

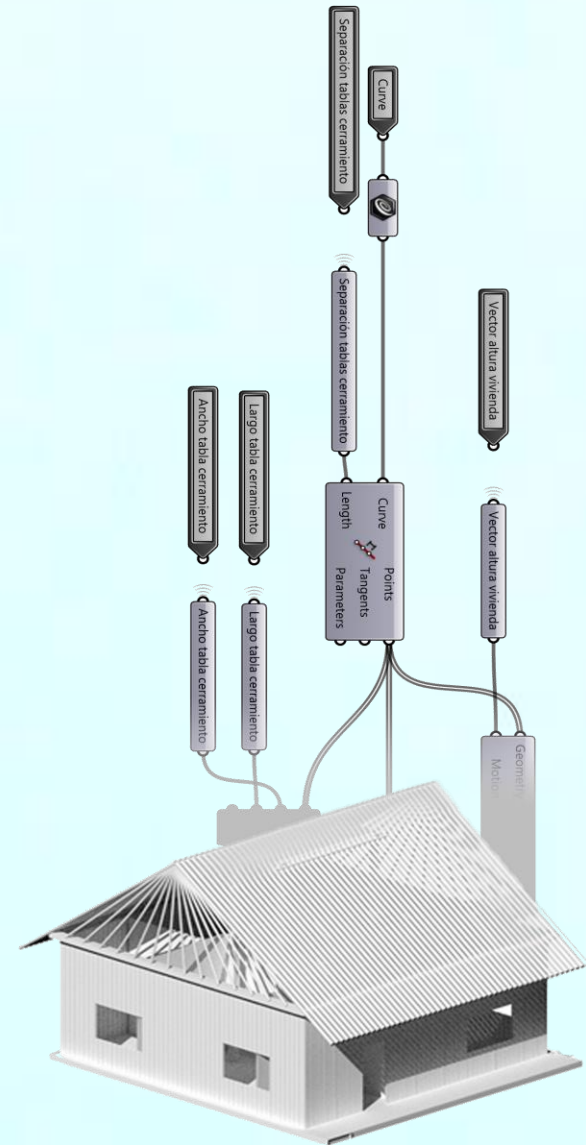
Trabajo Fin de Grado
Grado en Fundamentos de Arquitectura
Universidad Politécnica de Cartagena

DISEÑO PARAMÉTRICO DE EDIFICACIONES DE EMERGENCIA FRENTE A CATÁSTROFES. CASO DE ESTUDIO: INDONESIA

Autor: Ricardo Abellán Castillo

Tutor: Pau Natividad Vivó

2023



ÍNDICE

Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract.....	8
1 INTRODUCCIÓN.....	10
Sobre el diseño paramétrico.....	10
¿Qué es y cómo funciona?.....	10
¿Cuándo aparece?.....	12
¿Qué ventajas tiene?.....	12
¿Qué limitaciones tiene?	13
¿Qué software se emplea?	13
¿Ejemplos donde se haya aplicado exitosamente?	14
Sobre las edificaciones de emergencia.....	15
¿Qué son y qué características tienen?	15
¿Cosas importantes para tener en cuenta?	15
¿En que circunstancias se emplean?.....	16
¿Lugares del mundo donde suelen emplearse?	17

¿Ventajas del diseño paramétrico aplicado en estas edificaciones?	17
Sobre indonesia	19
Objetivos	22
Metodología	22
Instrumental	24
Rhinoceros	24
Grasshopper	25
Ladybug	25
Kangaroo	26
Marmot	26
2 CATÁSTROFES	27
3 VIVIENDA DE INDONESIA.....	33
4 DESARROLLO DEL ALGORITMO	44
Parámetros.....	44
Diseño en grasshopper	45
Aplicaciones del modelo	47
Algoritmo	48
Inputs principales	49
Inputs secundarios	51

