

Sistemas de diseño procedimental Implementando el bioaprendizaje (*biolearning*) como procedimientos generativos para el Diseño Arquitectónico

Alberto T. Estévez⁽¹⁾ y Angad Warang⁽²⁾

Resumen: En el diseño arquitectónico tradicional y su educación, que se basan fuertemente en los ideales de diseño racional-funcionalista, se segregan categóricamente en modelado, análisis y creación de prototipos. Esta tensa separación se refleja claramente en las prácticas de diseño y fabricación propias de la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). Posteriormente, esta segregación se trasladó al marco de diseño asistido por computadora (CAD) y, más recientemente, al marco del modelado de información de construcción, Building Information Modelling (BIM). La naturaleza, sin embargo, equipada con tiempo y energía ilimitados, realiza todos sus procesos de manera fluida, armoniosa y simbiótica, mientras mantiene complejos ciclos de energía en los ecosistemas y entre ellos, y desarrolla una extensa biodiversidad. Estimulados por el enfoque de la naturaleza y equipados con los recursos proporcionados por la Industria 4.0, como es el diseño computacional en forma de programación visual, los Sistemas de Diseño Procedimental podrían desarrollarse para generar una gran cantidad de soluciones de diseño mediante la implementación de los conceptos de bioaprendizaje y bioinspiración como procedimientos algorítmicos generativos. La técnica de diseño presentada en este escrito intenta desarrollar y educar un proceso continuo, recursivo e iterativo que podría realizar modelado, análisis y creación de prototipos, mientras se diseña una multitud de resultados posibles para una intervención arquitectónica. El proyecto que sigue (torre residencial autosuficiente para refugiados en el frente marítimo de Barcelona) sirve como prueba de concepto para demostrar la arquitectura biodigital en forma de proyecto arquitectónico.

Palabras clave: Diseño Biodigital - Diseño Generativo - Diseño Asistido por Algoritmos - Diseño Computacional - Diseño Transescalar - Bioaprendizaje - Biolearning

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 51-52]

⁽¹⁾ **Alberto T. Estévez** es originario de España, Arquitecto (UPC, 1983), Doctor en Ciencias (Arquitectura, UPC, 1990), Historiador del Arte (UB, 1994), Doctor en Letras (Historia del Arte, UB, 2008), con oficina de arquitectura y diseño en Barcelona (1983-hoy). Cuenta con 40 años de docencia e investigación en diversas universidades. Fundador y primer Director de la ESARQ (School of Architecture - UIC Barcelona, 1996), donde ejerce como Catedrático de Arquitectura. Creador del grupo de investigación, máster y doctorado “Historia, Arquitectura y Diseño” (UIC, 1998-hoy), y luego del grupo de investigación,

máster y doctorado “Arquitecturas Genéticas” (UIC, 2000-hoy), actualmente Máster de Arquitectura Biodigital. Así como impulsor del Máster de Cooperación Internacional con Alex Levi y Amanda Schachter (UIC, 2004-hoy). Con más de dos centenares de publicaciones, decenas de exposiciones, congresos y comités, e invitado a impartir más de 100 conferencias internacionales sobre sus ideas y trabajos. Ha sido Director de 25 tesis doctorales, y de más de cien tesis de máster y grado. Con 6 sexenios de investigación oficialmente reconocidos. Fundador-Director del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), y Fundador del Doctorado en Arquitectura de la UIC Barcelona, del que ha sido su primer Director. Últimamente fue también Vicerrector-Gerente de la UIC Barcelona (Universitat Internacional de Catalunya).

