

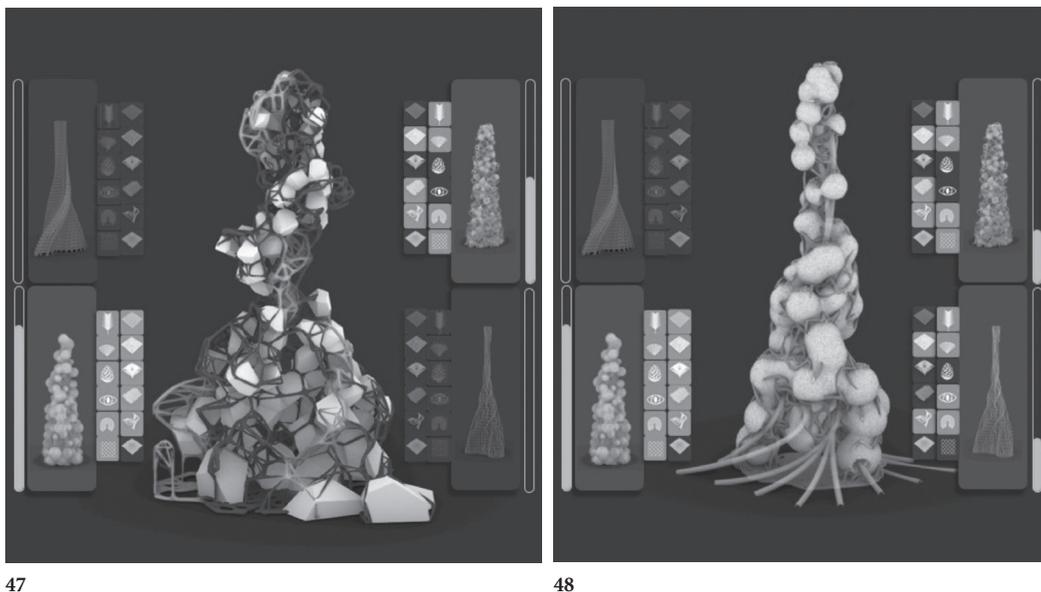
45

46

**Figura 45.** Generación 02 – opción con 25% del Sistema B y 100% del Sistema C. Los sistemas A y D no fueron aplicados en esta generación. **Figura 46.** Generación 03 – opción con 50% del Sistema B y 75% del Sistema C. Los sistemas A y D no fueron aplicados en esta generación.

En la generación de diseño 02 (Ver Figura 45), las diferentes celdas podrían usarse de manera bastante efectiva para formar unidades de vivienda para la Torre Biodigital. Aunque habría que trabajar con la altura del edificio. Sin embargo, esta generación de diseño tiene un inmenso potencial de cara a la estructura exoesquelética, para soportar y unir la generación aleatoria de las células de Voronoi. La estructura del exoesqueleto en esta generación también proporciona un derrame casi deliberado de la forma que luego podría desarrollarse en espacios de congregación al aire libre.

En la generación de diseño 03 (Ver Figura 46), la realineación en las proporciones del Sistema B y C ya aumenta la altura total de la Torre Biodigital. Además, si bien brinda características similares a las demostradas en la generación de diseño 02, esta opción tiene un enorme potencial para tener el tipo correcto de volúmenes y proporciones dentro del grupo de componentes. Pero las unidades de vivienda podrían alinearse más con la tipología, para que puedan cumplir con los requisitos funcionales requeridos. Además, las proporciones generales de la Torre todavía son bajas.