Medidas edificación	52
Planta	52
Particiones interiores	53
Forjados	54
Entrada.....	55
Escaleras	55
Cerramientos	56
Huecos cerramiento	58
Cubiertas.....	59
Estructura soporte cubierta.....	60
Cerramientos cubierta.....	61
Pilotes base y micro pilotes	62
Parcela exterior	63
Puerto.....	63
Silos	64
Mecanismo funcionamiento	65
5 POSIBLES SOLUCIONES	66
solución 1	67
Solución 2	68

Solución 3	69
6 conclusiones.....	70
Bibliografía	72
Documentos.....	72
Procedencia de las imágenes	75

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su apoyo y colaboración en la realización de mi TFG. Desde el inicio de este proyecto, habéis sido una fuente constante de apoyo y motivación para mí. En especial, quiero dar las gracias a mi tutor, le agradezco sinceramente por su dedicación y especial atención al guiarme en cada paso del proceso de investigación y redacción. Sus recomendaciones y experiencia han sido esenciales para el completo desarrollo del trabajo, y no podría haberlo logrado sin su ayuda. A mis padres, les debo un enorme agradecimiento por su amor incondicional y su apoyo emocional en todo momento. Sin su respaldo, no estaría donde estoy hoy y no podría haber alcanzado este logro sin su ayuda.

Finalmente, me gustaría agradecer a mi pareja, quiero expresar mi gratitud por ser mi mayor apoyo emocional y por tratar de ayudarme con cada obstáculo que ha aparecido durante este largo camino. Gracias por estar a mi lado, por escuchar mis ideas y por ayudarme a cumplir mi objetivo.

De nuevo, a todos ustedes, compañeros, tutor, padres y pareja, gracias de todo corazón por su apoyo en este proyecto. Vuestra contribución ha sido esencial en mi éxito académico y personal.

RESUMEN

La creciente frecuencia de catástrofes naturales en las últimas décadas, que ocurre en todo el mundo, ha llevado a la necesidad de proporcionar refugios temporales. Estos refugios deben cumplir las necesidades mínimas, siendo a su vez seguros y sostenibles para las personas afectadas por estos catastróficos eventos. En Indonesia, un país proclive a tsunamis, terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones, la arquitectura tradicional puede proporcionar una fuente de inspiración para el desarrollo y progreso de la creación de refugios temporales que puedan resistir las adversidades posteriores a estos de una manera adecuada.

En este trabajo de fin de grado se afronta el desafío del diseño paramétrico de refugios temporales basados en la arquitectura vernácula de Indonesia. El diseño paramétrico es una técnica de diseño que implica la definición y optimización de parámetros clave para mejorar la eficiencia y la eficacia del diseño, además de proporcionar una solución rápida y precisa para abarcar estas situaciones de extrema urgencia con la mayor rapidez posible.

El objetivo es el estudio de los principios de la arquitectura tradicional de Indonesia y de sus distintas vertientes, en respuesta a las condiciones ambientales y culturales que se pueden encontrar en la situación local, para que puedan ser adaptados y reproducidos en el diseño de dichos refugios temporales. Para ello, se estudiará de una manera meticulosa las singularidades clave de la arquitectura tradicional y cómo pueden ser aplicadas en el diseño. Se investigará sobre el uso de materiales y técnicas de construcción adecuados, orientación de las edificaciones, ventilación y demás aspectos que puedan garantizar la mejor adaptabi-

lidad y seguridad para sus habitantes. Como aspecto destacable de la investigación y justificando el estudio de lo vernáculo, se parametrizan aspectos que afecten a la sostenibilidad, como es el uso de materiales locales, eficiencia energética y garantía de largo plazo de las edificaciones a pesar de uso transitorio.

Por medio de este estudio, se plantea ofrecer una comprensión más amplia de cómo la arquitectura local del lugar puede ofrecer valiosa información e inspiración para el correcto y más eficiente diseño de estos refugios. Como resultado, se espera que el estudio pueda contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por los desastres naturales en Indonesia y en otros lugares del mundo, ya que considero que, en este contexto, la creación de refugios temporales se vuelve fundamental para ofrecer un espacio seguro y protegido.

