



## TRASLADAR DESPLEGABLES DE TIJERAS (PÉREZ-PIÑERO) A CONTORNOS LIBRES, ¿EJEMPLO DE COMPETENCIA GRÁFICA DE ÚLTIMO NIVEL FORMATIVO?

## TRANSFER OF PLANAR SCISSOR-HINGE (PÉREZ-PIÑERO) TO FREE PROFILES, ¿EXAMPLE OF GRAPHIC SKILL FOR LATEST EDUCATIONAL LEVEL?

*Sandra González Meca, José Carrasco Hortal*

doi: 10.4995/ega.2015.3706

A través de un caso de estudio pre-doctoral sobre planteamientos morfológicos del arquitecto Pérez-Piñero, se pretende iniciar la edición de una serie de trabajos-muestra acerca de cuáles son las destrezas gráficas del estudiante que llega a un Máster y pretende iniciar un Doctorado. Gracias a la colaboración con Félix Candela, Pérez-Piñero diseñó y realizó el proyecto de la vidriera hipercúbica desplegable para el Museo Dalí (Figueres, Girona, 1971) en el cual las láminas de vidrio colaboran en la rigidización de la malla de barras cuyo planteamiento ya se encontraba en la primera patente que realizó para el Teatro Ambulante (Concurso de Londres, 1961). Este artículo muestra la raíz morfogeométrica de ambos proyectos y ensaya cómo alcanzar contornos libres desde recursos puramente

paramétricos, referenciando los resultados tanto a los estudios predoctorales de Sandra González (2014) como a un PFC presentado en la Escuela de Alicante (René Ploch, 2014) en línea con investigaciones recientes en el MIT (Rosenberg 2009).

**PALABRAS CLAVE: DISEÑO EN TIJERA. PÉREZ-PIÑERO. FORMACIÓN GRÁFICA. PROTOCOLOS PARAMÉTRICOS. TECNOLOGÍA APLICADA**

*The aim of this work is the submission of first document related to graphic skills for latests years in Architectural Degree program before entering a PHD program. Through selected study cases like this one of Pérez-Piñero s project, this paper open a discussion about graphic methodologies suitable for latest years in Architectural Degree.*

*Thanks to Felix Candela collaboration, Pérez-Piñero developed the deployable hypercubed stained-glass window for Museo Dalí (Figueres, Girona, 1971) in which glass pieces worked together with the structure for the stiffness of the skeleton, whose fundamentals were inspired in the ones designed for Convertible Theater (London Competition, 1961). This paper reflects some fundamentals from both projects and proposes a procedure to obtain free shapes using parametric tools, which can be followed through Sandra González PHD research (2014) and René Ploch Graduation Project (2014), being referenced to latest MIT scissors researches (Rosenberg 2009).*

**KEYWORDS: SCISSOR-DESIGN. PÉREZ-PIÑERO. GRAPHIC SKILLS. PARAMETRIC CONVENTION. APPLIED TECHNOLOGY**



1. Vidriera hipercúbica desplegable en París (a); Maqueta del Teatro ambulante (b); Pérez Piñero con la maqueta para el proyecto del Teatro Ambulante (c)

1. Hypercubed stained-glass window in Paris (a); Model of Convertible Theater (b); Pérez Piñero with the model of Convertible Theater (c)

## Introducción

Hipótesis de partida: la incorporación de asignaturas gráficas en nivel de Máster (como en el plan de estudios para Arquitectura en Alicante) requiere de la reformulación de una docencia de base empírica con capacidad de acompañar nuevos perfiles profesionales e investigadores, perfiles de trabajo colaborativo para gestionar las interfaces de procesos de fabricación digital que acaben generando un rango de muestras, variantes, ensayos... que favorezca situaciones incompletas, reconfigurables y adaptativas (Rosenberg, 2009), o incluso otras más sencillas pero controladas por el usuario que decide fabricar sus propios productos DIYs.

Esta investigación ejemplifica estas oportunidades de desarrollo centrándose en un caso de estudio pre-doctoral que usa recursos gráficos digitales para demostrar si el arquitecto Pérez-Piñero supo anticipar en el tiempo unos planteamientos morfológicos (las cubiertas de tijeras retráctiles) que han acabado inspirando soluciones despleables, transformables, desplazables y cinéticas. Unos dibujos del proceso generativo parametrizado (con Grasshopper), luego modelizado con sólidos

(Rhino) son la metodología para explicar la innovación que supuso la obra de Emilio Pérez-Piñero.

## Planteamiento

### ¿En qué consiste este módulo en tijera?

Se trata de un tipo de solución formada por barras cruzadas que transita desde un plegado compacto a desplegado. Esto se puede explicar analítica, numérica o gráficamente. Múltiples investigadores reconocen que Piñero fue pionero en este campo inventando el mecanismo de tijera en el cual los componentes pivotan cuando se cruzan en múltiples proyectos (Akgün, 2010).

