

La Arquitectura sostenible desde un punto de vista matemático a través de la geometría fractal bajo un proyecto COIL

L. Hilario^a, P.Verdejo^b

^aDepartamento Matemáticas, Físicas y Ciencias Tecnológicas, Universidad Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities, C/ San Bartolomé, 55, CP 46115, Alfara del Patriarca, Spain ^bDepartamento de Proyectos, Teoría y Técnica del Diseño y la Arquitectura, Universidad Cardenal Herrera-CEU, CEU Universities, C/ San Bartolomé, 55, CP 46115, Alfara del Patriarca, Spain.

Resumen

La geometría es clave en la arquitectura, un conocimiento amplio de ella embellecerá y mejorará los proyectos de los futuros arquitectos. Son muchos los arquitectos famosos que basan sus proyectos en geometrías no convencionales que hace que esos edificios sean hitos en la historia. Bajo el paraguas de un proyecto COIL (Collaborative Online International Learning: <http://onlineinternationallearning.org/about/>) los alumnos investigaron sobre geometría fractal desde un punto de vista matemático y desde un punto de vista proyectual. Esa investigación se realizó con alumnos de la Universidad Cardenal Herrera CEU (estudiantes de primer curso de arquitectura en la asignatura de matemáticas) y alumnos de la Universidad Internacional de Florida (estudiantes de arquitectura de tercer curso en la asignatura de proyectos). De esta forma añadimos competencias transversales al aprendizaje de la asignatura de matemáticas, puesto que se analizaba la viabilidad de utilizar geometría fractal en la construcción de fachadas sostenibles en los proyectos desarrollados por los alumnos de Florida. La ciudad de Florida debido a su situación geográfica (rodeada de agua) debe tener en cuenta su entorno a la hora de proyectar sus edificios. Por ello, los alumnos debían analizar elementos como la incidencia del sol, agua y viento y las ventajas o desventajas de una fachada basada en este tipo de geometría. La innovación de este tipo de proyectos radica en: la internacionalización de los alumnos y docentes, la introducción de aprendizaje por retos, aprendizaje por competencias, y evaluación por rúbricas.

Palabras clave: Geometría fractal, COIL, arquitectura.

Introducción

El grado de Fundamentos para la Arquitectura que se imparte en la Universidad Cardenal Herrera CEU es un grado en el que la mayoría de sus alumnos son internacionales de diferentes países. La posibilidad de poder potenciar más esa internacionalización todavía hace que el grado sea más atractivo. La pandemia nos ha enfrentado a una situación en la que se impide la movilidad de las personas entre los territorios. Ahora más que nunca un proyecto de internacionalización donde no es necesaria la movilidad cobra mucha más fuerza y sentido, puesto que nunca habíamos sido conscientes de que una pandemia nos impidiese viajar. Poder trabajar con la Universidad Internacional de Florida, supone que nuestros alumnos cruzan el Atlántico de forma virtual. Conocen profesores de Florida y conocen alumnos de Florida que a su vez ellos también tienen alumnos internacionales. Ello provoca que establecemos lazos con todo el mundo, como en esta imagen en la Figura1 que muestra el cableado de internet submarino preparado para la vida moderna.



*Figura1: Imagen obtenida en este artículo
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-53100070>*

Además, otro de los objetivos primordiales y no menos importante de nuestro grado es que todas las asignaturas estén aplicadas en el ámbito de la arquitectura. Este proyecto COIL además de potenciar la internacionalización desde casa, conecta la aplicación de las matemáticas directamente con la arquitectura. Las matemáticas suelen ser la asignatura abstracta y socialmente temida. La clave para perder esa etiqueta: “no saber para que sirven las matemáticas”, es hacer que el alumno vea una aplicación real sobre el estudio de sus conceptos teóricos. La geometría es clave en la arquitectura, un conocimiento amplio de ella embellecerá y mejorará los proyectos de los alumnos en un futuro. Son muchos los arquitectos famosos que basan sus proyectos en geometrías no convencionales que hace que esos edificios sean hitos en la historia.

En este proyecto COIL no sólo se ha trabajado la geometría desde un punto de vista matemático, sino que se ha trabajado desde un punto de vista proyectual. Eso supone que estamos introduciendo unas competencias que la profesora de matemáticas no tiene, puesto que su formación no es ser arquitecta. Ofrece la oportunidad de introducir un punto de vista mucho más amplio dentro de la asignatura de matemáticas. Una gran oportunidad para el docente y por ello para los alumnos también, puesto que cualquier mejora sobre el docente provoca directamente un enriquecimiento para los alumnos.