⁽²⁾ **Angad Warang** es originario de India, es miembro del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture & Genetics), miembro del GENARQ (Grupo de Investigación Consolidado y Competitivo Genetic Architectures), y profesor del Máster en Arquitectura Biodigital de la ESARQ-UIC Barcelona, la School of Architecture de la Universitat Internacional de Catalunya. Dirigido ahí por Alberto T. Estévez, se gradúa como Doctor en Arquitectura (2022) y como Máster en Arquitectura Biodigital (2017). Antes, Graduado en Arquitectura (2012). Arquitecto especialista en diseño computacional y fabricación digital: su trabajo se encuentra en la intersección de la investigación en diseño, la educación en diseño, y la práctica arquitectónica. Además de las actividades de enseñanza mencionadas, realiza con frecuencia talleres tanto en formato en línea como presencial. Y como resultado de sus actividades de investigación ha realizado numerosas publicaciones en forma de capítulos de libros, artículos de revistas y actas de congresos (<https://angadwarang.wixsite.com/2021>).

1. Bioaprendizaje (*biolearning*) para la inspiración del diseño

Las últimas tecnologías biológicas y digitales ofrecen nuevas posibilidades y beneficios para la creación de una nueva arquitectura: existe un gran potencial en el mundo natural si trabajamos con ADN como si fuera un “software natural”, y en el ámbito digital si trabajamos con software como si fuera un “ADN digital” (Estévez, 2009).

Biodigital = Biológico + Digital

La arquitectura biodigital también podría entenderse como una combinación de inteligencia natural e inteligencia artificial, o la agregación de sistemas codificados a partir de la genética y los algoritmos del dominio digital, eventualmente realizados en el dominio físico mediante la combinación de biofabricación y fabricación digital. Así, este escrito presenta un proyecto que sirve como ejercicio empírico para documentar y teorizar uno de los procesos de diseño adoptados por los que trabajan en la línea de la arquitectura biodigital. Como corolario, tal proyecto también demuestra una plantilla didáctica para

enseñar la teoría y la práctica de la arquitectura biodigital. Además, el proyecto también establece un flujo de trabajo fluido, dinámico, recursivo e iterativo que intenta minimizar la segregación categórica de la industria AEC en modelado, análisis y creación de prototipos.

Por otro lado, este proyecto se concreta en una propuesta tipológica y paramétrica de torre autosuficiente y residencial para refugiados en el frente marítimo de Barcelona, la *Biodigital Barcelona Tower*, según que el autor de este escrito viene trabajando con variaciones desde el año 2007: primero con Aref Maksoud como colaborador del diseño computacional, y últimamente con Angad Warang, para este caso co-autor también de estas líneas. Debiendo notarse que, desde el año 2015, el mencionado proyecto sirve además de excusa para proponer un paradigma de intenciones arquitectónicas de cara a hacer converger en su diseño los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

1.1. Bioaprendizaje

Para iniciar cualquier creación, en este caso un proyecto de arquitectura, puede que se pase antes por un aluvión de posibles inspiraciones de diseño. Estas inspiraciones puede que también procedan del trabajo de otros autores (ya sean clásicos o contemporáneos). Rara vez un diseñador confía en una inspiración desde sistemas naturales. Pues, para inspirarse en el diseño, un proyecto de arquitectura biodigital comienza con un bioaprendizaje (*biolearning*). El bioaprendizaje es un proceso de observación y análisis meticuloso de formas naturales, contando con sus distintos sistemas y procesos como organismos. Así, el bioaprendizaje también implica extraer y documentar sistemáticamente la inteligencia de las formas naturales, para desarrollar directivas de diseño que podrían implementarse en la arquitectura biodigital. Como restricción, el bioaprendizaje implica estudiar estrictamente lo que está vivo, es decir, las formas y sistemas naturales que pertenecen a la vida animal o vegetal. Esta restricción se deriva del hecho de que los sistemas biológicos añaden inteligencia, y ser objeto de selección evolutiva en comparación con lo geológico, impulsados por su natural emergencia y su instinto de supervivencia, sea animal o vegetal. Y en este caso, para la Torre Biodigital (*Biodigital Tower*), el bioaprendizaje se basó en observar y analizar imágenes gráficas de distintos órganos, organismos específicos y ciertos sistemas orgánicos.