### Dos hitos en la trayectoria de Emilio Pérez-Piñero

La principal fuente de información son las maquetas que se conservan en la Fundación Pérez-Piñero en Calasparra. Los dos proyectos que permiten iniciar genealogías con múltiples variantes son el Teatro Ambulante (Figs. 1b y 1c) y la Vidriera Hipercúbica del Museo Dalí (Fig. 1a). El primero había sido presentada al curso de estudiantes del VI Congreso

## Introduction

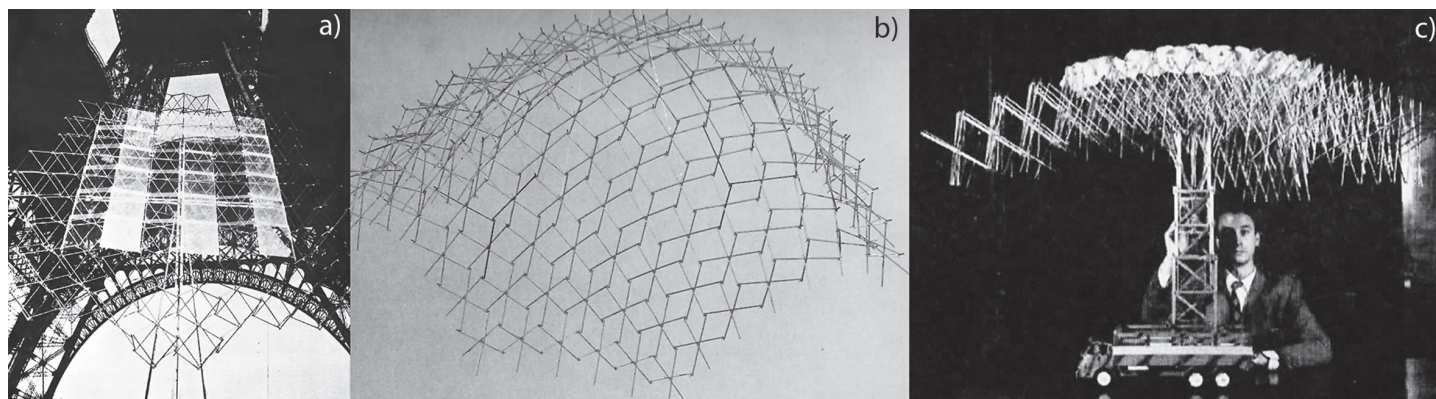
Starting hypothesis: The inclusion of graphic subjects in a Master's level (as it is in Architecture Degree in Alicante) requires an updating practical teaching related to new professional, research and collaborative profiles, e.g. to manage interfaces needed in digital fabrication processes that end up generating a rank of samples, tests, etc. able to communicate incomplete, resetting and adaptative situations (Rosenberg, 2009) or even simple situations but controlled by the user who decides to make their own DIY products.