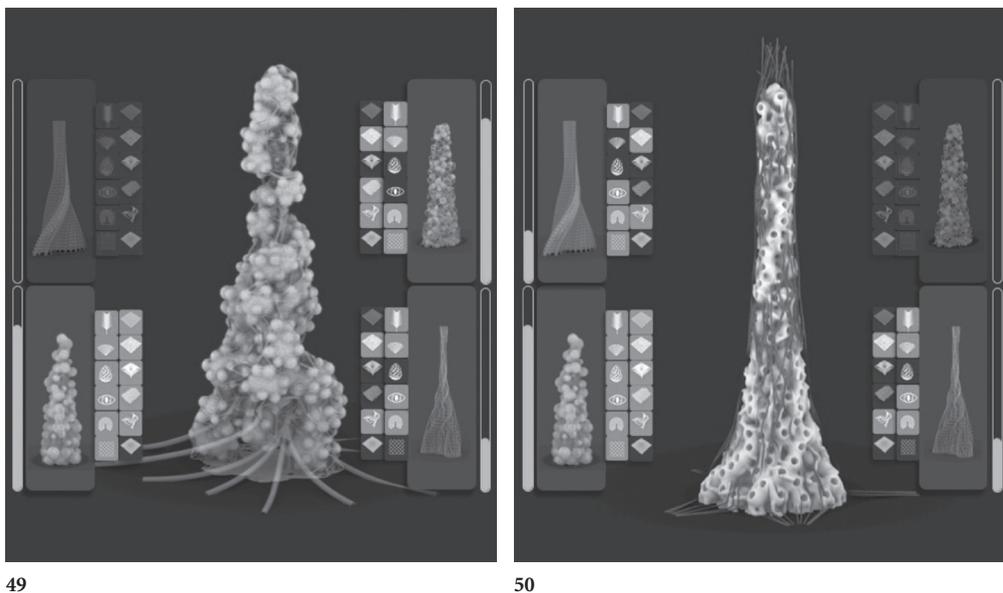
47

48

**Figura 47.** Generación 04 – opción con 75% del Sistema B y 50% del Sistema C. Los sistemas A y D no fueron aplicados en esta generación. **Figura 48.** Generación 05 – opción con 75% del Sistema B, 25% del Sistema C y 25% del Sistema D. No se aplicó el Sistema A.

En la generación 04 (Ver Figura 47), la realineación adicional de las proporciones del Sistema B y C es fundamental para ofrecer variaciones en los tamaños de las celdas que podrían usarse como unidades de vivienda. Sin embargo, la generación 04 no ofrece ninguna mejora en las proporciones generales de la Torre como se esperaba. Además, algunas de las células de Voronoi podrían volverse funcionalmente inmanejables debido a sus proporciones irregulares. En las próximas generaciones, las proporciones generales podrían mejorarse haciendo proporciones estratégicas de los 4 sistemas. Además, se podría romper la monotonía de los sistemas y la agrupación de los componentes (viviendas en este caso) para obtener un resultado funcionalmente más viable.

En la generación 05 (Ver Figura 48), la introducción del Sistema D proporciona un lenguaje de diseño diferente para la Torre. La extraña introducción de blobs (masas pseudoamorfos) en el sistema de estructura del exoesqueleto existente interrumpe la combinación general pero no rompe la armonía. Además, las proporciones generales parecen estar bastante bien mantenidas para que la Torre luzca esbelta y alta. Sin embargo, la morfología generada en este resultado parece que sería bastante difícil de funcionalizar. Los blobs y el exoesqueleto podrían plantear problemas en el futuro en lo que respecta a la estructura y la construcción. Y la base de la Torre no parece demasiado funcional, o estructuralmente viable en esta generación.



