas metálicas dispuestas en planta con cierto zigzag. La geometría del alzado de estas vigas no responde a ningún modelo clásico, sino que adopta una configuración muy original, sustituyendo el clásico juego de montantes y diagonales propio de una viga convencional de tipo Pratt, Howe o Warren, por otro aparentemente más anárquico, donde no es fácil hacer una distinción entre las partes que están traccionadas y las que están comprimidas. Para incrementar la sensación de desconcierto del espectador, la mayoría de estas vigas no tienen más soportes verticales visibles que los que se disponen delante de las fachadas.



Esquema de disposició de les bigues



La relació entre els arcs i les bigues a través dels tirants de suspensió, un dels mecanismes més interessants de la coberta.

5. Element cinquè: realment, les bigues que es veuen des de l'interior del mercat només estan suportades per pilars a compressió en algun extrem, i estan suspeses, en la majoria del seu recorregut, mitjançant uns mecanismes de pèndol disposats verticalment per damunt de la coberta, de manera que permeten un lleuger moviment rotacional en totes direccions i acaben traslladant la càrrega de la mateixa coberta de manera ascendent a través dels pèndols fins als tres potents arcs metàl·lics paral·lels a l'avinguda Cambó.
6. Element sisè: la funció resistent principal l'estan duent a terme tres grans arcs metàl·lics atirantats, de més de 40 metres de llum, que creuen, de manera intermitent, l'espai interior del mercat. Es tracta de tres peces de gran potència que, en un extrem, permeten un cert moviment lliscant en la direcció del seu propi pla.
7. Element setè: els tres grans arcs descansen sobre dues grans bigues posttensades de formigó. Aquestes bigues tenen una secció en "T" de gran dimensió, en subdividir la seva llargada únicament en tres trams amb volada per un dels extrems. A més de rebre els tres arcs principals, també recullen les estructures de suport de les encavallades metàl·liques de les dues naus laterals.

5. Fifth element: in fact, the beams that can be seen from the inside of the market are only supported by compression pillars at some ends, and they are suspended, along most of their length, via pendulum mechanisms arranged vertically on top of the roof, so that they allow a slight rotational movement in all directions and end up transferring the load of the roof itself in an ascending manner through fine pendulums to the three powerful metallic arches parallel to the Avinguda Cambó.

The relationship between arches and beams via suspension purlins, one of the most interesting mechanisms of the roof.

6. Sixth element: the main resistant function is being carried out by three large braced metallic arches with a span of over 40 metres, which intermittently cross the market's interior space. These are three very powerful pieces that, at one end, allow a certain sliding movement in the direction of their own plane.

7. Seventh element: the three great arches rest on two large post-tensioned concrete beams. These beams have a large-sized T-section, when subdividing their length only into three sections with a projection at one of the ends. In addition to bearing the load of the three main arches, they also bring together the support structures of the metallic framework of the two side sections.

5. Quinto elemento: realmente, las vigas que se ven desde el interior del mercado sólo se apoyan en pilares a compresión en algún extremo, estando suspendidas, en la mayor parte de su recorrido, mediante unos mecanismos de péndulo dispuestos verticalmente por encima de la cubierta, de modo que, permitiendo un ligero movimiento rotacional en todas direcciones, acaban trasladando la carga de la propia cubierta de forma ascendente a través de los péndulos hasta los tres potentes arcos metálicos paralelos a la avenida Cambó.

6. Sexto elemento: la principal función resistente la están llevando a cabo tres grandes arcos metálicos atirantados, de más de 40 metros de luz, que cruzan, de forma intermitente, el espacio interior del mercado. Se trata de tres piezas de gran potencia que, en un extremo, permiten cierto movimiento deslizándose en la dirección de su propio plano.

7. Séptimo elemento: los tres grandes arcos descansen sobre dos grandes vigas postensadas de hormigón. Estas vigas tienen una sección en "T" de gran tamaño, al subdividir su longitud únicamente en tres tramos con voladizo por uno de los extremos. Además de recibir los tres arcos principales, también recogen las estructuras de soporte de las cerchas metálicas de las dos naves laterales.



8. Element vuitè: un dels aspectes més enigmàtics d'aquesta estructura és la trobada entre cadascuna de les dues grans bigues posttensades i la majoria dels pilars que les suporten. El contacte no es produeix en el pla horitzontal inferior, com semblaria lògic en una solució més convencional, sinó que té lloc pels dos costats. Això provoca una sensació estranya, com si la gran biga estigués flotant damunt d'alguns dels seus pilars, que acaben tenint, per aquesta raó, una geometria ben singular, tant en alçat com en planta, i es converteixen doncs en un dels detalls més expressius del conjunt.

9. La potent estructura de formigó armat de les plantes soterrades d'aparcament acabarà rebent les càrregues transmeses per aquests pilars, fins conduir-les a la losa de fonamentació, i des d'aquesta al terreny receptor. ♦

8. Eighth element: one of the most enigmatic aspects of this structure is the meeting between each of the two large post-tensioned beams and the majority of the pillars that support them. The contact does not take place in a lower horizontal plane, as would seem logical in a more conventional solution, but takes place along the two sides. This causes a strange sensation, as if the large beam were floating above some of its pillars, which end up having, for this reason, a very singular geometry, in elevation and layout, and thus they become one of the most expressive details of the overall design.

9. The powerful reinforced concrete structure in the underground parking floors will end up bearing the loads transmitted by these pillars, to the point of taking them to the foundation slab, and from this to the load-bearing land. ♦

Robert Brufau i Niubó
Translated by Debbie Smirthwaite

8. Octavo elemento: uno de los aspectos más enigmáticos de esta estructura es el encuentro entre cada una de las dos grandes vigas postensadas y la mayoría de los pilares que las soportan. El contacto no se produce en el plano horizontal inferior, como parecería lógico en una solución más convencional, sino que lo hace por los dos lados. Esto provoca una extraña sensación, como si la gran viga estuviera flotando por encima de algunos de sus pilares, que acaban teniendo, por este motivo, una geometría muy singular, tanto en alzado como en planta, convirtiéndose en uno de los detalles más expresivos del conjunto.

9. La potente estructura de hormigón armado de las plantas subterráneas de aparcamiento acabará recibiendo las cargas transmitidas por estos pilares, hasta conducir las a la losa de cimentación y, desde ésta, al terreno receptor. ♦

Robert Brufau i Niubó
Traducido por Jordi Palou

Robert Brufau i Niubó