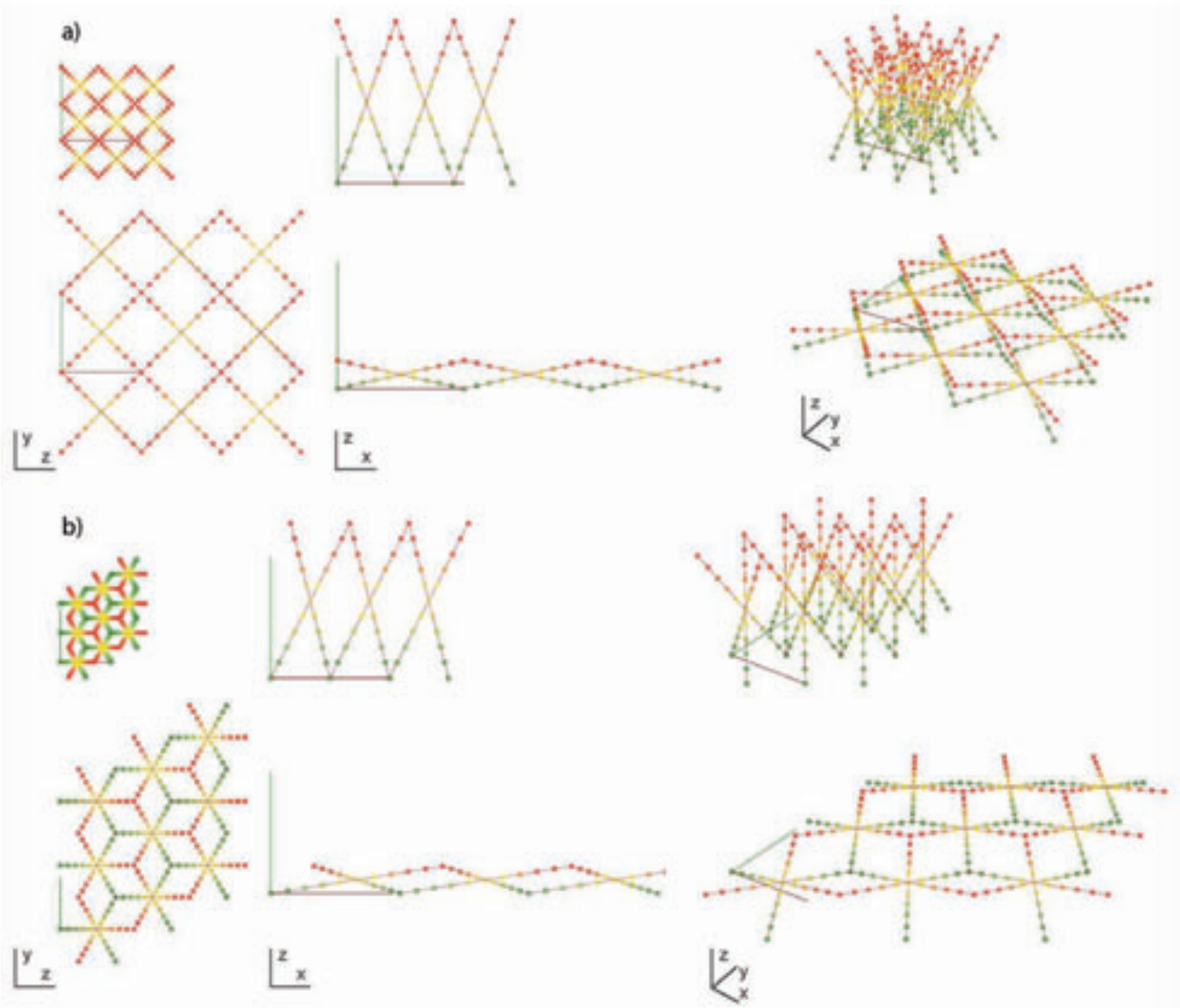
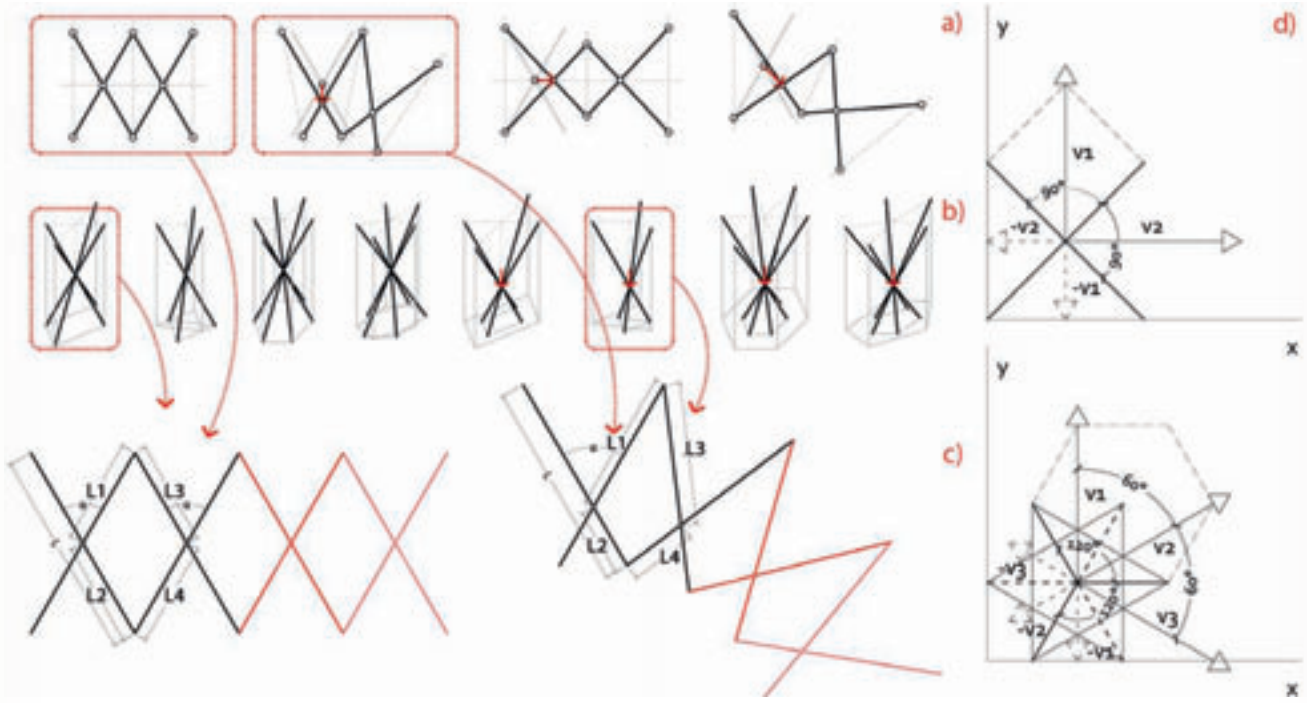
This research illustrates these opportunities for development focusing on a case of PHD study which uses digital graphic resources to demonstrate if the architect Pérez-Piñero knew how to foresee some morphological approaches (retractable scissors roofs) which finally inspired unfolding, transformable, moving and kinetic solutions. In this case, the idea is to demonstrate if some drawings of generative parametric process (with Grasshopper), later modelled with solids (Rhino) are acceptable arguments to explain Perez-Piñero's innovation.

## Approach / methods

### What does this scissors unit consist of?

It is a type of solution formed by crossed rods which move from a compact folding bundle to an unfolding three-dimensional shape. This can usually be explained in an analytical, numerical and graphical way. Many researchers recognize that Pérez-Piñero was a ground-breaking in this field thanks to the invention of his scissors mechanism whose components spin when they cross in the middle or any other point (Akgün, 2010).







2. Agrupaciones bidimensionales (a); Módulos de haces de barras (b); Forma plana y curva plegables (c); Vectores de crecimiento para el haz de 3 y 4 barras (d)  
 3. Malla plana de haz de 4 barras (a); Malla plana de haz de 3 barras (b)

2. two-dimensional groups (a); Units of bundles of bars (b); developed flat and curve shape (c); Aggregation vectors for bundle of four bars (d); Aggregation vectors for bundle of three bars (e)  
 3. Mesh of four bars bundles(a); and mesh of three bars bundles (b)

de la UIA, una estructura capaz de replegarse completamente; y la segunda estructura, de 18x10 metros en la que 84 vidrios eran colaborantes con la estructura (Casinello 1992), se gestó una vez iniciada la relación profesional con Félix Candela con quien había proyectado un módulo desplegable en la luna (1968) y la cúpula del teatro Museo Dalí (1969).

## Desarrollo geométrico-paramétrico

### Geometría básica plana y módulo 3D

Ambos proyectos se basan en la primera patente de Pérez-Piñero (1961). A partir de un aspa con dos barras de igual longitud, se obtienen 4 variantes geométricas dependiendo del nudo de cruce, generando agregaciones lineales o curvas (Fig. 2a).

Este artículo se centra en las variantes 1 y 2, que son el origen de una forma plana y la forma curva respectivamente. En ellos la compatibilidad del plegado entre dos módulos consecutivos se expresa por la equivalencia entre la suma de los brazos incidentes [1] como indican Ponce y Sánchez (2013). Conociendo la longitud de las barras  $L$  y el ángulo de plegado  $\alpha$ , se pueden obtener las anchuras y alturas que definen la geometría básica de las dos agrupaciones a lo largo del plegado y desplegado.

