

## **GD en GD (GRAMÁTICA DIGITAL EN GEOMETRÍA DESCRIPTIVA)**

## **DG in DG (DIGITAL GRAMMAR IN DESCRIPTIVE GEOMETRY)**

Ana González Uriel, Ismael García Ríos, M<sup>a</sup> Isabel Gómez Sánchez

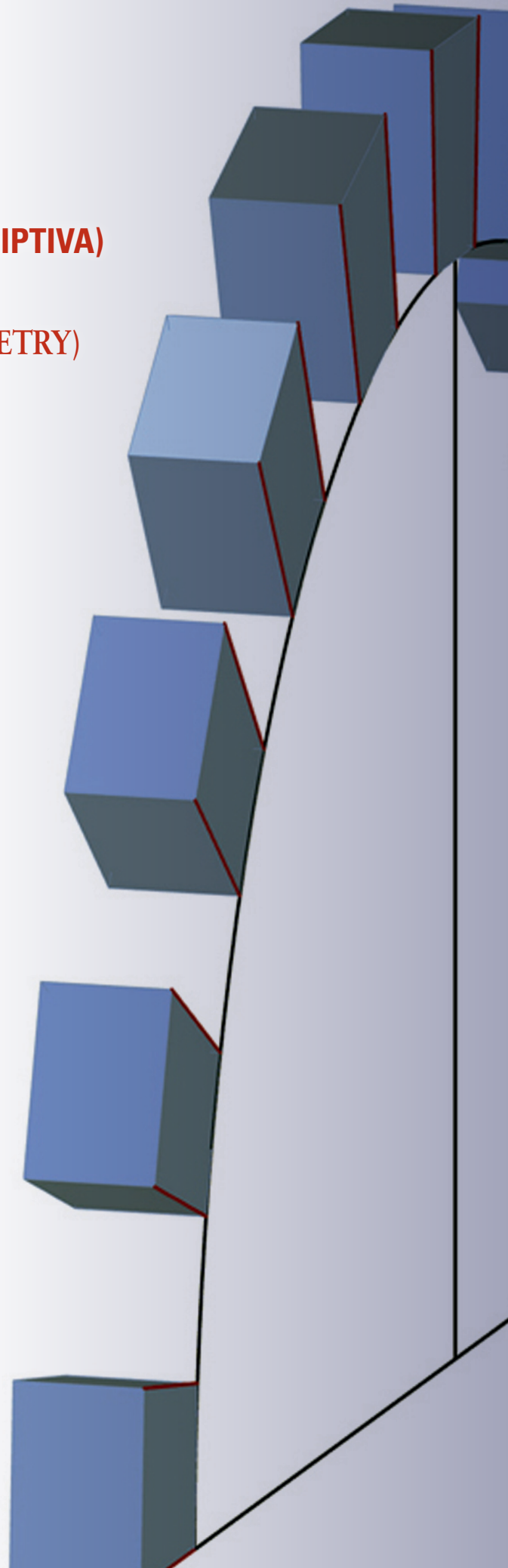
doi: 10.4995/ega.2019.7853

Actualmente, en el área EGA está extensamente asentada la integración de programas informáticos de dibujo en la docencia de Geometría Descriptiva, o Geometría y Dibujo. En este contexto, se plantea la introducción de aplicaciones de programación visual que permiten incidir en los procesos de generación y trazado de curvas y superficies y en las relaciones entre elementos geométricos. Se exploran las posibilidades que brindan estas aplicaciones respecto a los contenidos propios del currículo de la materia. Se ofrece una serie de ejemplos que los autores han desarrollado, y se reflexiona sobre los problemas y ventajas encontrados tras analizar los resultados de su inclusión en un curso ordinario.

**PALABRAS CLAVE:** DISEÑO PARAMÉTRICO. GEOMETRÍA. PROGRAMACIÓN VISUAL. CURVAS. SUPERFICIES

*Nowadays the inclusion of CAD software is well-established in Geometry teaching within the field of Architectural Graphic Expression. In this environment, we suggest the introduction of visual programming software tools which would allow us to focus on the logical relationship between geometric elements and on the generation processes of curves and surfaces. The aim is to explore the link between the possibilities offered by these tools and the curriculum contents. We present some examples developed as complementary materials to significant topics usually covered in a Geometry course and we discuss some advantages and difficulties found after students test them during an ordinary course.*

**KEYWORDS:** PARAMETRIC DESIGN. GEOMETRY. VISUAL PROGRAMMING. CURVES. SURFACES





## Estado de la cuestión

El manejo de formas de configuración variable es una realidad cada vez más presente en las fases de diseño de la práctica profesional. Revit, ArchiCAD y demás programas de *modelado con información para la construcción* estructuran su funcionamiento en base a la generación y edición de familias de elementos cuya forma depende de parámetros. Diseño de procesos de generación vs. diseño de formas.

Si bien el uso que inicialmente la mayor parte de los arquitectos dio a los ordenadores fue emular el dibujo manual -con más precisión y la posibilidad de copiar y editar los trazados-, desde muy pronto algunos emplearon herramientas de programación soportadas por las aplicaciones CAD para aumentar o personalizar sus prestaciones (Peters, 2013), usando lenguajes como RhinoScript o Python para Rhinoceros, Autolisp en Autocad o MDL en Microstation.

Muchas formas “libres” de la arquitectura contemporánea tienen que ver con curvas y superficies NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*). En el prefacio de su libro sobre éstas, Les Piegl y Wayne Tiller (1995) mencionaban la broma de algunos investigadores con este acrónimo, tomándolo por *Nobody Understands Rational B-Splines*. Conocer mejor la manera en que los programas de dibujo operan, entender la gramática de su lenguaje, permite a los estudiantes utilizarlos con rigor y aprovechar más eficazmente sus posibilidades.

El uso de programas BIM para modelar arquitectura y gestionar su construcción se va extendiendo en el mundo real. En los planes de estudios de nuestras escuelas van

apareciendo bastantes asignaturas con “diseño paramétrico” en alguna parte de su título o su programa, sobre todo en los últimos cursos de grado o en máster. Aplicaciones de la parametrización y la programación visual al modelado geométrico son utilizadas en investigaciones de diversa índole, para emular edificios construidos (Capone y Nigro, 2017), para explorar dinámicas proyectuales (Coloma y de Mesa, 2012) o reproducir procedimientos concretos basados en la geometría de Monge (González, 2016). Lo novedoso de la propuesta que se presenta aquí reside en su utilización como medio para apoyar y reforzar aprendizajes propios de la materia Geometría Descriptiva, o Geometría y Dibujo, en primer curso.