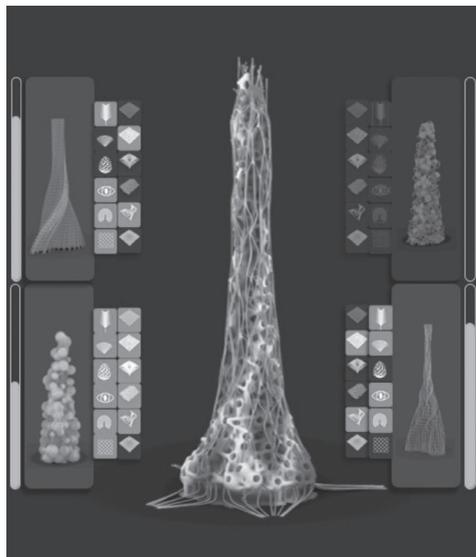
49

50

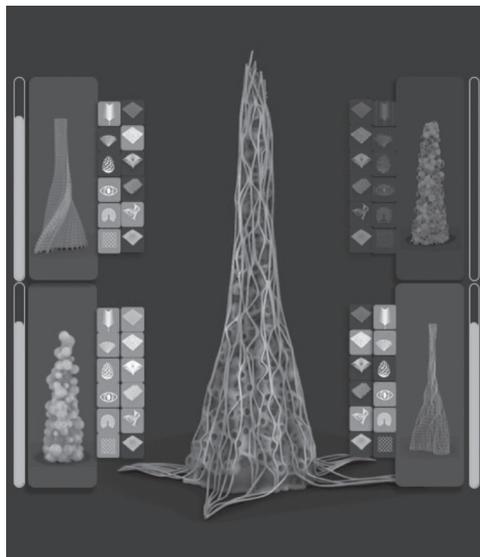
**Figura 49.** Generación 06 – opción con 75% del Sistema B, 75% del Sistema C y 25% del Sistema D. No se aplicó el Sistema A. **Figura 50.** Generación 07 – opción con 25% del Sistema A, 75% del Sistema B y 25% del Sistema D. No se aplicó el Sistema C.

En la generación 06 (Ver Figura 49), los blobs se vuelven más densos, proporcionando más posibilidades funcionales. Y la fractalización de los blobs podría tener un impacto positivo en términos de diseño de los aspectos funcionales de la torre. Por ejemplo, las unidades de vivienda podrían distribuirse y conectarse bastante bien al implementar la estrategia morfológica: poblar blobs con blobs más pequeños. Pero las implicaciones estructurales de la fractalización de los blobs serían demasiado difíciles de manejar para una torre de tal magnitud. Además, la fractalización podría desarrollarse de manera más armoniosa para conservar las proporciones de la Torre.

En la generación 07 (Ver Figura 50), debido a la introducción del Sistema A dentro de las proporciones existentes de los sistemas B y D, los blobs se vuelven más funcionales, lo que hace que la Torre sea mejor estructural y funcionalmente hablando. La eliminación completa del Sistema C significa que la monotonía de los blobs se rompe con los tubos que finalmente conectan los blobs, pero las densidades y funcionalidades de estos tubos de conexión deben controlarse y manipularse estratégicamente donde sea necesario. Además, la eliminación completa del Sistema C parece resolver la situación de la base del diseño de manera considerablemente positiva. Otras generaciones podrían intentar capitalizar esto.



51



52

**Figura 51.** Generación 08 – opción con 75% del Sistema A, 50% del Sistema B y 75% del Sistema D. No se aplicó el Sistema C. **Figura 52.** Generación 09 – opción de proyecto con 75% del Sistema A, 75% del Sistema B y 75% del Sistema D. No se aplicó el Sistema C.

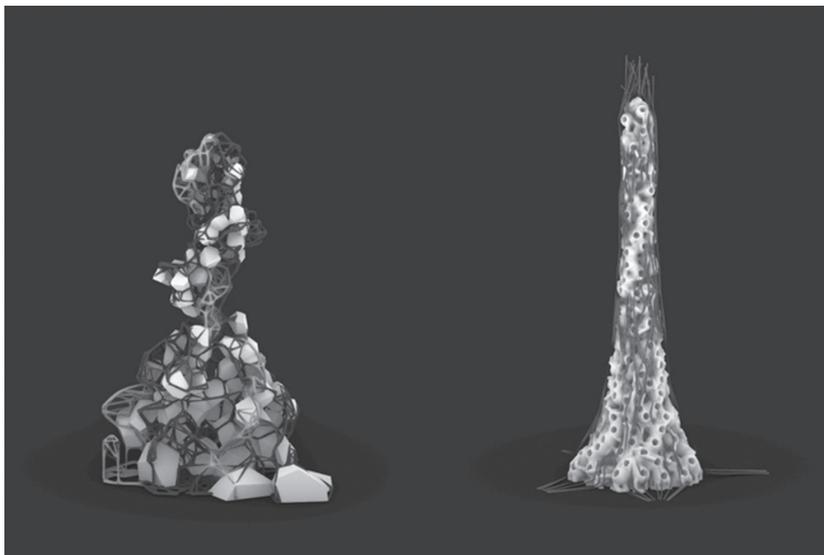
En la generación 08 (Ver Figura 51), a medida que el Sistema A y el Sistema D ganan más dominio en términos de alquimia proporcional, la Torre Biodigital parece más funcional y estructuralmente viable. La densidad de los tubos y sus conexiones internas están controladas y manipuladas por la estabilidad estructural del sistema general. La densidad de los tubos, sin embargo, podría bloquear la eficiencia funcional de la Torre en algunos lugares, sin embargo, estos espacios siempre podrían usarse para fines congregacionales exteriores. La combinación de los blobs y el exoesqueleto también se suma a la verticalidad de todo el sistema, haciéndolo más alto y delgado.