$L1 + L2 = L3 + L4$  [1] (Se muestra en la Fig. 2c)

El diseño de mallas desplegables en 3D pasa por seleccionar módulos de haces de barras (Fig. 2b). Para el caso del proyecto del Teatro Ambulante, la base geométrica es la del haz de tres barras con cruce descentrado. Los puntos superiores e inferiores forman además dos triángulos equiláteros diferentes en sus respectivas cotas, que formarán la

superficie poliédrica de agregación de dos casquetes esféricos facetados.

Para el proyecto de la vidriera hiper-cúbica desplegable, la base se resuelve geoméricamente mediante 4 barras que se articulan en su cruce (haz de 4 barras centrado). Los puntos superiores e inferiores se unen en sus respectivas cotas para formar dos cuadrados idénticos que determinan la agregación para formar la estructura plana.

### Vectores de agregación y mallado tridimensional

Para su definición es necesario determinar los vectores de crecimiento natural de los módulos. Para el primero se obtienen 2 vectores ( $v1$  y  $v2$ ) que corresponden a las diagonales de los cuadrados que se forman en planta con los módulos contiguos, y cuya dirección es  $x$  e  $y$ . Para el caso del haz de 3 barras se simplifica la geometría a los desarrollos planos, y se obtienen 3 vectores de crecimiento natural,  $v1$ ,  $v2$  y  $v3$ , tomados desde el punto de intersección de las barras del módulo. Estos vectores corresponden a las diagonales menores del hexágono que forman en planta los puntos superiores e intermedios del módulo con sus contiguos (Fig. 2d).

En la aplicación paramétrica Grashopper 1, la longitud de barra  $L$ , el ángulo de plegado  $\alpha$  y el número de módulos son variables escalares, lo que permite obtener cualquier combinatoria sin necesidad de realizar un dibujo para cada iteración. Unos códigos cromáticos informan sobre las cotas de nivel: rojo para el plano superior, amarillo para el intermedio y verde para el interior.

En el caso de la malla de haz de 4 barras, desde la planta se percibe claramente que el plano superior e inferior son coincidentes a lo largo

## Two landmarks in Emilio Pérez-Piñero's career

The main sources of information are the models kept at Pérez-Piñero Foundation in Calasparra. Two of the projects that offer the possibility of starting the genealogies with multiple variations are the Itinerant Theatre (Fig.1b and 1c) and the hypercubed stained-glass window in Dalí Museum (Fig. 1a). The first project, a fully collapsible structure, was submitted to the students' contest in the VI UIA Congress; the second project, a 18x10 meters structure with 84 glass panels (Casinello, 1992), was developed once he started a professional relationship with Félix Candela. Both designed together an unfolding module in the moon (1968) and the dome in the theatre of Dalí Museum (1969).