## Trazar en los tiempos del dígito (Planteamiento)

Comprender la lógica y los algoritmos que sirven a la máquina para generar y controlar las formas geométricas que aparecen en pantalla resulta útil para usar estas herramientas de programación. En el camino inverso, emplear estas aplicaciones puede ayudar a probar e inferir algunos de esos procesos.

Estas aplicaciones, antaño crípticas para el usuario general, cada vez tienen una apariencia más gráfica y *amigable*. Grasshopper permite visibilizar, relacionar y reordenar fácilmente parte de esos procesos de generación y transformación de entidades formales, obviando la aridez de los lenguajes de programación clásicos (Tedeschi, 2014).

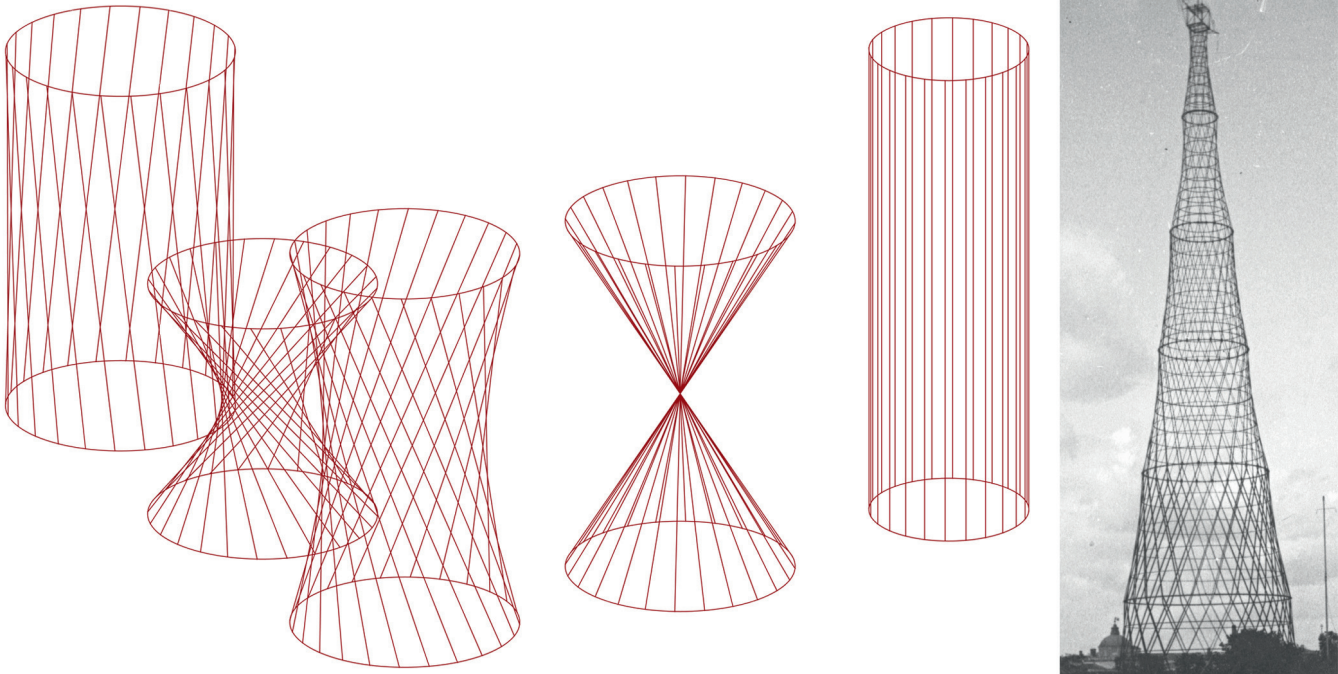
Proponemos aprovechar la amabilidad de este software para introducir una pequeña dosis de *gramá-*

## State of the art

Managing unsettled forms is a reality increasingly present in the design phases of professional practice. Revit, ArchiCAD and other BIM programs base their operation on generating and editing families of elements whose form depends on parameters. Design of generation processes vs. design of forms. Most architects initially used computers to emulate manual drawing – with more precision and the possibility of copying and editing tracings – however very soon some of them used programming tools supported by CAD applications in order to increase or customize its features (Peters, 2013), using languages such as RhinoScript or Python for Rhinoceros, Autolisp in Autocad or MDL in Microstation. Many “free” forms of contemporary architecture have to do with NURBS curves and surfaces (Non-Uniform Rational B-Spline). In the preface to their book on these, Les Piegl and Wayne Tiller (1995) mentioned the joke some researchers made with this acronym, taking it for Nobody Understands Rational B-Splines. Knowing the way drawing programs operate and understanding the grammar of their language will allow students to use them accurately and take advantage of their possibilities more effectively. The use of BIM programs to model architecture and manage its construction process is growing in the real world. Many subjects with “parametric design” in some part of their title or program are appearing in our schools, particularly in the last courses at degree or Master’s level. Applications of parametrization and visual programming to geometric modeling have been used to emulate constructed buildings (Capone and Nigro, 2017), to explore project dynamics (Coloma and de Mesa, 2012) or to reproduce specific procedures based on Monge’s geometry (González, 2016). The novelty of our proposal lies in its use as an aid to support and reinforce learning of issues concerning Descriptive Geometry, or Geometry and Drawing, in the first year.

## Draw in the Time of digit (Approach)

Understanding the logic and algorithms used by the machine to generate and control



1

the geometric shapes that appear on the screen is useful in order to utilize these programming tools. In the reverse way, employing these applications can help to prove and infer some of those processes. These applications, once cryptic for the average user, have an increasingly user-friendly appearance and graphic interface. Grasshopper allows its users to easily visualize, relate and reorder part of those processes of generation and transformation of geometric entities, bypassing the hardness of classic programming languages (Tedeschi, 2014).

Our approach involves taking advantage of this helpfulness to introduce a small dose of digital grammar associated with the study of geometric forms. At the time of carrying it out we were using version 5 of Rhinoceros and Grasshopper was an external plugin. In the new version 6 it has been incorporated as one toolbar more. We planned a series of microsessions on concepts or purposes we considered interesting from our approach. This is not to train students in the use of a successful production tool (which it is) – for which they already have several manuals and courses available, nor to introduce them into the use of programming languages – which would not be a bad idea (Leitão, Cabecinhas and Martins, 2010) – but rather to use this software to incite their own process of thinking and understanding forms and geometry.