En la generación 09 (Ver Figura 52), mientras se recuperan las proporciones del Sistema B, una extraña armonía de los blobs y los tubos cubren la Torre. La generación 09 demuestra cómo la alquimia proporcional puede ser perturbada incluso por un ligero aumento en uno de los sistemas que desequilibra toda la armonía. Aquí, la estructura del exoesqueleto domina por completo todo el sistema, lo que hace que la Torre parezca demasiado apoyada. Las conexiones tubulares internas de los blobs también se desproporcionan enormemente, mientras que la densidad se incrementa innecesariamente, sin proporcionar ninguna mejora en la funcionalidad o en la estructura.

Después de la implementación de las “recetas” de diseño y la posterior polinización cruzada de ideas en forma de generaciones de diseño, se pudo llegar a una conclusión clara sobre la morfogénesis del proyecto de la Torre Biodigital: la generación de diseño 04 y la generación de diseño 07 podrían desarrollarse aún más para llegar a un proyecto final. Pues bien, como parte de la creación de una plantilla didáctica, el proceso hasta ahora sienta las bases de un flujo de trabajo claro que podría documentarse de la siguiente manera (el número concreto que aparece designado para cada uno de los siguientes apartados se ha acabado fijando por su eficacia docente, por la experiencia, después de años de este tipo de docencia):

- Recolectar 100 imágenes de naturaleza viva (entes biológicos). Como parte del proceso de bioaprendizaje, estas imágenes son un medio para alinear las inspiraciones de diseño con los sistemas y procesos naturales, y podrían usarse para desarrollar sensibilidades de diseño, para entresacar “inteligencia” de los animales y plantas seleccionados, aprendiendo de ellos. 100 imágenes que en el proceso de recolección tratan también de sumergir al diseñador en ese mundo biológico.
- Proponer desde el paso anterior 20 ideas arquitectónicas distintas. Esto actúa a modo de *brainstorming*, donde las posibles ideas de arquitectura aparecen diferenciadas, o siguen un camino evolutivo de 20 paradas, o pueden interaccionar unas con otras, como en saltos, sin seguir un orden sucesivo. Al implementar las “recetas” de diseño utilizando las entradas cualitativas y cuantitativas, estos 20 diseños o bocetos pueden ser las primeras conexiones visibles entre la biología y la computación.
- Generar 5 modelos de las 20 ideas anteriores. Seleccionando los diseños más eficientes y óptimos, podrían también cruzarse entre ellos.
- Definir un único diseño final. El más apto de los 5 modelos, eventualmente, sería el diseño final.

La siguiente imagen muestra las generaciones de diseño que se combinarían y cruzarían para el proceso restante (*Ver Figura 53*).



**Figura 53.** Alquimia proporcional de combinar las generaciones de diseño 04 y 07 que se emplearían para la Torre Biodigital (Concepto, diseño, modelado y gráficos de los autores, 2020).