Este tipo de proyectos permite la evaluación por competencias. El alumno con un COIL no sólo mejora las competencias específicas, sino que además amplía sus competencias transversales tales como trabajo en equipo, investigación, resolución de problemas, trabajo por retos o capacidad comunicativa.

Se destaca además que la marca CEU cruza fronteras y que nuestra Universidad se conozca en Florida, mejora la identidad de las Universidades CEU.

Objetivos Específicos de un proyecto COIL

Enumeramos los objetivos específicos del proyecto COIL vinculado a la asignatura de matemáticas de arquitectura.

1º.- Los **objetivos específicos de aprendizaje** de cada Universidad fueron:

- Para los alumnos de la UCH-CEU: ver las herramientas de software que los alumnos de Florida utilizan en la asignatura proyectual para el estudio de una arquitectura sostenible, además de hacer un estudio sobre la geometría fractal y la arquitectura sostenible basada en fractales.
- Para los alumnos de la Universidad Internacional de Florida: aprender los fundamentos y beneficios de la geometría fractal. Estudiando los conceptos matemáticos para poder desarrollar las fachadas sostenibles en sus proyectos.
- El objetivo común específico de aprendizaje: los beneficios de la geometría fractal en una arquitectura sostenible unido a la experiencia de intercambio cultural.

2º.- Introducir el **trabajo colaborativo** desde el punto de la investigación de un tema concreto utilizando metodología flipped classroom. En este caso, investigar sobre la geometría fractal de forma autónoma.

3º.- Introducir el **trabajo por retos**. En este caso, el reto suponía ayudar al diseño de una fachada sostenible basada en geometría fractal haciendo un análisis de sus beneficios.

4º.- **Incentivar** el uso de las **tecnologías** tan importantes ahora con la pandemia del COVID-19. En un proyecto COIL, los alumnos aprenden a trabajar de forma colaborativa utilizando nuevas tecnologías como el TEAMS, blackboard collaborate, zoom, etc..

5°.- Fomentar la **conexión de las diferentes formas de vivir** dependiendo del país en el que vivas. Puesto que nuestro grado es casi en su totalidad internacional hay un interés grande en realizar actividades donde los alumnos conecten con culturas diferentes provocando una mayor integración del alumnado dentro del aula independientemente del país del que se proceda. Un proyecto COIL establece lazos con cualquier cultura, en este caso, los alumnos de la Universidad de Florida también eran internacionales.

Metodología aplicada

La metodología que se siguió podemos estructurarla en la siguiente secuencia de acciones:

- Se contactó con la coordinadora de los COIL de la Universidad Internacional de Florida que fue la que nos ayudó a establecer los contactos allí.
- Se realizaron varias reuniones para acordar los resultados de aprendizaje de cada Universidad y los comunes.
- Se establecieron las competencias a trabajar.
- Se diseñó el trabajo común que debían realizar los alumnos.
- Se fijó que se iba a trabajar por ZOOM porque era la plataforma con la que estaban habituados a trabajar.
- Se diseñaron los icebreakers (actividades para que los alumnos se conozcan al principio del proyecto) que estaban relacionados con la geometría fractal y su ciudad de origen.
- Se configuró el calendario de actividades. Dado que el proyecto se realizaba en dos semanas, el trabajo para los profesores y alumnos tenía que ser intenso.
- Había 13 alumnos en la Universidad de Florida y 18 alumnos en la Universidad UCH CEU, se generaron los grupos teniendo en cuenta los grupos que la Universidad de Florida que ya tenía establecidos para sus proyectos.
- La Universidad socia, tenía clase los martes/jueves a las 14:00 horas de USA debido al cambio horario, eran nuestras 19/20 horas (hubo cambio horario en España en ese intervalo). En su caso, no era posible conectarse en otro momento, así que los alumnos de Valencia trabajaron a las 20 horas de la tarde para poder conectar con Florida. A veces, el cambio horario es un hándicap, pero en este caso los alumnos que estaban confinados en casa estaban encantados.
- Todos los días que la Universidad de Florida tenía clase, ambos profesores nos conectábamos con ellos y hacíamos seguimiento.
- La última conexión fue la presentación global que se realizó a todos los alumnos tanto de Valencia como de Florida, en esa presentación se mostraron todos los proyectos finales.
- La evaluación de los alumnos se estableció por separado y cada profesor evaluó a los suyos.