*tica digital* asociada al estudio de las formas geométricas. En el momento de llevarla a cabo utilizamos la versión 5 de Rhinoceros y Grasshopper era un *plugin* externo. En la nueva versión 6 está incorporado como una barra de herramientas más. Planeamos una serie de microsesiones en torno a conceptos o aplicaciones de interés desde la intención que nos mueve. Ésta no es adiestrar a los estudiantes en el manejo de una exitosa herramienta de producción (que lo es), para lo que ya existen manuales, cursillos y tutoriales a su disposición, ni introducirlos en el uso de los lenguajes de programación, que no estaría mal (Leitão, Cabecinhas y Martins, 2010), sino utilizar este software para catalizar su propio proceso de reflexión y entendimiento de las formas y su geometría.

### Seis ejemplos (Desarrollo)

En cada microsesión se presenta un ejemplo y se proponen uno o varios retos vinculados a contenidos geométricos. En la medida de lo posible se comentan referencias arquitectónicas construidas.

En la siguiente sesión se analizan y discuten diversas respuestas posibles. Con ello se pretende hacer surgir preguntas en relación al estudio de las formas, y promover la utilización de los recursos tecnológicos con sentido crítico desde el inicio de la formación universitaria.

### 1. Generatrices en superficies regladas de revolución

Las posiciones sucesivas de una recta que gira alrededor de otra corresponden a las generatrices de una superficie cilíndrica, cónica o hiperbólica según ambas rectas sean paralelas, secantes o se crucen.

En Grasshopper (en adelante GH) puede establecerse un número de puntos sobre dos circunferencias paralelas, y definir segmentos entre ellos. Haciendo girar una de las circunferencias (o renumerando la lista de puntos sobre ella) cambia la inclinación de los segmentos (Fig. 1).

Sustituir las circunferencias por dos elipses permitió comentar el concepto de giro elíptico y ampliar el catálogo de formas recorridas en la asignatura.

Hacer que las circunferencias tuvieran distinto radio o cambiar sólo





1. Ejemplo 1, imagen de los autores. Torre de radio, Vladimir Shukhov, Moscú 1922 (fotografía: Shukhov Tower Foundation)

2. Ejemplo 2, imagen de los autores. Cometa “Cygnét”, Alexander Graham Bell, 1907 (fotografía: Bell Collection)

1. Example 1, image by the authors. Radio tower, Vladimir Shukhov, Moscow 1922 (photograph: Shukhov Tower Foundation)

2. Example 2, image by the authors. “Cygnét” Comet, Alexander Graham Bell, 1907 (photograph: Bell Collection)

una de ellas por una elipse sirvió para preguntar sobre la naturaleza de las superficies regladas resultantes.

## 2. Identificación de relaciones geométricas en poliedros regulares y secuencia de procesos para su trazado a partir de datos

Abatimientos, giros y cambios de proyección permiten, en sistema diédrico, resolver cuestiones sobre distancias, perpendicularidad y trazados en planos no frontales. Aparte del conocimiento de las herramientas y posibilidades de cada

sistema, el desarrollo de cierta lógica espacial y el reconocimiento y empleo de las propiedades de curvas y superficies son de valor para la formación del estudiante. Con ese sentido, se propuso “programar” en GH el trazado de poliedros más allá de las “primitivas” ortoédricas ofrecidas habitualmente por los programas informáticos 1.

Se planteó como ejemplo dibujar un tetraedro con una cara horizontal, dado uno de sus lados (Fig. 2). Puede acometerse en GH girando elementos (una arista, un vértice) sobre ciertos ejes. Una vez previsto qué elementos y alrededor de qué ejes, basta enlazar los componentes pertinentes para establecer esas operaciones. Se propuso después trazar un tetraedro en posición cualquiera. Otros

## Six examples (Development)

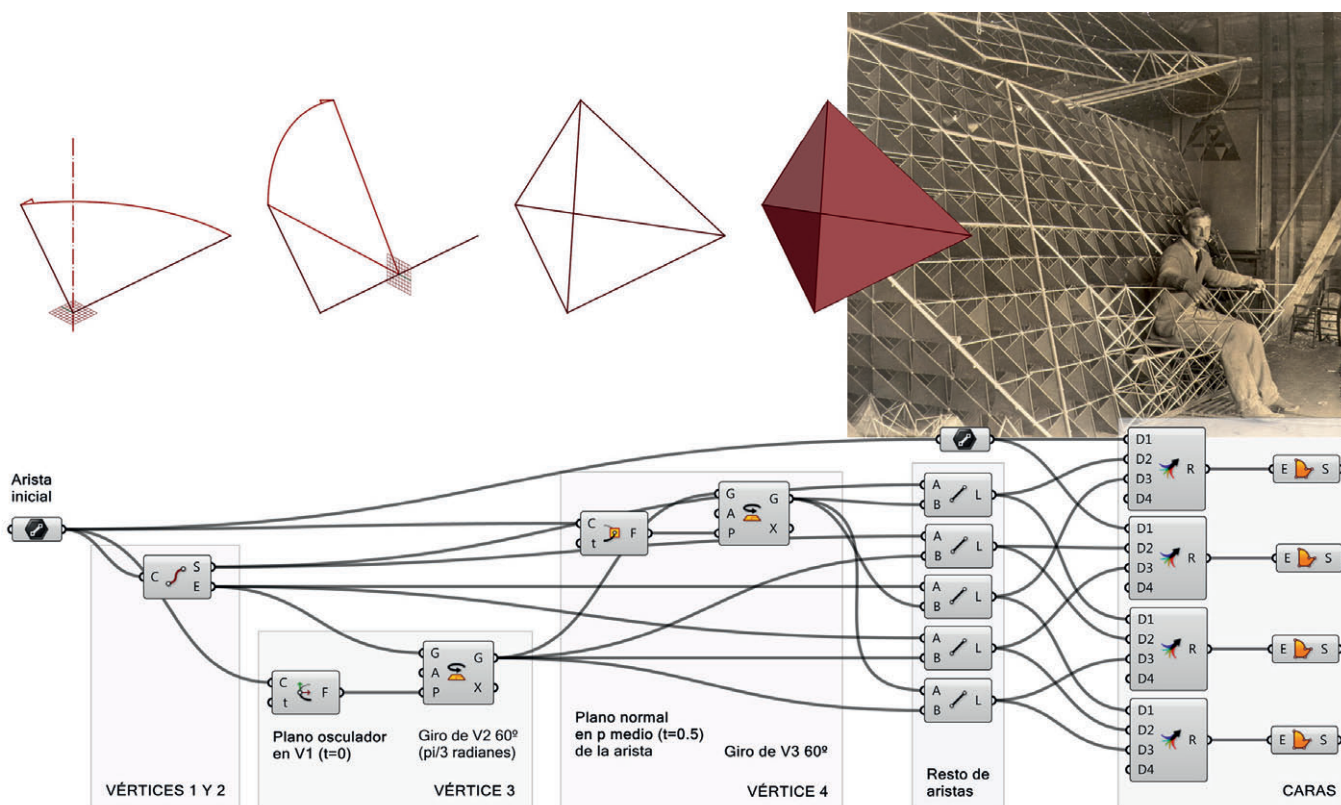
An example linked to geometric contents is presented in each microsession, and one or several challenges are posed. Architectural built references are commented on whenever possible.