## Geometric-parametric development

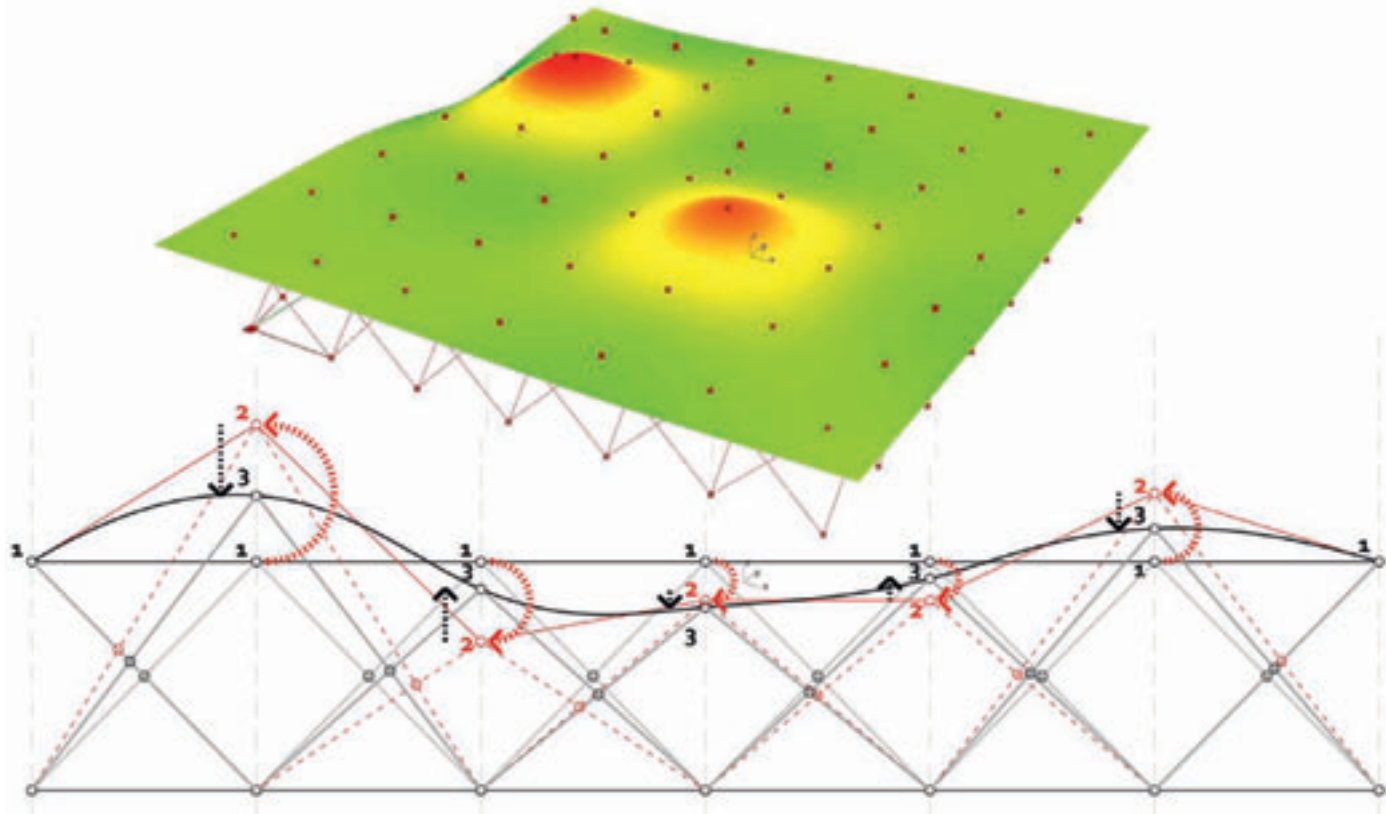
### Basic flat geometry and 3d units

Both projects are base in the first Pérez-Piñero's patent (1961). From crossed bars of equal length, four geometric variations are obtained depending on the position of crossing knot, and linear or curved aggregations are produced (four variations in Fig. 2a).

This paper is focused on variations 1 and 2 as they are the origin of a flat and a curved form, respectively. The compatibility of the folding between two adjacent units comes from the equivalence between the sum of lengths each pair of bars [1] (Ponce and Sánchez 2013). Knowing the length of the  $L$  bars and the  $\alpha$  folding angle, width and height of basic geometries can be obtained.

$L1 + L2 = L3 + L4$  [1] (This is shown in fig. 2c)

The analysis of unfolding deployable reticulate meshes implies the definition of bundles of bars as units (Fig. 2b). In the Convertible Theatre project, the geometric base is the bundle of three bars with an off-centre crossing. The upper and lower points also form two equilateral triangles different in their corresponding heights, they will form the polyhedral aggregation surface of two faceted spherical caps. For the hypercubed unfolding stained-glass window project, the base is solved geometrically by means of four bars which articulate their crossing (centered bundle of 4 bars). The upper and lower points form two identical squares which determine the aggregation units.



4

### Aggregation vectors and 3D mesh

For the parametric definition, it is necessary to determine the growing vectors in modules so that they can be combined. For the first one two vectors are obtained ( $v_1$  and  $v_2$ ) corresponding to the diagonal of the squares formed on the top view with the adjacent units and whose direction is  $x$  and  $y$ . In the case of the bundle of three bars, geometry is simplified to flat developments and three natural growing vectors are obtained,  $v_1$ ,  $v_2$  and  $v_3$ , taken from the intersection point of the bars in the module. These vectors correspond to the lower diagonals of the hexagon; they form on the top view the upper and intermediate points in the module with their adjacent ones. (Fig. 2d). Once the geometric basis has been stated, combinations for the bundles of three and four bars have been designed in Grasshopper's parametric application 1, according to the length  $L$  of the bar, the folding angle  $\alpha$  and the number of units, which allows to obtain any solution without preliminary drawings. Some chromatic rules explain the position of control points: red for the upper level, yellow for the intermediate and green for the lower one.

In the case of the bundle of four bars mesh, it is clearly seen from the top view that the upper and lower levels match as long as the mesh unfolds. As before, the condition of compatibility is verified as all semi-bars measure the same. (Fig. 3a). In the case of the bundle of three bars mesh, it is seen from the top view that the upper and lower

del despliegue de la malla. Como conjunto que se une, se verifica la condición de compatibilidad en el plegado, ya que todos los brazos son la mitad de la longitud total de la barra. (Fig. 3a). Para el caso de la malla de haz de 3 barras, desde la planta se percibe que el plano superior e inferior no son coincidentes en el despliegue, lo que facilita su observación, con 6 mitades de barras que emergen desde el punto central. Como en el caso anterior, se produce idéntica condición de compatibilidad. (Fig. 3b)

En ciertos momentos de la investigación se ha tratado de abordar la compatibilidad de la extensibilidad modular y la definición de superficies libres (p.e. incorporando variaciones en la cota  $z$ ), llegando a ensayar una definición híbrida entre ambos objetivos. Para ello, la transformación consiste en variar las cotas de algunos de los puntos del plano superior de la agregación de módulos desde un estadio 1, a un estadio 2 alterado por esta variación, y donde la superficie de la agregación deja de ser plana para convertirse en facetada. En un estadio 3, se produce una relajación

de los puntos anteriores (vértices de la superficie facetada). (Fig. 4)

Primero se realiza la construcción del aspa bidimensional en el sentido longitudinal y transversal determinando el módulo tridimensional y se repiten las aspas en las direcciones principales (estadio 1); luego se extraen los puntos extremos de las aspas y se alteran las cotas de los superiores (estadio 2); para finalmente obtener una superficie relajada (estadio 3) (Fig. 5).