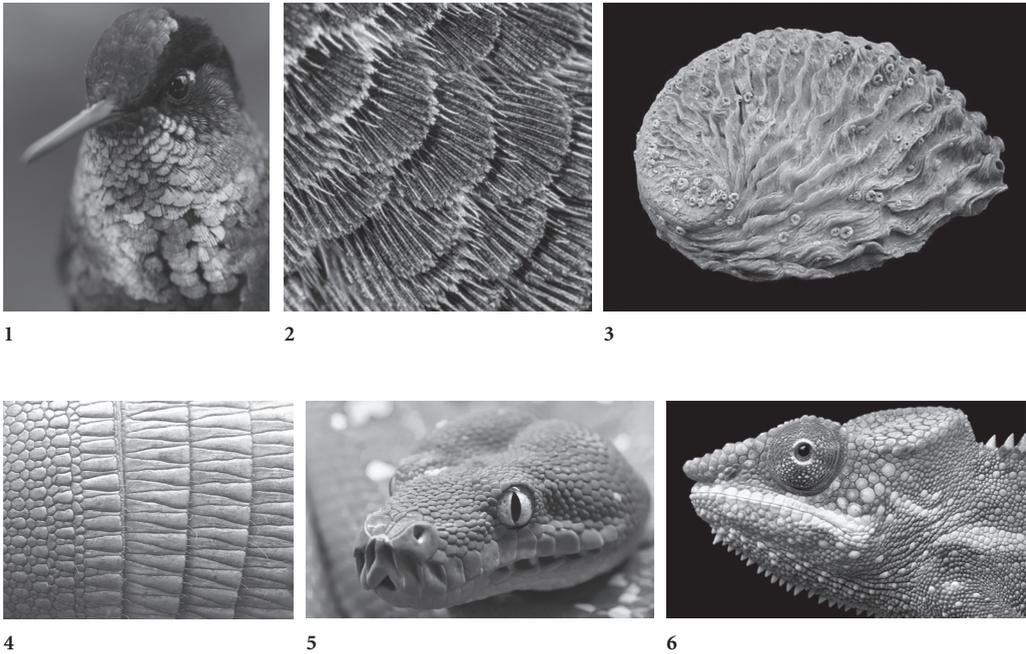
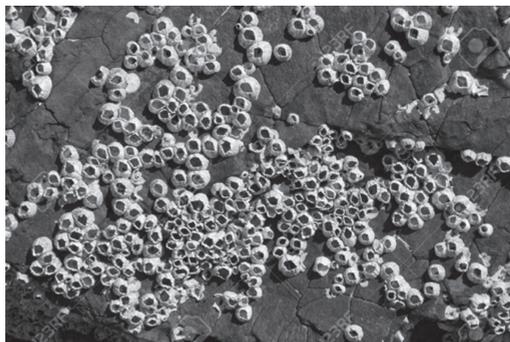


Figura 1. Colibrí garganta de fuego (Recuperado de jessfindlay.com en mayo de 2020). **Figura 2.** Primer plano de plumas del cuello de colibrí (Foto: Sean Graessar). **Figura 3.** Exoesqueleto de caracol (Recuperado de imgur.com en mayo de 2020). **Figura 4.** Primer plano de escamas de armadillo (Recuperado de imgur.com en mayo de 2020). **Figura 5.** Escamas y párpados de serpiente gato (Recuperado de wallpaper.com en mayo de 2020). **Figura 6.** Ojo de camaleón (Recuperado de naturalhistorymuseum.com en mayo de 2020).

1.2. Bioaprendizaje de distintos órganos

Dado que el bioaprendizaje está como si fuese de partida arraigado en la percepción de belleza, los siguientes son distintos órganos que se observaron y analizaron primero por su belleza. Así, las *Figuras 1 a 6* que se muestran a continuación muestran imágenes de plumas, escamas, púas, caparazones, cuernos y párpados de algunos organismos específicos. Estos distintos órganos se han elegido específicamente para un bioaprendizaje, ya que exhiben diferentes niveles de inteligencia que podrían adoptarse en la arquitectura de la Torre Biodigital.