Para el ámbito de la parametrización, es imprescindible el manejo de un software de modelado paramétrico, en este caso, se usará Rhinoceros, más concretamente, el plugin de Grasshopper, programa que permite la gestión y creación de dichos modelos. Como consecuencia de la utilización de dichos softwares, se requieren unos conocimientos básicos de programación, ya que se necesita entender los fundamentos de la lógica y la codificación, por lo que es recomendable estar familiarizado con el lenguaje específico. Como es habitual en la programación, se debe adquirir la capacidad de pensamiento lateral, es decir, reflexionar de una manera fuera de lo habitual y explorar las diferentes vías y soluciones que puede ofrecer el lenguaje paramétrico.

ABSTRACT

The increasing frequency of natural disasters in recent decades, occurring all over the world, has led to the need to provide temporary shelters. These shelters must meet the minimum needs of the situation while being safe and sustainable for people affected by these catastrophic events. In Indonesia, a country prone to tsunamis, earthquakes, volcanic eruptions and floods, traditional architecture can provide a source of inspiration for the development and progress of creating temporary shelters that can withstand post-disaster adversity in an adequate manner.

This thesis addresses the challenge of parametric design of temporary shelters based on Indonesian vernacular architecture. Parametric design is a design technique that involves defining and optimising key parameters to improve the efficiency and effectiveness of the design, as well as providing a rapid and accurate solution to address these extreme emergency situations as quickly as possible.

The objective is to study the principles of traditional Indonesian architecture and its various aspects, in response to the environmental and cultural conditions that may be encountered in the local situation, so that they can be adapted and reproduced in the design of such temporary shelters. To this end, the key singularities of traditional architecture and how they can be applied in design will be studied in a meticulous manner. Research will be carried out on the use of appropriate materials and construction techniques, building orientation, ventilation and other aspects that can guarantee the best adaptability and safety for

the inhabitants. As a remarkable aspect of the research and justifying the study of the vernacular, aspects that affect sustainability are parameterised, such as the use of local materials, energy efficiency and long-term guarantee of the buildings despite their transitory use.

Through this study, it is intended to provide a broader understanding of how the local architecture of the site can offer valuable information and inspiration for the correct and more efficient design of these shelters. As a result, it is hoped that the study can contribute to improving the quality of life of people affected by natural disasters in Indonesia and elsewhere in the world, as I believe that, in this context, the creation of temporary shelters becomes essential to provide a safe and secure space.

For parameterisation, it is essential to use parametric modelling software. In this case, Rhinoceros will be used, more specifically, the Grasshopper plugin, a programme that allows the management and creation of such models. As a consequence of the use of such software, basic programming knowledge is required, as it is necessary to understand the basics of logic and coding, so it is advisable to be familiar with the specific language. As usual in programming, you need to acquire the ability to think late in life, i.e. to think outside the box and explore the different ways and solutions that the parametric language can offer.

1 INTRODUCCIÓN

SOBRE EL DISEÑO PARAMÉTRICO

¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA?

El diseño paramétrico es un enfoque distinto de la arquitectura y el diseño basado en la creación de modelos paramétricos. Los modelos digitales son producidos a partir de un conjunto de parámetros que pueden ser definidos y modificados por el diseñador. En el ámbito de la arquitectura estos parámetros pueden ser numerosos y variables. Algunos ejemplos de parámetros sencillos serían el largo, el alto, el ancho, la pendiente, la forma o el material, llegando hasta parámetros más complejos como la variación en la orientación y apertura de los paneles de una fachada adaptándose a las condiciones climáticas, el ajuste de la orientación de un edificio con el fin de maximizar la cantidad de luz solar que entra en el espacio, así como el aprovechamiento de la dirección de los vientos dominantes reduciendo así, la necesidad de luz artificial y disminuyendo el consumo de energía (Jabi 2013).