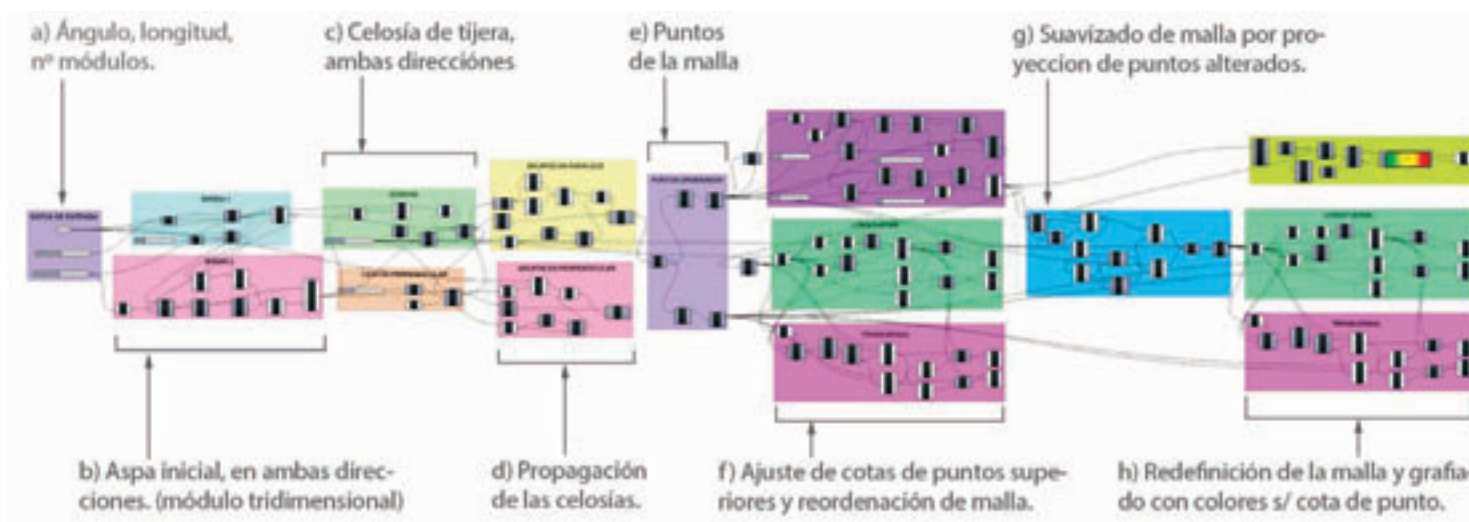
### ¿Cómo se representan las unidades básicas y los desplegados de las tijeras?

Para empezar, conviene respetar los códigos gráficos que literatura especializada como el caso de Akgün (2010); al dibujar las tijeras con cuerpo, debe entenderse la posición en planos adelantados y retrasados de las parejas de barras (Fig. 6a); al cambiar de un módulo estándar a otro de conexión, conviene incorporar un cromatismo nuevo (Fig. 6b); se debe señalar cuando haya actuadores dinámicos (fig.6c); y conviene indicar los subsistemas para el montaje (Fig. 6d).



4. Esquema de los tres estadios de transformación y superficie alabeada del estadio 3  
 5. Toma de decisiones y fases de trabajo en la ventana gráfica de Grasshopper. (para el modelo de la figura 4)

4. Diagram of stage 1 to 3 and relaxed surface in stage 3  
 5. Working stages in Grasshopper. (to develop model in fig. 4)



5

Algunos otros trabajos son oportunos porque ilustran técnicas de modelado derivadas de ensayos pre-digitales, incorporando recursos electrónicos mediante placas de Arduino para controlar los movimientos a partir de los actuadores dinámicos, encontrando modos gráficos (Fig. 7a, Rosenberg, 2009) o fotográficos (a la manera del científico Harold Edgerton con sus fotografías ortoboscópicas Fig. 7b, Kayafas, 2011) para explicar la variabilidad y los estados intermedios.

Finalmente, otro ejemplo para traducir los diseños de Pérez-Piñero a una gramática gráfica comprensible está en el trabajo René Ploch (2014), referido a definición de prototipos expandibles modelando sólidos de piezas prismáticas cortados con una máquina cortadora láser (FabLab UA). En el primer caso, un disco de solape determinará el ángulo de plegado máximo (Fig. 8a); en el segundo caso una barra acaba conectando con una ranura colisa permitirá configuraciones formales amplias (Fig. 8b). En ambos, los nudos de encuentro entre aspas se formalizan como cruces

(dos pequeñas barras engarzadas) con articulaciones en sus extremos para recibir más componentes.

### Conclusión

Para ser capaces de modificar la forma original de estructuras reticulares desplegables, se hace imprescindible estudiarla con precisión, entendiendo en primer lugar sus bases y variables de partida: una geometría bidimensional genera un módulo raíz tridimensional que crea la malla y en consecuencia las superficies que conectan los puntos de cada plano. La variabilidad final depende de los parámetros. En este artículo se hace referencia a dos módulos posibles de los diversos que a priori ofrece la tipología reticular desplegable.

¿Por qué este caso de estudio es apropiado para un último nivel formativo en Arquitectura? La razón es que supone una experiencia de aprendizaje transversal: muchas áreas de conocimiento de arquitectura se entrecruzan (composición, dibujo, sistemas estructurales, proyectos...), también se combinan estrategias (proble-

levels do no match in the unfolding process, which makes its observation easier with 6 bar-halves emerging from the central point. As before, the condition of compability is produced. (Fig. 3b). Upper knots form a flat and continuous surface in previous cases. In order to obtain non-planar solutions, the program stretches the model and reconfigure the control points by relaxation (from stage 1 to 2), obtaining a faceted surface (Fig. 4). In this latest process the 2D crosspiece is built in longitudinal and transversal axis, determining the 3D unit and crosspieces are repeated in the main directions (stage 1); afterwards the opposite points in the crosspieces are obtained and the heights in the upper ones are altered (stage 2) to finally obtain a relaxed surface (stage 3) (Fig. 5).

### How are basic units and scissors unfoldings represented?

To begin with, it is useful to follow the graphic codes in specialized literature, e.g. Akgün (2010): in case of drawing 3D scissors, it must be understood the position in overlapped plans of of bars (Fig. 6a); in case of changing a base module to a different ending, new chromatics must be incorporated (Fig. 6b); in case of using dynamic actuators, they must be outlined (Fig. 6c); sub-systems should be clear (Fig. 6d).