7



8



9



10



11

Figura 7. Percebes de Cornualles (Recuperado de wikimediacommons.com en mayo de 2020). **Figura 8.** Col de Saboya (Recuperado de stock footage video.com en mayo de 2020). **Figura 9.** Pez tetra vidrioso (Recuperado de reddit.com en mayo de 2020). **Figura 10.** Libélula (Recuperado de wikimediacommons.com en mayo de 2020). **Figura 11.** Primer plano de vaina de semillas de loto (Foto: Ron Harper, de imgur.com).

1.3. Bioaprendizaje de organismos específicos

El bioaprendizaje también puede considerarse como una herramienta analítica que podría utilizarse para estudiar el crecimiento ontogenético y filogenético de organismos específicos como respuesta a los elementos bióticos y abióticos de su ecosistema. Las *Figuras 7 a 11* que se muestran a continuación ofrecen imágenes de peces, insectos, vegetales, vainas de semillas y percebes. Estos concretos organismos han sido elegidos para el bioaprendizaje porque exhiben similitudes homológicas de inteligencia que podrían adoptarse en la arquitectura de la Torre Biodigital.

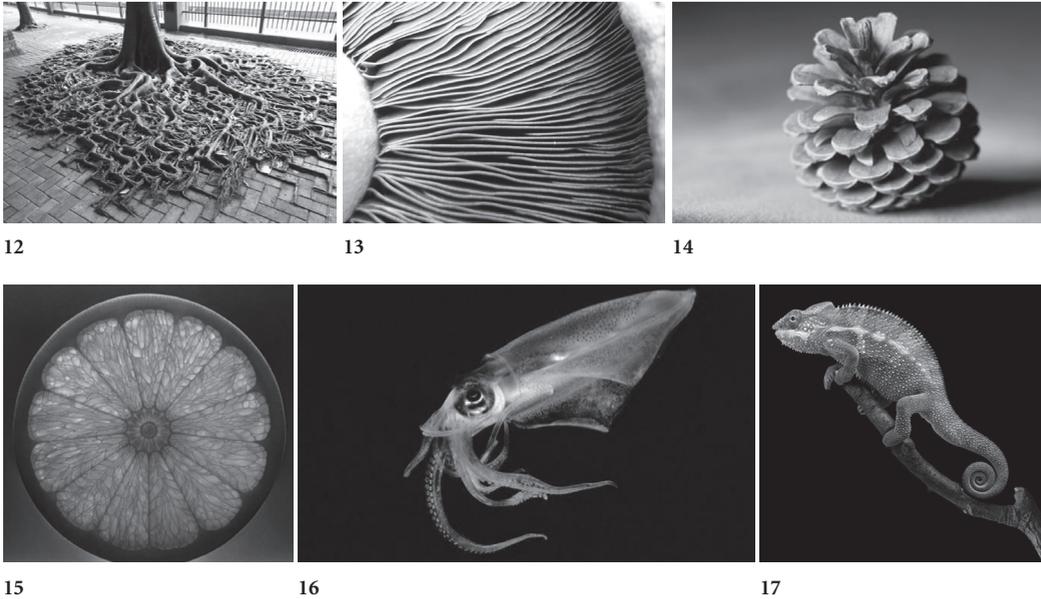


Figura 12. Raíces de árbol vs. Adoquines (Recuperado de reddit.com en mayo de 2020). **Figura 13.** Textura de hongos (Recuperado de flickr.com en mayo de 2020). **Figura 14.** Piña (Foto: Jenny Uglow, de imgur.com). **Figura 15.** Rodaja de lima translúcida (Foto: Dennis Wojtcizic, de imgur.com). **Figura 16.** Sepia translúcida (Recuperado de wikimediacommons.com en mayo de 2020). **Figura 17.** Camaleón (Recuperado de naturalhistorymuseum.com en mayo de 2020).