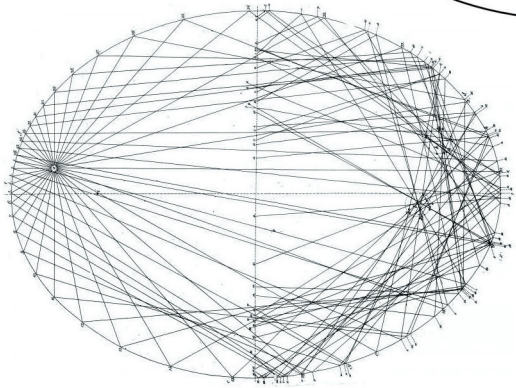
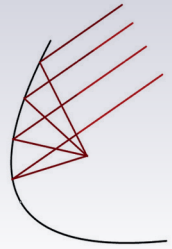
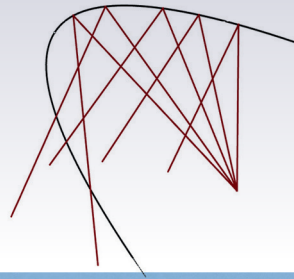
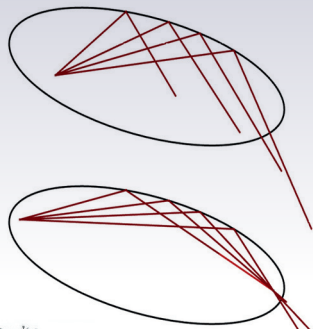
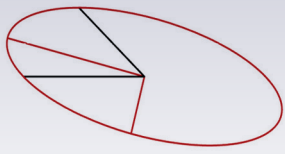
Several possible answers to the challenges are analyzed and discussed at the next session. This is intended to raise questions related to the study of forms, and promote the use of technological resources with critical sense from the beginning of university education.

### 1. Rules on ruled surfaces of revolution

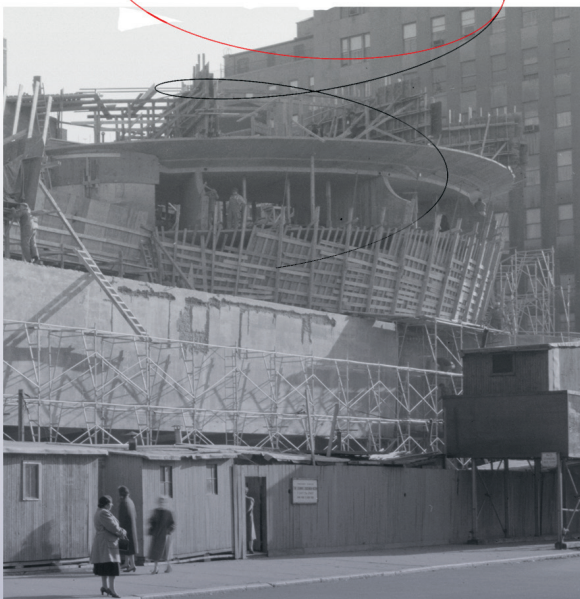
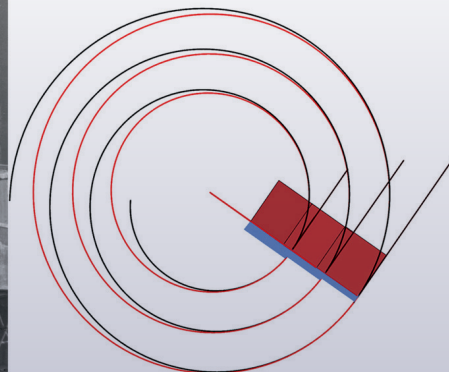
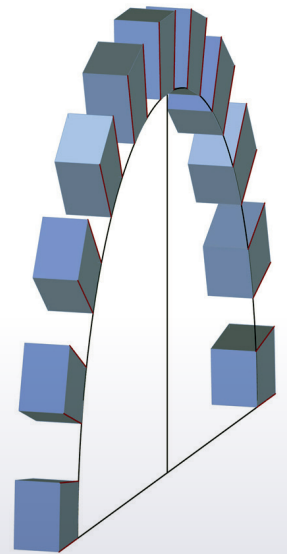
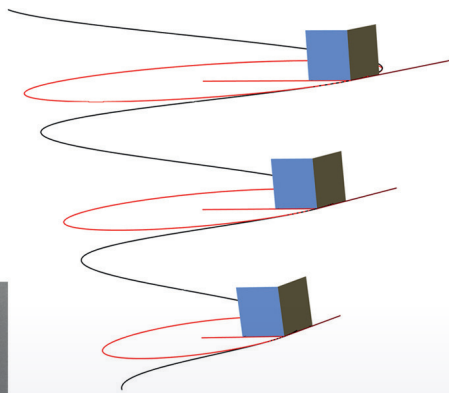
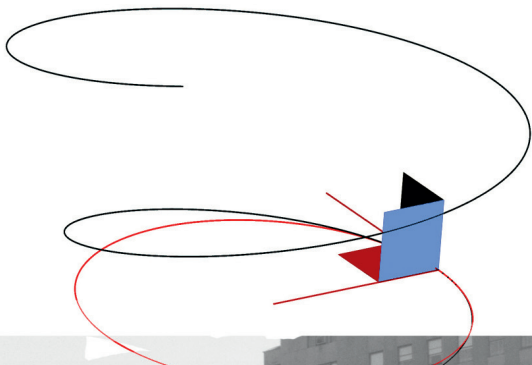
The successive positions of a line that spins around another correspond to the rules of a cylindrical, conical or hyperbolic surface, depending on whether both lines are parallel, intersecting or skew.

In Gasshopper (henceforth GH) a number of points can be laid on two parallel circles, and line segments can be defined between





3



4



3. Ejemplo 3, imagen de los autores. Espejos de sonido en Denge, Inglaterra, Dr William Sansome Tucker, 1916 (imagen de Patrick Sykes en [www.theinklingmag.com](http://www.theinklingmag.com)). Diagrama de reflexión irregular de sonido en un teatro elíptico, Carl Ferdinand Langhans, en Ueber Theater (1908)

4. Ejemplo 4, imagen de los autores. Museo Guggenheim en NYC, F. Ll. Wright, 1957 (fotografía: Gottscho-Schleisner collection, U.S. Library of Congress)

3. Example 3, image by the authors. Sound mirrors in Denge, England, Dr William Sansome Tucker, 1916 (image by Patrick Sykes at [www.theinklingmag.com](http://www.theinklingmag.com)). Irregular sound reflection diagram in an elliptical theater, Carl Ferdinand Langhans, in Ueber Theater (1908)

4. Example 4, image by the authors. Guggenheim Museum in NYC, F. Ll. Wright, 1957 (photograph: Gottscho-Schleisner collection, U.S. Library of Congress)

ejemplos posibles con octaedros o diferentes condiciones de partida no llegaron a ser explorados.