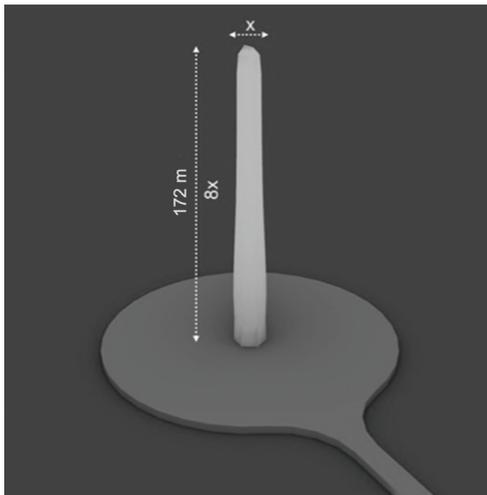
### 3. Arquitectura Biodigital

Después de seguir los pasos de flujo de trabajo designados de un proyecto de arquitectura biodigital típico, en este caso la Torre, es decir, sumergirse en 100 imágenes, entresacar 20 ideas y generar 5 modelos, este capítulo trata de la explicación del último paso, el diseño final. Y también se trata de ilustrar el diseño en términos de dibujos arquitectónicos.

Así, este apartado demuestra cómo la arquitectura biodigital puede funcionar con las tecnologías pasadas, actuales y futuras que ya están siendo implementadas por la industria AEC en el mercado. Muestra cómo, a pesar de sus dependencias del diseño computacional y la fabricación digital, la arquitectura biodigital aún puede realizarse mediante prácticas de construcción tradicionales. Esto hace que sea muy importante comprender que, aunque las formas generadas al seguir el flujo de trabajo antes mencionado son no convencionales, futuristas dirían algunos, e incluso surrealistas, se podrían generar planos arquitectónicos sin mayor problema, plantas, secciones y alzados, para documentar este proyecto como una construcción tradicional. Las siguientes imágenes explican con más detalle esta etapa final de desarrollo del diseño de la Torre Biodigital. Y como el diseño se basa en los resultados de las 9 generaciones de diseño ilustradas en el apartado anterior, aquí se da más énfasis a las restricciones de diseño que antes.

### 3.1. Desarrollo de diseño

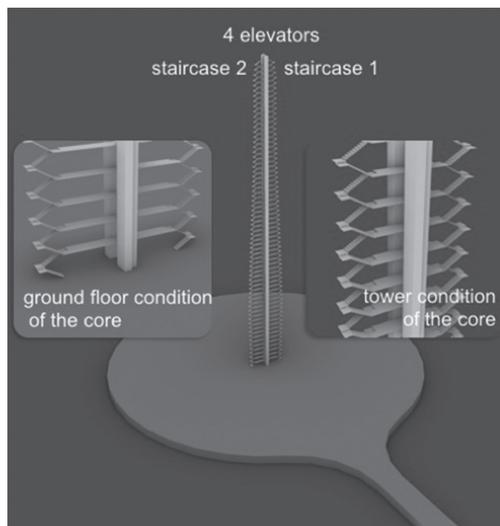
La *Figura 54* que se muestra a continuación ilustra que la altura total de la Torre Biodigital se considera de 172 m. Y para enfatizar la verticalidad se considera una relación de 1:8 para las dimensiones de diámetro mínimo en relación a su altura (las posibles protuberancias de su volumen general deberán quedar fuera de ese diámetro mínimo).



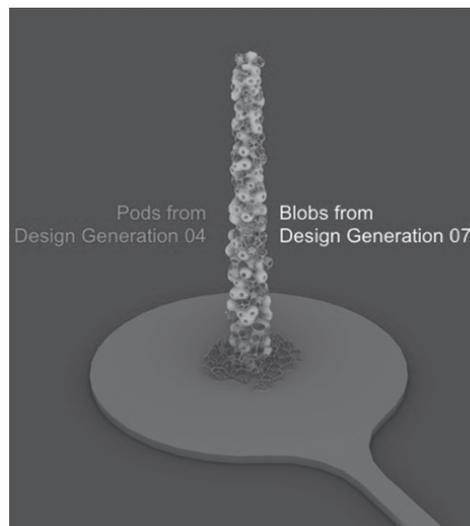
**Figura 54.** Desarrollo de diseño 01 – altura total de la Torre Biodigital en relación a su contexto.

Como el proyecto debe ajustarse a la seguridad contra incendios, deben incluirse al menos dos escaleras abiertas, continuas de arriba abajo, hasta el considerado como nivel cero, en contacto por lo menos parcial con la periferia de la torre.