Some other works are useful because illustrate modelling techniques inspired in pre-digital essays, incorporating electronic devices (Arduino) to control elongation of dynamic actuator, by graphic (Fig.

6. Unidad de tijera modificada con agujero coliso central (a); esquemas combinatorios que usan la tijera anterior (b); los sistemas activos se acoplan a dos de sus extremos (c); las soluciones ofrecen variabilidad de centros generadores (d) (Akgün, 2010)

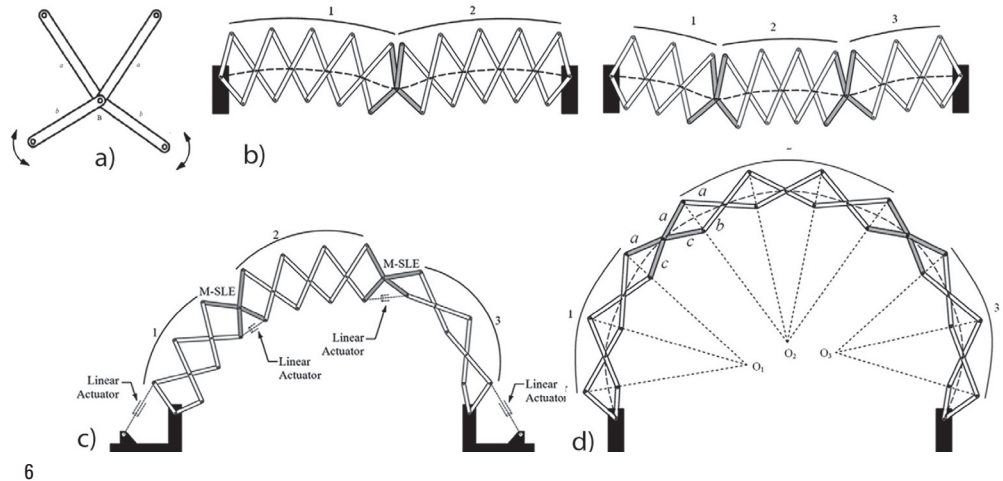
7. Dibujo de solución de tijera angular (a); maqueta de tijera doble bidireccional (b) (Rosenberg, 2009)

8. Dibujo de sólidos en Rhino y piezas cortadas con láser (PFC, René Ploch, 2014)

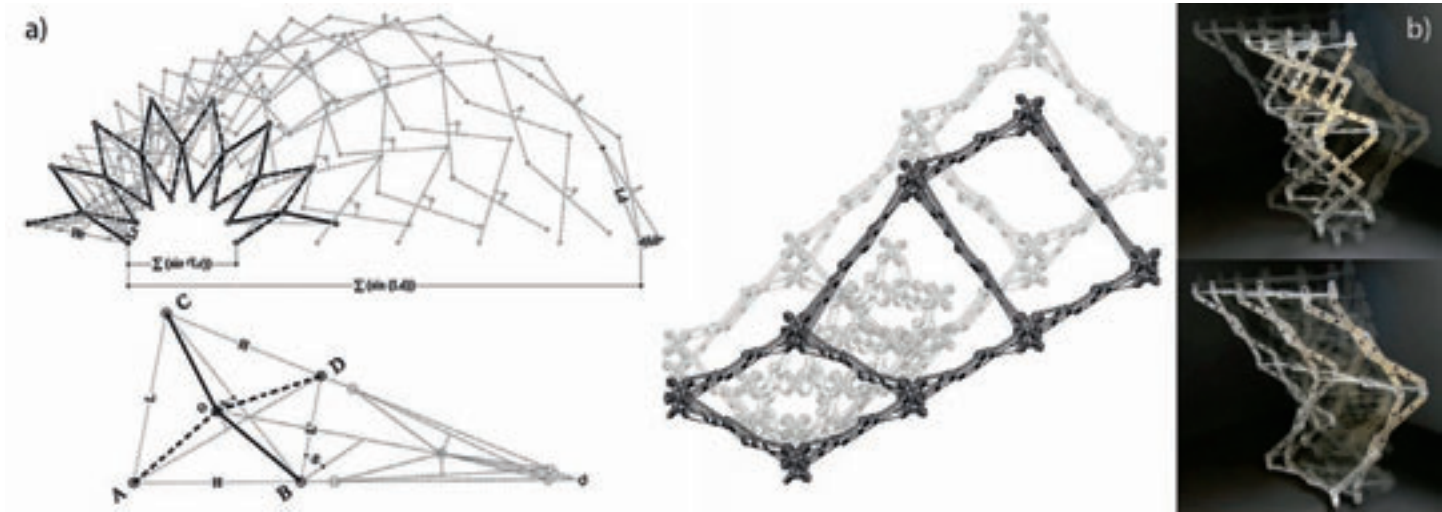
6. Modified unit scissor with central slotted hole (a); combined outline which used the previous scissors (b); active systems are coupled to both extreme points (c); the solutions offer different generative centers (d) (Akgün, 2010)

7. Drawing of angular scissors (a); model of double two-directional scissors (b) (Rosenberg, 2009)

8. Drawing of solids with Rhino and some pieces which are cut with laser (FYP, René Ploch, 2014)



6



7

7a, Rosenberg, 2008) or photographic ways to explain variability and intermediate states (Harold Edgerton's strobe experiments, Fig. 7b, Kayafas, 2011).