1.4. Bioaprendizaje de sistemas orgánicos

El bioaprendizaje también podría implementarse como un sistema para taxonomizar diferentes sistemas orgánicos en clases que podrían servir como herramientas de diseño. Las Figuras 12 a 17 que se muestran a continuación muestran imágenes relacionadas con la aplicación de ramificación, pliegues, fractales, translucidez, colores y texturas. Estos sistemas orgánicos específicos han sido elegidos para que puedan servir como variables de diseño en la arquitectura de la Torre Biodigital.

1.5. Extracciones de Bioaprendizaje

Un proceso de bioaprendizaje durante el transcurso de un proyecto puede implicar el estudio de un gran número indeterminado de ejemplos o imágenes, de muy distinta pro-

cedencia, incluso desde escalas microscópicas, como ha hecho este autor ya desde el año 2007, con el uso del microscopio electrónico. Y metodológicamente, en docencia, podría concretarse por ejemplo en 100 imágenes (presentadas en 10x10, ó 5x20, etc.), según también es un proceder didáctico del autor. Sin embargo, para el caso aquí recogido de esta versión de la Torre Biodigital, sólo se van a extraer y documentar algunas imágenes. Si bien otras quedan como información sensible para el diseño de todo el proyecto.

Así, como conclusión, de las *Figuras 1 a la 17* se pudo extraer la siguiente “**inteligencia**”:

- **Ramificación** (*Branching*): los patrones de las Figuras 8 y 12.
- **Pliegues** (*Folds*): los patrones de las Figuras 3 y 13.
- **Fractales** (*Fractals*): los patrones de las Figuras 1, 4 y 14.
- **Translucidez** (*Translucency*): de las Figuras 9, 10, 15 y 16.
- **Colores** (*Colors*): de las Figuras 1, 6, 9, y 17.
- **Texturas** (*Textures*): de las Figuras 4, 5, 7, 11 y 17.

Siendo la “**inteligencia**” aplicada la que realmente da cierto valor objetivo de calidad a una composición, sea esta del campo que sea.

2. “**Recetas**” de diseño biodigital

Como se explicó en el apartado 1, la arquitectura biodigital es una combinación de biología y computación. Entonces, después de los extensos ejercicios de bioaprendizaje, de analizar y estudiar numerosos vivientes concretos, y/o sus imágenes (en el caso de la metodología sistemática mencionada, sería el análisis y estudio de las 100 imágenes), se extrajeron 6 parámetros de diseño. Estos parámetros, a saber, según lo avanzado, ramificación, pliegues, fractales, translucidez, colores y texturas, se considerarían como sensibilidades de diseño, para proporcionar un control cualitativo del proceso de diseño de arquitectura biodigital durante el proyecto de la Torre Biodigital.

Por otro lado, el control cuantitativo del proceso de diseño lo proporcionaría la implementación del diseño computacional. Y los parámetros antes señalados, representados como algoritmos, podrían considerarse útiles en el contexto de la Torre Biodigital. Entonces, estos algoritmos podrían denominarse inventarios digitales. Como la Torre Biodigital se programa y diseña dentro de los entornos de software de Rhino3D (McNeel & Associates, 1998) y Grasshopper3D (Rutten, 2007), la mayor parte de la semántica utilizada en el inventario computacional se referirá a los límites y restricciones de este software. En otras palabras, los inventarios digitales reflejan los variados algoritmos de diseño que pueden ejecutarse con Rhino3D, Grasshopper3D y los demás *plugins*.

2.1. Algoritmos computacionales como inventarios digitales

- **Paneling:** esto incluiría algoritmos que aplican herramientas de subdivisión en el mapeo UV de NURBS, Meshes y SubD. También incluye la aplicación de *plugins* como Mesh+ (Mans, 2019) y Lunchbox (Miller, 2017) en Grasshopper3D, para hacer paneles de formas no ortogonales.