La parametrización permite la manipulación y el ajuste de estos parámetros de manera controlada y sistemática, creando modelos precisos y de alta calidad que se pueden utilizar en la planificación y el diseño de edificios y estructuras. Estos modelos pueden ser creados con diferentes softwares de dibujo 3D que permiten al diseñador especificar los parámetros que se utilizarán para crear el modelo. Una gran ventaja de este estilo de diseño es que los modelos pueden ser modificados constantemente y sus parámetros pueden ser modificados cuando se desee, permitiendo así variar entre posibles soluciones rápidamente, experimentando con diferentes formas, materiales y tamaños. Una vez creado el modelo, se pueden aplicar condiciones y restricciones que afecten a su diseño y poder regular su comportamiento y apariencia. Estas restricciones pueden ser reglas matemáticas, como las relaciones entre los diferentes parámetros, o restricciones físicas, como las limitaciones del espacio disponible. Al aplicar estas restricciones, el diseñador puede controlar con precisión la forma y la apariencia del modelo y garantizar que cumpla con los requisitos específicos del proyecto.

La parametrización permite a los arquitectos crear diseños de edificios amoldables y flexibles, pudiendo estos ser diseñados y modificados en función de las cambiantes necesidades del entorno y de los usuarios. En primer lugar, permite a los arquitectos trabajar de manera más rápida y eficiente, ya que pueden ajustar y modificar los parámetros del modelo rápidamente. En segundo lugar, permite la creación de modelos más precisos y detallados, ya que se basa en la definición explícita de los parámetros que definen el modelo. Por último, permite la creación de diseños más adaptables, ya que se pueden ajustar rápidamente los parámetros del modelo para satisfacer las necesidades específicas de cada proyecto.

¿CUÁNDO APARECE?

Los inicios de la arquitectura paramétrica se remontan a mediados del siglo XX, más concretamente, a 1960, cuando los arquitectos comenzaron a usar softwares de diseño para crear modelos digitales de sus propuestas. Se dice que uno de los pioneros en este tipo de diseño fue el arquitecto italiano Luigi Moretti (fig. 0.1), quien usó una serie de ecuaciones y algoritmos matemáticos paramétricos para realizar análisis sobre las relaciones espaciales arquitectónicas (Ocon 2022). También resultan influyente en este aspecto del diseño paramétrico el ingeniero civil austriaco Klaus Bollinger, quien fue uno de los primeros arquitectos en explorar la parametricidad cuando fundó Bollinger + Grohmann Ingenieure en la década de 1990, una firma de ingeniería estructural enfocada en aplicar técnicas paramétricas al diseño y construcción de estructuras. Bollinger fue uno de los primeros en diseñar estructuras complejas utilizando softwares paramétricos, lo que le permitió crear modelos digitales precisos que podían adaptarse a diversas condiciones (Ianni 2018).

¿QUÉ VENTAJAS TIENE?

El diseño paramétrico ofrece numerosas ventajas si lo comparamos con métodos de diseño más tradicionales. Una de las mayores ventajas que nos puede aportar es la flexibilidad. La parametrización permite modificar y actualizar los modelos de diseño sin tener que editarlos o reconstruirlos desde el punto de partida, gracias a los parámetros, los cuales pueden ser ajustados y combinados de diferentes formas de manera inmediata, permitiendo una actualización del modelo según los requisitos o circunstancias a los que se aplique. La manipulación de estas variables permite un mayor control sobre el modelo, pudiendo limitar este si se requiere la necesidad, como por ejemplo medidas que no pueden superar los estándares



Figura 1.1. Proyecto de Luigi Moretti

o limitaciones del material. A su vez, se permite un mayor control sobre los errores, ya que en todo momento, se realizan las modificaciones automáticamente sin necesidad de repetir los pasos manualmente. Otra de las ventajas que caracteriza el diseño paramétrico es la mejora de la eficiencia en el diseño y en la producción, permitiendo ahorrar tiempo y recursos, lo que es particularmente valioso en proyectos grandes o complejos.

¿QUÉ LIMITACIONES TIENE?