La *Figura 55* que se muestra a continuación ilustra que desde el núcleo se alojan dos escaleras y un hueco de ascensor con 4 ascensores. Además, demuestra cómo se estira el núcleo para asegurarse de que las escaleras tengan cierto acceso a la periferia de la Torre, y la condición de la planta baja ilustra cómo el núcleo termina en el suelo, en el nivel cero.



55



56

**Figura 55.** Desarrollo de diseño 02 – condición del núcleo central en el proyecto de la Torre. **Figura 56.** Desarrollo de diseño 03 – poblando “recetas” de diseño en el proyecto de la Torre.

Después de establecer las proporciones y el núcleo según las restricciones de diseño, la Torre ahora puede implementar los hallazgos de la generación de diseño. Así, la *Figura 56* que se muestra arriba ilustra cómo la Torre con sus proporciones relacionadas con el desarrollo del diseño 01 y la ubicación central del desarrollo del diseño 02, puede poblar las “recetas” de diseño y las generaciones de diseño cruzadas adicionales en sí misma. En la figura, los pods de la generación de diseño 04 y los blobs de la generación de diseño 07 entran en un duelo aleatorio pero equilibrado por el espacio en la torre. Las cápsulas (pods) representarían espacios de vida que incluirían las unidades de vivienda para los refugiados y sus posibles familias. Sin embargo, los blobs serían espacios sociales como bibliotecas, salas de reuniones, salas de actividades, etc. Algunas cápsulas también podrían transformarse en jardines y huertos comunitarios al aire libre. Y para lograr proporciones funcionales óptimas, se realizó una exploración pormenorizada de las proporciones y los usos de pods y blobs.

La *Figura 57* ilustra cómo la opción 01 tiene una proporción de pods y blobs de 1:1; la opción 02 tiene una proporción de pods y blobs de 2:1; la opción 3 tiene una proporción de pods y blobs de 4:3. La opción 3 se siguió trabajando en el diseño final, pues se eligió antes que las otras dos porque tenía la combinación perfecta y funcional de la dualidad de pods y blobs.



**Figura 57.** Desarrollo de diseño 04 – poblando la Torre Biodigital (Concepto, diseño, modelado y gráficos de los autores, 2020).

Por otro lado, según se ha reseñado sobre que la Torre incorporaría el entendimiento de la arquitectura solar pasiva, que ayuda en sobremanera a su autosuficiencia y sostenibilidad, mientras los blobs acumulan en su masa una inercia térmica beneficiosa para el acondicionamiento del proyecto, los pods incluyen estratégicamente, y en relación a su orientación solar, dobles acristalamientos verticales (o inclinados) creando invernaderos, o paneles solares en sus cubiertas inclinadas u horizontales.

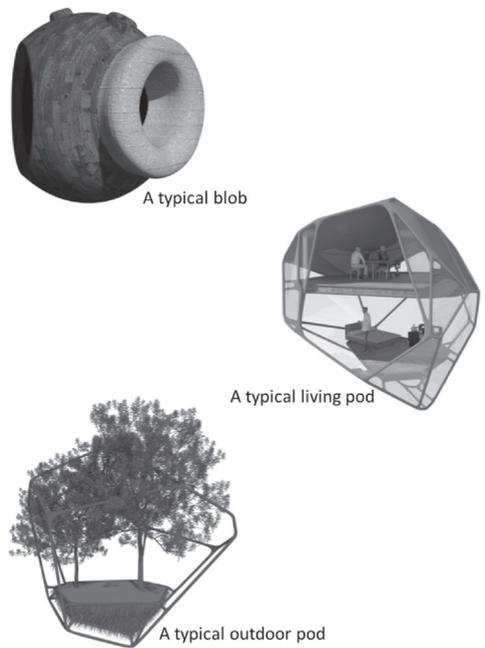
### 3.2. Documentación de diseño

Teniendo en cuenta las exploraciones realizadas anteriormente como parte del desarrollo del diseño, el proyecto ahora entra en la fase de documentación final. Además de ayudar al proceso de arquitectura biodigital a convertir el bioaprendizaje en objetivos e intenciones arquitectónicas tangibles, el proceso de desarrollo del diseño también ayuda a llevar las “recetas” de diseño de la estructura del pensamiento a la estructura del mundo físico. Además, el desarrollo del diseño también enfatiza el desarrollo adicional del proceso de arquitectura biodigital. El proceso se destaca por el bioaprendizaje, los inventarios de diseño, las “recetas” de diseño, y las generaciones de diseño, que se mencionaron e ilustraron en los apartados anteriores. Los resultados finales de este proceso, que son la generación