- **Voronoi:** esto incluiría algoritmos que sirven para la aplicación de Voronoi, tanto para la forma como para la estructura, ya sea generando patrones en superficies existentes o creando formas 3D.

- **Mesh relaxation:** esto incluiría algoritmos que forman superficies mínimas, utilizando *plugins* de simulación como Kangaroo (Piker, 2017), y *plugins* de voxelización como Cocon (Stasiuk, 2014).

- **Aggregation:** esto incluiría algoritmos relacionados con la agrupación de diferentes formas y agentes. También implicaría *packing algorithms* como Fox (Kirdeikis, 2017).

- **Recursion:** esto incluiría algoritmos relacionados con procesos recursivos, patrones e iteraciones utilizando *plugins* como Anemone (Zwierzycki, 2015) y Hoopsnake (Chatzikonstantinou, 2014).

- **Diffusion:** esto incluiría algoritmos relacionados con *attractor-repulsion patterns*. Como estos algoritmos no pueden existir de forma aislada, en su mayoría se aplicarían con otros algoritmos. Y como la mayoría de las aplicaciones de estos algoritmos utilizan las herramientas nativas de Grasshopper3D, no se requieren *plugins* adicionales.

Pues bien, después de establecer las sensibilidades de diseño derivadas de bioaprendizaje y los inventarios digitales basados en la aplicación de algoritmos computacionales, dentro de los entornos Rhino3D y Grasshopper3D, la Torre Biodigital puede ahora configurar “recetas” de diseño que combinen ambos. Sin embargo, esto requeriría antes alguna notación gráfica, para las 6 sensibilidades de diseño y los 6 inventarios digitales.

2.2. Notación gráfica de los “ingredientes” de diseño

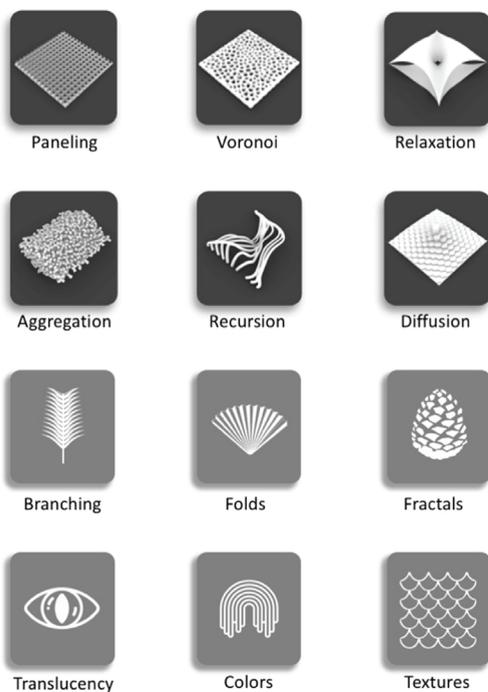


Figura 18.
“Ingredientes” de
diseño (Concepto
y gráficos de los
autores).

2.3. Restricciones de diseño

Si bien se ha mencionado anteriormente que la Torre Biodigital persigue una intención arquitectónica de diseñar una torre residencial para refugiados en el frente marítimo de Barcelona, se vuelve fundamental determinar las restricciones de diseño del proyecto.