### 3. “Traducción inversa” de algunos “párrafos” de geometría plana

El trazado de una elipse a partir de diámetros conjugados no es tampoco inmediato con las herramientas estándar de los programas habituales, que lo hacen a partir de sus ejes. Esto puede solventarse de diferentes maneras: dibujando cierta elipse relacionada y aplicando una transformación afín; determinando los ejes de la elipse a partir de los diámetros, etc.

Lo que proponemos a los estudiantes es programar alguno de esos procesos y empaquetarlo, de modo que generen su propio “botón” para hacer elipses a partir de diámetros. De nuevo se trata primero de identificar elementos y planear operaciones, para luego “escribir” el correspondiente “relato” con las “palabras” disponibles en GH. Esto no siempre es un proceso lineal. Se hizo necesario aquí buscar las palabras disponibles y explorar su funcionamiento. También revisar diferentes alternativas para evitar complicaciones innecesarias.

Puede practicarse lo mismo con otros ejemplos: determinar los focos de una hipérbola a partir de sus vértices y asíntotas, reflejar un rayo en una cónica, etc. (Fig. 3).

### 4. Tangencia y perpendicularidad en curvas. Recta tangente a una curva, círculo osculador, plano normal.

No siempre es fácil, con los medios y tiempos disponibles en el curso, detenernos sobre ideas como círculo osculador o plano normal a una curva en un punto. GH permite visibilizar esas entidades fácilmente, incluso ver su variación a lo largo del recorrido de la curva. Se puede también con relativa sencillez definir (y mostrar) triedros de referencia locales asociados a los puntos de una curva con sus planos osculador, normal y tangente.

Resultó de interés comprobar que la opción “forma libre” de herramientas de Rhinoceros como “barrido por un carril” o “matriz a lo largo de una curva” en realidad no es libre sino que va asociada a ese triedro local. También aludir a los tipos de punto en una superficie (elípticos, hiperbólicos) en relación a los círculos osculadores de las curvas que los contienen. O al significado de expresiones como “superficies de doble curvatura”.

Se propuso como ejemplo el trazado de generatrices de un helicoides desarrollable. Y se dejó como reto la programación del modelado de dovelas radiales para un arco plano (Fig. 4).

### 5. Proyección y afinidad

Al abordar el estudio de sombras, los estudiantes programaron su propio “proyector”: con las entradas de una dirección de luz, un punto (o una curva cualquiera) y

them. The tilting of the segments would change by rotating one of the circles, or renumbering the list of points on it (Fig. 1). Substituting the circles for two ellipses allowed discussing the concept of elliptical rotation and expanding the catalog of forms covered in the subject.

Setting different radii for the circumferences or swapping just one of them for an ellipse was useful in order to ask about the nature of the resulting ruled surfaces.

### 2. Detection of geometric relationships in regular polyhedra and process sequence to draw them given several data

Orthographic projection Monge’s system provides some tools to solve questions regarding distances, perpendicularity and tracings in non-frontal planes, such as casting down figures, rotating planes or swapping the projection direction.

Apart from the knowledge of the tools and possibilities each system offers, the development of certain spatial logic and the identification and use of the properties of curves and surfaces are valuable for the students’ training. Accordingly, they were challenged to “program” the drawing of some polyhedra beyond the standard tools usually offered by CAD software 1.

The example given was how to draw a tetrahedron on a horizontal face, given just one of its edges (Fig. 2). In GH, it can be done by rotating some elements (an edge, a vertex) around certain axes. Once envisaged which elements and which axes, it is enough to link the right components to establish those operations. After that, how to draw a tetrahedron in any position was posed. Other possible examples with octahedra or different starting data were not explored.

### 3. “Reverse translation” of some “paragraphs” of plane geometry

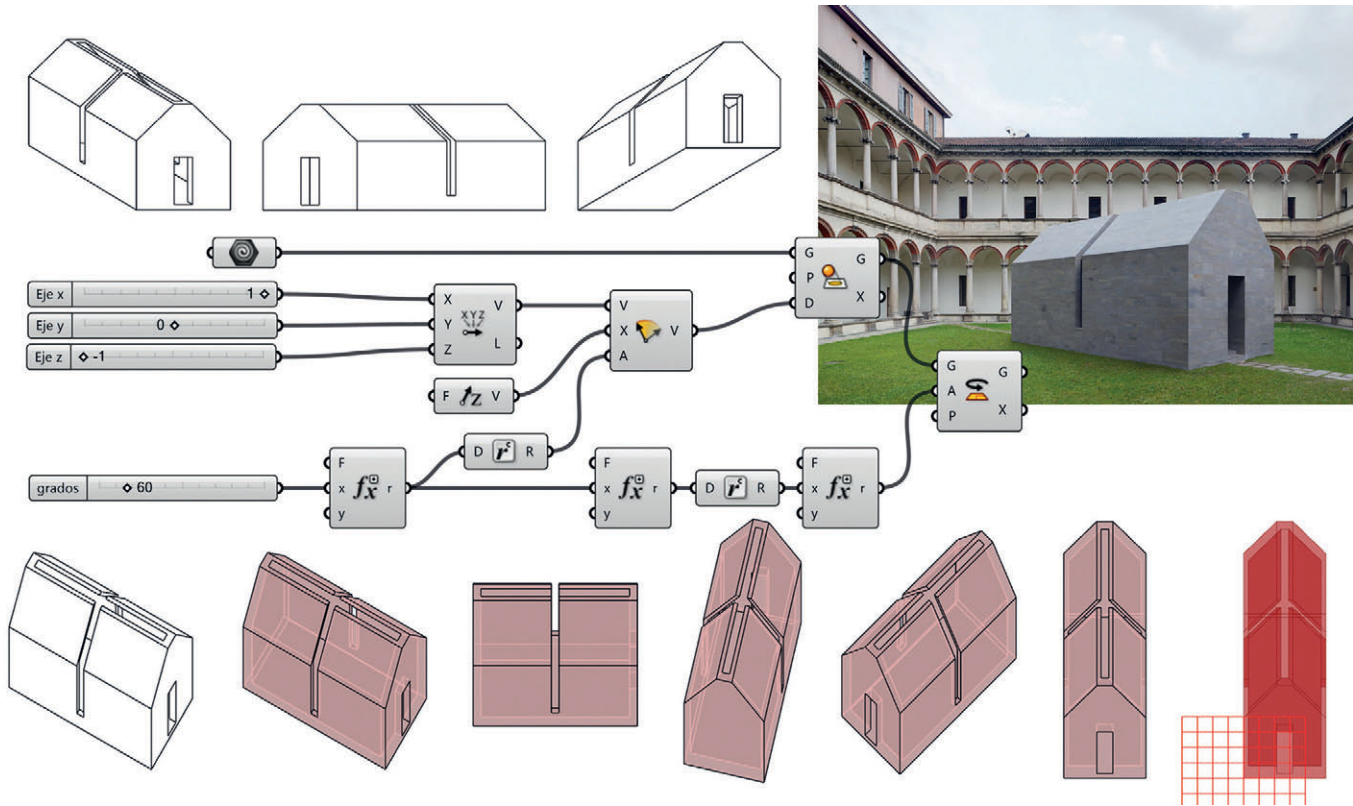
Drawing an ellipse given its conjugate diameters is neither trivial with the standard tools of most programs, which perform it from their axes. This can be solved in different ways: drawing a certain ellipse and applying an affine transformation; determining the axes of the ellipse from the diameters, etc.