Diseño del Proyecto

1.1. Marco Teórico

El marco teórico es la geometría fractal como una geometría bastante innovadora que apareció hace unos 40 años de la mano de Benoit Mandelbrot y su aplicación en la arquitectura, ver Cooper, Purevtseren, Nakib y Carl. En la Figura 2, podemos ver geometrías fractales que se basan en la repetición de un patrón. En la actualidad hay infinidad de aplicaciones de este tipo de geometría, desde modelos en medicina a la construcción de antenas, pasando por la arquitectura.

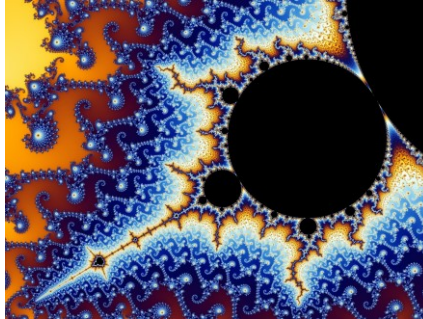


Figura 2 Ejemplo de Geometría Fractal (fuente de la foto:
<http://ramanujan25449.blogspot.com/2017/11/sobre-la-geometria-fractal.html>)

La base de una buena arquitectura es la geometría. Cualquier geometría es importante, pero en este caso se trataba de iniciarse en la aplicabilidad de la geometría fractal en la arquitectura. En la Figura 3 y 4 podemos ver como esa geometría fractal se aplica en algunos edificios famosos como una Mezquita en Irán o la Sagrada Familia en Barcelona.



Figura 3 Iwan, Entrada a la Mezquita de Isfahan (Iran) (fuente de la foto:
<https://es.dreamstime.com/detalles-de-iwan-la-entrada-mezquita-shah-o-imam-isfahan-iran-image205820683>)



Figura 4 Sagrada Familia Antonio Gaudí (Barcelona) (fuente de la foto: <https://sagradafamilia.org/galeria-fotografica>)

La situación geográfica de Florida está marcada por el agua y eso explica los condicionamientos físicos que sufre Florida y condiciona sus proyectos arquitectónicos, ver Figura 5.



Figura 5 El Sur de Florida (fuente de la foto: <https://www.tribpub.com/gdpr/sun-sentinel.com/>)

El objetivo era que los alumnos analizaran la viabilidad de utilizar geometría fractal en la construcción de fachadas sostenibles para sus proyectos. Analizando elementos como la incidencia del sol, agua y viento y las ventajas o desventajas de una fachada basada en este tipo de geometría.

1.2. Elemento Innovador

El elemento innovador además de ser el internacional es la cooperación de la asignatura de matemáticas con una asignatura proyectual de cursos superiores que no se había establecido nunca hasta este momento. El alumno de primero puede visualizar la aplicabilidad de los conceptos abstractos de las matemáticas, ver Sala. Para ello debían contestar al siguiente reto: ¿Cómo los fractales pueden ser utilizados en la arquitectura y cual es su potencial para una arquitectura sostenible? Además, realizaron una investigación utilizando flipped classroom para averiguar los conceptos matemáticos y aplicados de la geometría fractal.

1.3. Recursos Empleados

El Material que se les proporcionó a los alumnos para que realizaran la investigación acerca de la geometría fractal. Conexión a internet y una plataforma (en nuestro caso ZOOM) para realizar las videoconferencias.

Posibilidades de generalización del trabajo

Los proyectos COIL son tan potentes y beneficiosos, que se podrían aplicar en cualquier ámbito educativo, tanto Universitario como pre-Universitario. Muchas veces la problemática de las movibilidades era la económica o incluso razones personales de conciliación familiar y personal, pero de esta forma se proporciona un intercambio a nivel de estudiantes y a nivel de profesores que antes no era viable. El salto tecnológico que ha dado el modelo educativo tras la pandemia todavía permite más este tipo proyectos COIL. Antes cuando un alumno se ponía enfermo, no iba a clase, ahora tanto en colegios CEU como en Universidades de la marca CEU el alumno recibe la formación por videoconferencia. Hace un año nadie se había planteado estas opciones que teníamos en la palma de la mano. Las crisis, en este caso sanitaria, siempre fuerza la reinención para no desaparecer. Nosotros, como institución educativa privada hemos dado la mejor respuesta ante esta crisis.