Finally, another example to find ways to translate Pérez-Piñero's designs into an understandable graphic grammar happens on René Ploch's work (2014), it refers to the definition of flat and 3D unfolding prototypes modeling solids of prismatic pieces which would be cut later with a laser cutting machine (FabLab UA). In the first case a thin circle will determine the maximum folding angle (Fig. 8a); in the second case a bar with sliding connection will allow wide formal configurations (Fig. 8b). In both cases, four ends of each scissors are connected to a special designed cross-knot.

## Conclusion

Before proposing adaptative solutions, the precise geometry need to be analyzed and understood. To address the problem, this is simplified in a starting 2D geometry that is able

matización del contexto, desarrollo de variantes, mezcla entre recursos analógicos y digitales...); por otro lado, permite acotar extremadamente bien un problema, entendiendo cómo un sistema complejo es generado a partir de un componente simple (el haz espacial de barras); finalmente, porque es un tipo de trabajo que se abre a estudios posteriores (p.e. evaluación mediante Karamba-Grasshopper de los flujos de fuerza, optimizados y respuesta elástica, o evaluación del impacto de dicho proyecto en la época y en patentes posteriores).

Estas han sido las estrategias gráficas y procedimientos de software que han acompañado a un Trabajo Final de Máster, una investigación predoctoral (Sandra González Meca, 2012 y 2014) y un Proyecto Final de Carrera

(René Ploch, Julio de 2014), enmarcados en una línea de investigación que fomenta la incorporación de procesos paramétricos y de fabricación digital en busca de un objetivo último de acortar los tiempos para obtener el producto acabado.

Finalmente, otra conclusión es que el propio devenir de la formación reglada y no reglada de los estudiantes ayuda a determinar qué estrategias deben escoger para ser ensayadas en algunas de las asignaturas-laboratorio que acompañan los finales. Sus portfolios acaban mostrando intensificaciones curriculares específicas (es decir, lo que ellos deciden investigar y en lo que ellos deciden formarse), por lo que estando muy atento a estos recursos se podrán ir actualizando metodologías y enunciados docentes. En



8

el fondo, este artículo pretende abrir este debate: ¿De qué modo se determinan los contenidos formativos últimos? ¿Son competencia exclusiva del maestro? ¿Pueden éstos aprender de los alumnos? ¿Cada cuánto deberían actualizarse los contenidos? ■

#### Notas

1 / Interfaz gráfica acoplada al programa Rhinoceros capaz de producir formas mediante algoritmos matemáticos.

#### Referencias

- AKGÜN, Y. y otros, 2010. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures, en *Engineering Structures* n.32, pp.2873-2883.
- CASINELLO, F. 1992. Estructuras desplegadas de Emilio Pérez Piñero. Murcia: A.G.Novograf S.A.
- KAYAFAS, G. (2011) Harold Edgerton: the Anatomy of Movement, La Fábrica.
- PÉREZ, E. 1961. Estructura reticular estérea plegable. nº0266801. Oficina Española de Patentes y Marcas.
- PONCE, A., SANCHEZ, J., 2013. Formal definition of the spatial deployable of rectangular module x-frames structures over frustoconical surfaces. En *New proposals for transformable architecture, engineering and design*, vol. 1 *Deployables*, nº 7, pp. 59-64.
- ROSENBERG, D., 2009. Indeterminate Architecture: Scissor Pair Transformable Structures.

to generate a 3D units which, in turn, become a mesh and, as a result, the surface. By knowing the initial premises and the different variables, it is possible to modify them to obtain different conclusions. In this particular case, there is only reference to two possible starting modules.

Why is this study-case appropriate for a last-level program? The reason is that it supposes a transversal learning experience: many architectural disciplines are overlapped (composition, graphic skill, structures and construction systems, design...); also some strategies are combined (context determination, variabilities development, hybridation between analogic and digital resources...); also it can fix the specificity of the problem generated from a simple component (the scissor-system); finally, it is that kind of works that opens later researches (e.g. with Karamba-Grasshopper to the stress and elastic strains, or impact evaluation related to other patents).

These have been the graphic strategies and software procedures attached to a Master's Degree Final Project; a pre-doctoral research (Sandra González Meca, 2012 and 2014) and a Final Degree Project (René Ploch, July 2014), both belong to a research line that promotes the inclusion of parametric and digital production procedures in search of an ultimate aim to shorten the time to get a finished product.

One conclusion is that non-regulated trainings help teachers to fix part of the strategies to

be implemented in some of the workshops at the end of the formative program. Portfolios show those specific interest to which students dedicate a great amount of time, as research platforms for their future. Paying attention to these resources, teachers found key contents for their programs. Basically, this article aims to open this conversation: how are these final training procedures are selected? Can the teacher learn from the students? How often should these contents be updated? ■

#### Notes

1 / Graphic interface integrated in Rhinoceros application able to produce shapes by means of mathematical algorithms.

#### References

- AKGÜN, Y. et al., 2010. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures, en *Engineering Structures* n. 32, pp.2873-2883.
- CASINELLO, F. 1992. Estructuras desplegadas de Emilio Pérez Piñero. Murcia: A.G.Novograf S.A.
- KAYAFAS, G. (2011) Harold Edgerton: the Anatomy of Movement, La Fábrica.
- PÉREZ, E. 1961. Estructura reticular estérea plegable. nº0266801. Oficina Española de Patentes y Marcas.
- PONCE, A., SANCHEZ, J., 2013. Formal definition of the spatial deployable of rectangular module x-frames structures over frustoconical surfaces. En *New proposals for transformable architecture, engineering and design*, vol. 1 *Deployables*, nº 7, pp. 59-64.
- ROSENBERG, D., 2009. Indeterminate Architecture: Scissor Pair Transformable Structures. Massachusetts Institute of Technology, pp.1-23.