5. Ejemplo 5, imagen de los autores. Stone House en Milán, John Pawson, 2010 (fotografía de Jens Weber en <http://www.johnpawson.com/works/stone-house/>)

5. Example 5, image by the authors. Stone House in Milan, John Pawson, 2010 (photo by Jens Weber at <http://www.johnpawson.com/works/stone-house/>)



5

We challenge the students to program some of those processes and pack it, so that they generate their own “button” to make ellipses from diameters. Again it is first about identifying elements and planning operations, and then “writing” the adequate “story” with the “words” available in GH. This is not always a linear process. It became necessary here to search for the available words and explore their functioning. Also, different alternatives had to be checked to avoid unnecessary complications.

The same can be practiced with other examples: determine the foci of a hyperbola given its vertices and asymptotes, reflect a ray of light in a conic, etc. (Fig. 3).

#### 4. Tangency and perpendicularity in curves. Tangent line to a curve, osculating circle, normal plane.

It is not always easy, given the resources and time usually available in the course, to go in depth into ideas such as an osculating

una superficie, devolvía instantáneamente la sombra del punto (o la curva) sobre la superficie. Esto permitió de manera ágil probar muchos casos y asentar algunos conceptos sobre la naturaleza de sombras autoarrojadas en superficies cuádricas.

La aplicación de un algoritmo similar sobre superficies planas, atendiendo esta vez a las condiciones de la dirección de proyección, contribuyó a un mejor entendimiento de los fundamentos de las axonometrías ortogonal y oblicua. Por otro lado brinda la posibilidad de generar semiautomáticamente trazados en perspectiva militar o caballera (Fig. 5), cuando los programas CAD habituales sólo ofrecen por defecto vistas con proyecciones ortogonales.

#### 6. Haces alabeados sobre cuadriláteros

En el caso de paraboloides hiperbólicos, trazar sus rectas es muy simple con GH (y sin él, ya que Rhino las muestra como “isocurvas” si se activa esa opción cuando se ha construido a partir de un cuadrilátero alabeado). Más laborioso es establecer la posición de su vértice y eje (Fig. 6). Programar un algoritmo que haga esto en cuadriláteros cualesquiera puede usarse para generalizar el proceso habitual en diédrico, restringido a posiciones del cuadrilátero que lo muestran como paralelogramo en planta (eje vertical).

En el caso de hiperboloides hiperbólicos, trazar sus rectas requiere una condición adicional al cuadrilátero. Si ésta es una quinta recta, entonces dispondremos de tres directrices



de una familia sobre las que apoyar generatrices. En este caso, como en cierto modo en el anterior, tropezamos en GH con dificultades para definir elementos infinitos (recta frente a segmento, o plano infinito frente a trozo de plano), por lo que aunque trabajando sobre ejemplos preparados los resultados son satisfactorios, en ejemplos cualesquiera puede hacerse excesivamente complicado. Este último reto fue por ello desechado para los fines que nos proponíamos.

## Reflexión sobre los resultados de la experiencia. Conclusiones

La necesidad de establecer relaciones lógicas y secuenciar condiciones de diseño puede permitir enfocar desde otro punto de vista los conceptos estudiados en la asignatura, en ocasiones abordar un rango mayor de casos y situaciones posibles, o relacionar diferentes temas.

La experiencia se planteó como algo adicional, sin restar tiempo a la planificación general del curso. Se aprovecharon ratos breves durante las clases correspondientes a los temas aludidos y se estableció como voluntaria la participación. El aprovechamiento de los estudiantes ha sido muy desigual, y directamente proporcional a su grado de compromiso. Para un aprovechamiento significativo general sería necesario dedicar más tiempo y de manera más estructurada.

Una misma forma puede dibujarse de diferentes maneras, o un mismo concepto puede explicarse con distintos argumentos. Lo que con regla y compás es un arco y la intersección con una perpendicular, con GH es un giro de  $\pi/2$  radianes.

La posibilidad de introducir aplicaciones del tipo que referimos aquí brinda a los estudiantes la posibilidad de encontrar vías complementarias para comprender, interpretar y manejar conceptos geométricos fundamentales en la construcción de formas arquitectónicas.

Por otro lado, aunque no es el objetivo principal, el manejo de parámetros y gestión de datos familiariza a los estudiantes con el modo de operar de las herramientas BIM, cada vez más presentes en el entorno profesional real. ■

### Notas

1 / El *plugin* para mallas Weavebird incluye comandos para modelar icosaedro y dodecaedro dados centro y radio. No tetraedro ni octaedro regular, de momento.

### Referencias

- CAPONE, M., NIGRO, E., 2017. Desde la geometría hasta la representación generativa. La búsqueda de una solución optimizada en el proyecto del Club Táchira (Caracas, 1955). *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22 (31), 172-183. doi: 10.4995/ega.2017.8873
- COLOMA, E. y DE MESA, A., 2012. La docencia de la representación paramétrica. La representación paramétrica y los procesos no lineales. *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 19, 200-211. doi: 10.4995/ega.2012.1372
- GONZÁLEZ, P., 2016. Adaptación de superficies de doble curvatura mediante superficies desarrollables. *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 21 (17), 210-219. doi: 10.4995/ega.2016.4741
- LEITÃO, A., CABECINHAS, F. y MARTINS, S., 2010. *Revisiting the Architecture curriculum. The programming perspective*, en G. Schmitt, L. Hovestadt, y L. van Gool, (Eds.), ECAADe 2010 Conference: Future Cities: Proceedings of the 28th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe.
- PETERS, B., 2013. Computation works: the building of algorithmic thought. *Architectural design*, 83(2), 8-15.
- PIEG, L. y TILLER, W., 1997. *The NURBS Book*. Springer.
- TEDESCHI, A., 2014. *AAD Algorithmic-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Edizioni Le Penseur.

circle or normal plane to a curve at a point. GH allows those entities to be easily visualized, even to see their variation along the curve. It is also possible to define fairly easily (and show) local reference coordinate systems associated with the points of a curve, using its osculating, normal and tangent planes.