La oportunidad de poder implantar este modelo COIL en los colegios e institutos abre la posibilidad de internacionalizar a los alumnos desde bien pequeños compartiendo culturas, religiones, etc...El mundo necesita educar en el respeto y comprensión de todas las culturas y religiones, que mejor forma de hacerlo a través de la educación. Desde bien pequeños hay que construir cimientos bien firmes para que todos estos valores florezcan cuando sean adultos. Además de desarrollar capacidades lingüísticas desde los primeros años de escolaridad en otros idiomas y diferentes acentos del mismo idioma. El inglés, por ejemplo, que se habla en UK, no es el mismo que se habla en San Francisco, ni tampoco el que hablan en Japón. Antiguamente aprendíamos el acento de nuestro profesor/a de inglés. Los proyectos COIL puesto que abren una ventana al exterior incluyen muchas de las competencias que deben ser trabajadas en cursos anteriores a la Universidad.

Evidencias audiovisuales del proyecto.

Este proyecto COIL apareció en el blog de la Universidad Cardenal Herrera CEU, podemos ver aquí el link:

<https://blog.uchceu.es/arquitectura/geometria-fractal-coil-arquitectura/>

En la Figura 6 podemos ver una imagen de la exposición de uno de los grupos que expuso el estudio fractal que había realizado para construir su fachada en su proyecto.

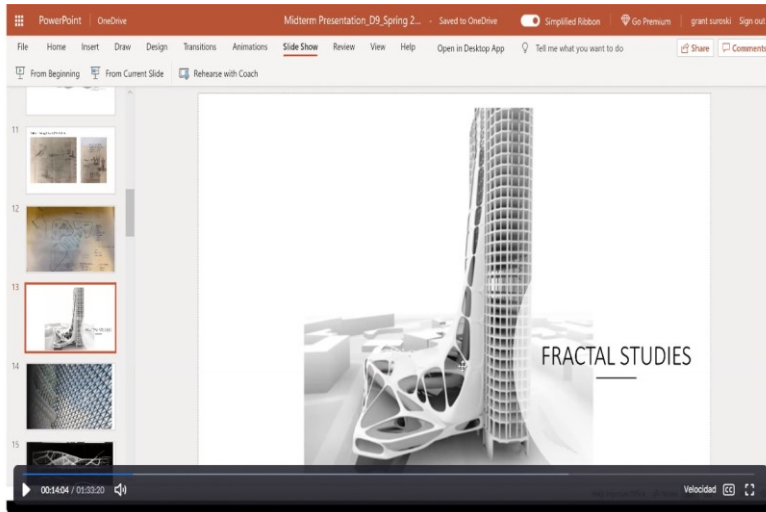


Figura 6 Exposición de uno de los grupos en la sesión de zoom explicando su estudio fractal para la fachada de su edificio

Conclusiones

El aprendizaje de las matemáticas cada vez más se demanda conectado con la vida real, sobre todo en las carreras técnicas. Los alumnos son más críticos y buscan la explicación de porque deben aprender determinados contenidos en su búsqueda de la inmediatez del beneficio por aprender algo. Este tipo de proyectos aportan un valor añadido puesto que se establecen sinergias entre la asignatura de matemáticas y la asignatura de proyectos de arquitectura. Además se fomenta la internacionalización, compartir diferentes culturas, aprendizaje colaborativo, aprendizaje por retos y por competencias. Poder poner en práctica la utilidad de la geometría desde un punto de vista arquitectónico y sostenible es un aprendizaje que para los alumnos seguro que les fue mucho más útil que una clase clásica magistral acerca de los fractales. Ese es el objetivo final: fomentar un aprendizaje de las matemáticas dinámico, aplicado y transversal.

Referencias

- Cooper, Polly, Haggard, Ken. (2006). Fractal Architecture: Design for Sustainability.
- Purevtseren, M.; Tsegmid, B.; Indra, M.; Sugar, M. The Fractal Geometry of Urban Land Use: The Case of Ulaanbaatar City, Mongolia. *Land* **2018**, 7, 67. <https://doi.org/10.3390/land7020067>

Nakib, F. (2010) Fractal Geometry: a tool for adaptability and “evolutionability”. Vol. 128, 39-47.

Fractal Geometry in Architecture and Design, Carl Bovill, 1996, DOI: 10.1007/978-1-4612-0843-3

Fractal geometry and architecture: some interesting connections, N. Sala, 2006, Mathematics.