de diseño 04 y la generación de diseño 07, se desarrollaron aún más en sus cualidades dimensionales exactas, para considerarse soluciones óptimas de cara a los requisitos funcionales. La documentación del diseño ayuda aún más a expresar el proyecto en términos de dibujos e imágenes, que podrían usarse para generar documentos de construcción o imágenes que sirvan como referencia visual. El siguiente conjunto de imágenes sirve como dibujos de documentación de diseño que demuestran una referencia visual para toda la Torre Biodigital (*Ver Figuras 58 y 59*).



58



59

**Figura 58.** Documentación de diseño 01 – renderizado de vista frontal. **Figura 59.** Documentación de diseño 02 – blob y pods (Concepto, diseño, modelado, renderizado y gráficos por los autores, 2021).

### 3.3. Sistemas de diseño procedimental

En definitiva, el flujo de trabajo de diseño demostrado y ejercitado como parte de la arquitectura biodigital es bastante claro y puede explicarse de manera bastante simple de la siguiente manera:

- Paso 1: recopila 100 imágenes (para crear un catálogo de bioinspiración y bioaprendizaje).
- Paso 2: ofrecer 20 ideas arquitectónicas (a modo de bocetos iniciales basados en bioaprendizaje).
- Paso 3: seleccionar y generar 5 modelos (a modelar según las restricciones de diseño).
- Paso 4: concluir con un diseño final (para elaborar con precisión hasta llegar al resultado deseado).

Y hay que hacer notar que es equivocado pensar que el proceso anterior es lineal. Por el contrario, es fluido y dinámico debido a su naturaleza procesal. Las 6 sensibilidades de diseño y los 6 inventarios digitales, que brindan los criterios iniciales para los parámetros, no solo ayudan a extraer atributos de diseño tangibles, que se pueden usar durante el proceso, sino que también agregan un valor de manipulación cuantitativa que podría modificarse durante todo el flujo de trabajo. Además, la consideración inicial de las tres restricciones de diseño ayuda a que el resultado se base en la realidad, y ayuda a que todo el flujo de trabajo evite desviaciones en el proyecto. Estos parámetros y el control que el usuario obtiene sobre ellos, mediante la implementación estratégica del diseño computacional, ayudan a que el sistema permanezca fluido y dinámico.

Por lo tanto, todo el flujo de trabajo es un sistema de diseño de procedimientos, que se puede ajustar cuantitativamente para obtener resultados que serían de naturaleza cualitativa. El sistema completo, mientras se demuestra en forma de proyecto arquitectónico, la Torre Biodigital, ayuda a documentar 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.

Y por cierto, concluyendo, las imágenes de las *Figuras 58 y 59* no son de ninguna manera el resultado final de la Torre Biodigital que realmente se desea, que, al igual que la Sagrada Familia de Antoni Gaudí en Barcelona, sigue sin terminarse, aunque nunca se pare, ya sea en la oficina o en la obra. Sin embargo, estas imágenes sí que muestran uno de los posibles resultados que pueden obtenerse, siguiendo un proceso que se documenta a sí mismo. Entonces, una ventaja significativa de tal sistema procesal es su posibilidad siempre abierta de generar otros resultados, que de hecho podrían ocurrir pronto. Si bien las 6 sensibilidades de diseño y los 6 inventarios digitales son reemplazables y modificables, incluso las tres restricciones de diseño también podrían modificarse, para lograr una posible mejora del resultado que se requiera en cada momento. Además, todos estos parámetros también podrían cambiarse, de cara a seguir una búsqueda de un diseño completamente diferente, ya sea por su escala intercambiable como por sus diferentes posibles aplicaciones y funcionalidades. En efecto, las posibilidades son ilimitadas.