It was interesting to verify that the “free form” option of Rhinoceros’ tools such as “swept one rail” or “array along curve” is not really so free but rather associated with that local coordinate system. Also remarkable was the possibility to mention the types of point on a surface (elliptical, hyperbolic) in relation to the osculating circles of the curves that contain them, as it was to explore the meaning of expressions such as “double curved surfaces”. Drawing the rules of a developable helicoid was proposed as an example. And the challenge was to program the modeling of radial voussoirs for an arch (Fig. 4).

## 5. Projection and affinity

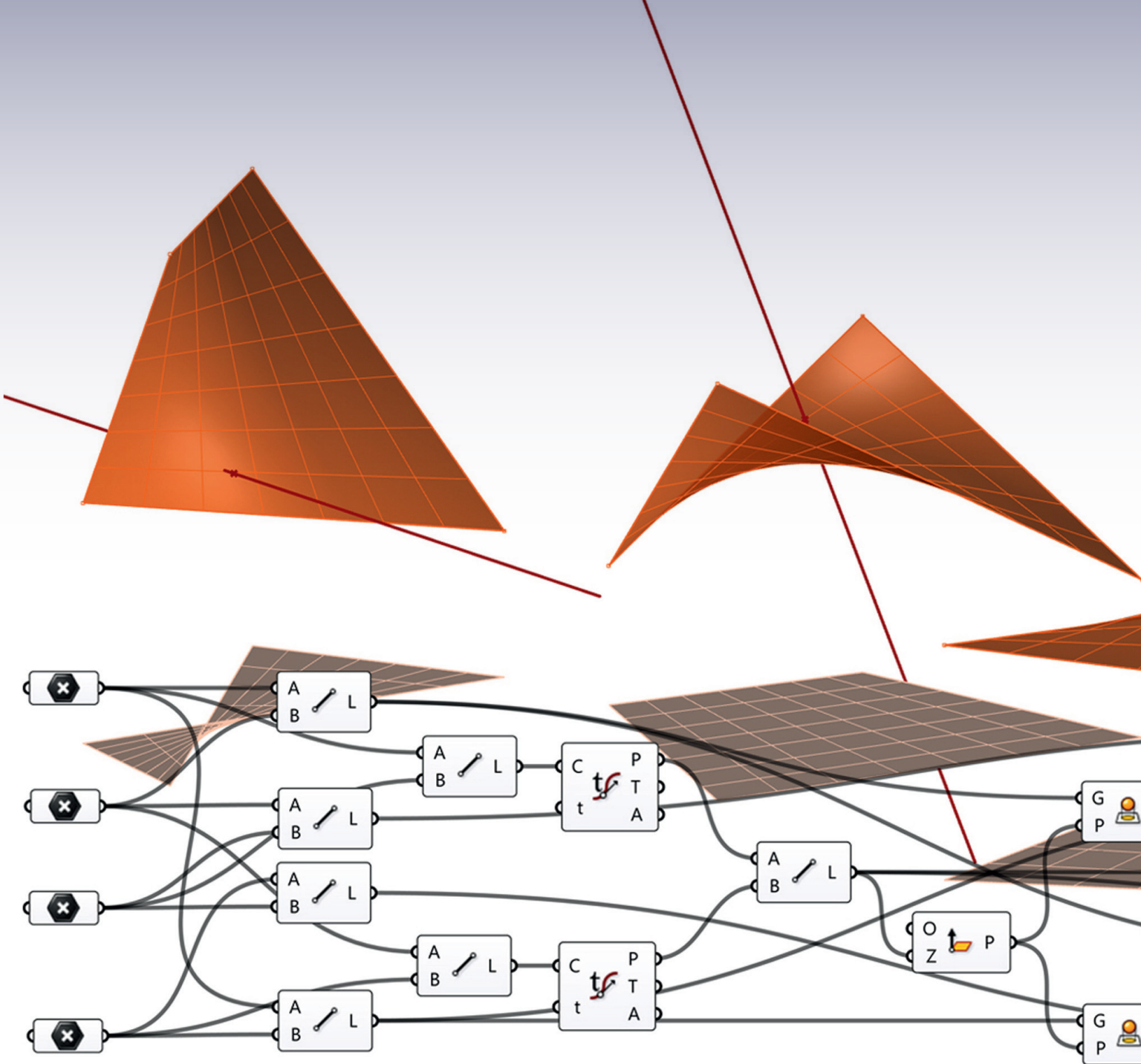
When approaching the study of shadows, the students programmed their own “projectors”: with the inputs of a light direction, a point (or any curve) and a surface, it instantly returned the shadow cast by the point (or the curve) on the surface. This provided an agile way to test many cases and settle some concepts about the nature of self-cast shadows on quadric surfaces.

The use of a similar algorithm on plane surfaces, this time paying attention to the projection line conditions, contributed to a better understanding of the fundamentals of orthographic and oblique axonometric views. On the other hand, it offers the possibility to semi-automatically generate tracings in military, cavalier or cabinet perspective (Fig. 5), all of them oblique projections, while the usual CAD programs simply offer orthographic projection views by default.

## 6. Warped ruled surfaces on quadrilaterals

In the case of hyperbolic paraboloid, drawing its straight lines is very simple with GH (and without it, since Rhino shows them as “isocurves” if that option





6

is activated when constructing it from a warped quadrilateral). It is not so trivial to determine the position of its vertex and axis (Fig. 6). Programming an algorithm that finds this position given any quadrilateral can be used to generalize the process habitually used in the standard course when working in Monge's system, usually restricted to quadrilateral positions that show it as a parallelogram in top view (which is to say, vertical axis parabolas). In the case of hyperbolic hyperboloid, drawing its straight lines requires an additional condition to the quadrilateral. If this is a fifth line, then we will have three guidelines of one family on which to lay the lines of the other family. But in this case,

in a certain way as in the previous one, we ran into difficulties in GH to define infinite elements (line versus segment, or infinite plane versus piece of plane). Although while working on prepared examples the results are satisfactory, in general cases it may become excessively complicated. This last challenge was therefore discarded for the purposes that we pursued.