Cada proyecto arquitectónico es único y posee varios parámetros que podrían distinguir uno de otro. De todos los parámetros posibles, la tipología, las cuestiones a abordar, y el contexto podrían considerarse como los más primordiales y distintivos. Entonces, en relación al proyecto de la Torre Biodigital quedaría así:

- **Tipología**

La tipología de la Torre Biodigital, según ya se ha dicho, debe ser la de un edificio residencial autosuficiente de gran altura y alta densidad. Pues, tratando primero sobre su altura,

Barcelona siempre ha mantenido una altura discreta en sus edificios, de manera que los más altos son la Torre Mapfre y el Hotel Arts (154 metros). La torre central de la Sagrada Familia alcanzará los 172,5 metros una vez acabada en los próximos años, ya que Antoni Gaudí no quiso superar con su proyecto los 173 metros de la montaña cercana, Montjuïc, argumentando no querer superar la obra de Dios. Por lo que la Torre Biodigital debería quedarse como máximo con una altura de 172 metros. Y como parte de su tipología, además de acomodar los aspectos funcionales propios de una torre residencial y autosuficiente, la Torre Biodigital también debería cumplir lo siguiente:

1. Restricciones estructurales, las propias de una torre lineal de 172 metros de altura, resuelta con núcleo y cáscara estructural como sistema.
2. Restricciones de seguridad contra incendios, con doble escalera, y las medidas propias para accesos, rellanos, ascensores, dimensiones mínimas interiores, etc.
3. Restricciones de proporción, dadas porque la torre debe servir como ejemplo de arquitectura biodigital también estético, y surge del bioaprendizaje, con lo que sus proporciones no deben verse comprometidas por ninguna de las otras restricciones. Por lo tanto, la torre debe ser alta, esbelta, y tener unas proporciones aproximadas de 1:8 en su relación anchura/altura.

- Cuestiones a abordar.

La Torre Biodigital debe abordar varios problemas y brindar sus respectivas soluciones arquitectónicas.

1. El principal objetivo y más seria justificación es la función de acoger refugiados en situaciones de emergencia, falta de recursos, guerras, etc. Es como el objetivo de fondo. Estos refugiados, procedentes de cualquier país con urgentes necesidades, podrían ingresar a Europa a través de ser acogidos en esta torre, pudiéndose así llamar a Barcelona “la puerta de Europa”, sirviendo simbólicamente entonces su silueta como faro de esperanza, “el faro de Europa”. Y ya que estos residentes sólo necesitan un alojamiento temporal, aunque digno, antes de partir a sus posibles destinos más definitivos, las unidades de vivienda pueden ser mínimas.
2. Otro objetivo, además de ofrecer una vivienda personal, individual, es abordar el problema colectivo, de la integración social, por lo que debe incluirse a través de su morfología, organización y diseño el poder brindar un sentido de comunidad y vecindario.
3. Asimismo, de cara a las diferencias entre individuos y familias que puede haber, debe diseñarse una plétora de opciones en términos de tamaños y configuraciones.
4. Y, siguiendo los 17 ODS de las Naciones Unidas, junto a los objetivos sociales deben siempre atenderse los ecológicos, por lo que la Torre deberá erigirse como una máquina lo más autosuficiente y sostenible posible, en cuestiones energéticas y de recursos, así como hacer que su entorno natural sea mejor con ella que sin ella.

- Contexto

El contexto y su situación sería el frente marítimo de Barcelona, ya dentro del mar, por ser un terreno público, sin las cargas que la especulación privada del suelo hace de Barcelona una de las ciudades más caras. Y como se muestra en la *Figura 19*, un posible emplazamiento concreto podría ser una hipotética isla, con un diámetro de 172 metros (equivalente a su altura), conectada por un puente con el continente, manteniendo también por su simbolismo una continuidad con la famosa Avenida Diagonal de Barcelona. Y como el contexto se refiere a un clima mediterráneo, deberá armonizar con su entorno mediante la adopción de sistemas y estrategias documentadas como parte del proceso de bioaprendizaje, sin obviar lo que tiene que ver con una arquitectura solar pasiva. Además, se gozará del hecho de que tal situación ofrece unas vistas privilegiadas de la ciudad.



Figura 19. Imagen que muestra la ubicación del solar con respecto a la ciudad de Barcelona y la Avenida Diagonal (Imagen recuperada de earth.google.com, 2020, y gráficos de los autores, 2020).