## Referencias

- Chatzikonstantinou, Y. (2014). Hoopsnake (0.6.7) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).
- Estévez, A. T. (2009). Biodigital Architecture. En AA.VV.: *Computation: The new realm of architectural design*, eCAADe, pp. 681-686.
- Kirdeikis, G. (2017). Fox (1.01) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).
- Mans, D. (2019). Mesh + (2.1.03) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).
- McNeel, R. & Associates. (1998). Rhinoceros 3D (1) [Computer software].
- Miller, N. (2017). Lunchbox (2017.8.1) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).
- Piker, D. (2017). Kangaroo physics (2.42) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).
- Rutten, D. (2007). Grasshopper3D (1) [Computer software].
- Stasiuk, D. (2014). Cocoon [Computer software]. [www.bespokegeometry.com](http://www.bespokegeometry.com).
- Zwierzycycki, M. (2015). Anemone (0.4) [Computer software]. [www.food4rhino.com](http://www.food4rhino.com).

---

**Abstract:** Traditional architectural design and architectural design education, which are strongly based on rational-functionalist design ideals, are categorically segregated into modelling, analysis and prototyping. This tense separation is clearly reflected in the design and fabrication practices of the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry. Subsequently, this segregation carried over into the Computer Aided Design (CAD) framework and, more recently, into the Building Information Modelling (BIM) framework. Nature, however, equipped with unlimited time and energy, performs all its processes in a smooth, harmonious and symbiotic way, while maintaining complex energy cycles within and between ecosystems, and developing extensive biodiversity. Stimulated by the nature approach and equipped with the resources provided by Industry 4.0, such as computational design in the form of visual programming, Procedural Design Systems could be developed to generate a large number of design solutions by implementing the concepts of biolearning and bioinspiration as generative algorithmic procedures. The design technique presented in this paper attempts to develop and educate a continuous, recursive and iterative process that could perform modelling, analysis and prototyping, while designing a multitude of possible outcomes for an architectural intervention. The following project (self-sufficient residential tower for refugees on the Barcelona waterfront) serves as a proof of concept to demonstrate biodigital architecture in the form of an architectural project.

**Keywords:** Biodigital Design - Generative Design - Algorithm Assisted Design - Computational Design - Trans-Scalar Design - Biolearning

**Resumo:** O design arquitectónico tradicional e a educação em design arquitectónico, que se baseiam fortemente em ideais de design racional-funcionalista, estão categoricamente segregados em modelação, análise e prototipagem. Esta separação tensa reflecte-se cla-

ramente nas prácticas de concepción e fabrico da industria da Arquitectura, Engenharia e Construcción (AEC). Posteriormente, esta segregación transitou para a estrutura de Computer Aided Design (CAD) e, mais recentemente, para a estrutura de Building Information Modelling (BIM). A natureza, contudo, equipada con tempo e enerxía ilimitados, executa todos os seus procesos de unha forma suave, harmoniosa e simbiótica, mantendo ao mesmo tempo ciclos energéticos complexos dentro e entre ecosistemas, e desenvolvendo unha extensa biodiversidade. Estimulados pola abordaxe da natureza e equipados con os recursos fornecidos pola Industria 4.0, tais como a concepción computacional sob a forma de programación visual, os Sistemas de Concepción de Procedimentos poderían ser desenvolvidos para gerar un grande número de solucións de concepción a través da implementación dos conceptos de bioaprendizaxe e bioinspiración como procedimentos algorítmicos generativos. A técnica de deseño presentada neste artigo tenta desenvolver e educar un proceso contínuo, recursivo e iterativo que podería realizar a modelación, análise e prototipaxe, ao mesmo tempo que projecta unha multiplicidade de resultados posibles para unha intervención arquitectónica. O proxecto seguinte (torre residencial auto-suficiente para refuxiados na orla marítima de Barcelona) serve como proba de concepto para demostrar a arquitectura biodigital sob a forma de un proxecto arquitectónico.

**Palabras clave:** Design Biodigital - Design Generativo - Design Asistido por Algoritmos - Design Computacional - Design Trans-Scalar - Biolearning

---