### Reflections on the results of the experience. Conclusions

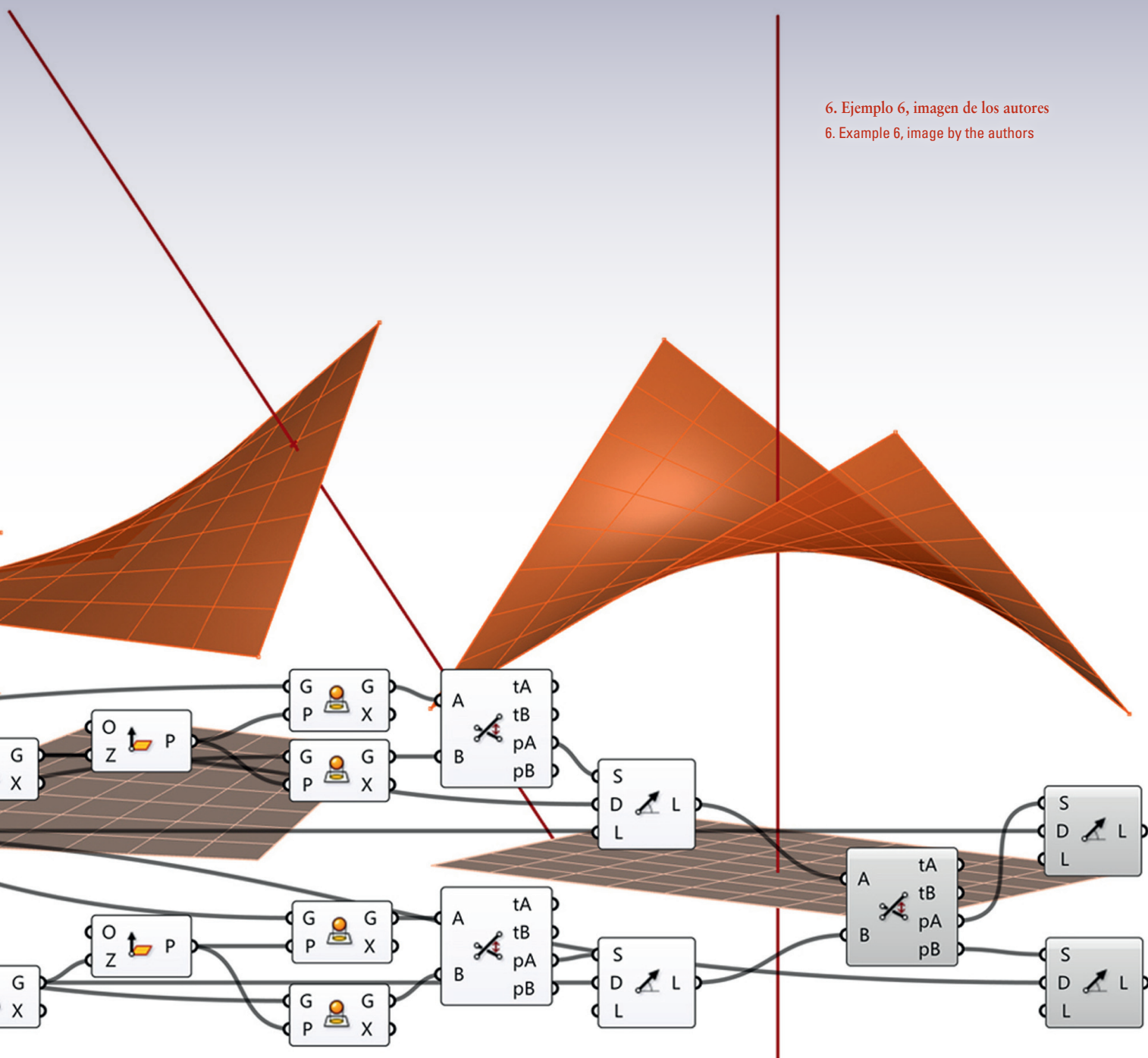
The need to establish logical relationships and to sequence design conditions can allow students to focus the concepts studied in the subject from another point of view.

Sometimes it leads to consider a greater range of cases and situations, or to relate different topics.

This experience was carried out as something additional to the general planning of the course, without taking class time away from it. Therefore just short periods of time were used during the classes corresponding to the aforementioned topics, and the participation of students was established as voluntary. The advantage gained from it by students has been very unequal, and directly proportional to their degree of commitment. For a generally significant performance it would be necessary to devote more time and in a more structured manner.



6. Ejemplo 6, imagen de los autores  
6. Example 6, image by the authors



The same form can be drawn in different ways, or the same concept can be explained with different reasonings. What with a ruler and compass is an arc and the intersection with a perpendicular line, with GH it is a rotation of  $\pi / 2$  radians. Introducing applications of the type we deal with here offers students the possibility of finding complementary ways to understand, interpret and handle essential geometrical concepts in the construction of architectural forms.

Additionally, although it is not the main objective, parameter and data management familiarizes students with the way in which BIM tools operate, increasingly present in the real professional environment. ■

### Notes

1 / *Weavebird*, a Rhinoceros' plugin for meshes, includes commands for modeling icosahedron and dodecahedron given their centers and radii. So far there are no commands for regular tetrahedron or octahedron.

### References

- CAPONE, M., NIGRO, E., 2017. Desde la geometría hasta la representación generativa. La búsqueda de una solución optimizada en el proyecto del Club Táchira (Caracas, 1955). *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 22 (31), 172-183. doi: 10.4995/ega.2017.8873
- COLOMA, E. and DE MESA, A., 2012. La docencia de la representación paramétrica. La representación paramétrica y los procesos no lineales. *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 19, 200-211. doi: 10.4995/ega.2012.1372
- GONZÁLEZ, P., 2016. Adaptación de superficies

de doble curvatura mediante superficies desarrollables. *EGA, Expresión Gráfica Arquitectónica*, 21 (17), 210-219. doi: 10.4995/ega.2016.4741

- LEITÃO, A., CABECINHAS, F. and MARTINS, S., 2010. *Revisiting the Architecture curriculum. The programming perspective*, in G. Schmitt, L. Hovestadt, and L. van Gool, (Eds.), ECAADe 2010 Conference: Future Cities: Proceedings of the 28th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe.
- PETERS, B., 2013. Computation works: the building of algorithmic thought. *Architectural design*, 83(2), 8-15.
- PIEG, L. and TILLER, W., 1997. *The NURBS Book*. Springer.
- TEDESCHI, A., 2014. *AAD Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Edizioni Le Pensiero.