A pesar de las evidentes ventajas ya mencionadas sobre el diseño paramétrico, también tiene algunas limitaciones que deben ser consideradas. Es destacable entre estas limitaciones la curva de aprendizaje, ya que se deben adquirir unas nociones básicas sobre programación y el funcionamiento de la aplicación de parámetros. Es además de suma importancia, la capacidad de pensamiento lateral para poder plantear los problemas desde un punto de vista diferente al común en las acciones cotidianas. Una deficiente ejecución del diseño o de cualquiera de los parámetros puede resultar en un diseño no funcional con partes no coherentes o compatibles, lo que puede resultar en una producción defectuosa y en una pérdida de eficiencia. Además de las nociones y conocimientos básicos mencionados, una de las limitaciones más importantes es la necesidad de la utilización de un software especializado el cual necesite unos requisitos tecnológicos concretos.

¿QUÉ SOFTWARE SE EMPLEA?

Dentro de los softwares utilizados se puede plantear una distinción principal en dos grupos, siendo uno de ellos los softwares de diseño asistido por ordenador en los que al usuario se

le permite crear, editar y visualizar un diseño. Algunos de los ejemplos más conocidos son Archicad, Autocad, Civil 3D, Revit, Rhinoceros, SketchUp, Tekla Structures, 3ds Max, etc. El otro grupo diferenciado se encuentra compuesto por los softwares de diseño paramétrico, en los que se diseña un algoritmo o flujo compuesto inicialmente por unos parámetros o entradas de datos que mediante un proceso proporcionan una salida de un modelo concreto aplicable a los datos iniciales. Algunos de los más conocidos son Autodesk Fusion 360, Autodesk Inventor, Grasshopper, CATIA, Geogebra, RhinoPython, Siemens NX, SolidWorks, entre otros.

¿EJEMPLOS DONDE SE HAYA APLICADO EXITOSAMENTE?

Desde sus comienzos, la arquitectura paramétrica ha evolucionado y es utilizada por numerosos arquitectos y diseñadores. Algunos nombres destacados que han hecho uso de aplicación son Zaha Hadid, Patrik Schumacher, Bjarke Ingels, Frank Gehry y muchos otros para crear diseños complejos y avanzados. Un buen ejemplo de ello son el diseño y creación del icónico Museo Guggenheim de Bilbao por el arquitecto canadiense Frank Gehry (fig. 0.2), utilizando el software CATIA CAD, convirtiéndose así en un hito en la arquitectura paramétrica y cambió la forma en que los arquitectos conciben el diseño arquitectónico. También es de suma importancia en términos de parametrización, la arquitecta Zaha Hadid, quien usó técnicas paramétricas para crear algunos de sus edificios más famosos, incluido el Pabellón Puente de Zaragoza y el Centro de Ciencias BMW en Leipzig, Alemania.

A medida que las técnicas de diseño y el software continúan evolucionando, la parametrización se está convirtiendo en una técnica cada vez más frecuente en la arquitectura, aunque en paralelo con este desarrollo existen crecientes objeciones basadas en la falta de diseño,



Figura 1.2. Guggenheim de Frank Gehry

función y criterio objetivo. Actualmente, muchos arquitectos utilizan técnicas paramétricas en sus diseños y se ha convertido en una herramienta útil para diseñar y construir estructuras complejas y adaptables (Tabanera 2013).

SOBRE LAS EDIFICACIONES DE EMERGENCIA

¿QUÉ SON Y QUÉ CARACTERÍSTICAS TIENEN?

Las edificaciones de emergencia o de actuación rápida son estructuras temporales cuya función es proporcionar refugio y hospedaje a las personas que se han visto afectadas por un desastre natural. Este tipo de edificación se caracteriza por su rápida construcción con materiales resistentes a las condiciones climáticas adversas que puedan presentarse. Los materiales suelen ser materiales autóctonos que no requieren gran complejidad o prefabricados que pueden ser transportados y puestos en funcionamiento con mayor facilidad. Es de suma importancia, que estos espacios cumplan con las necesidades básicas de salubridad y seguridad, siendo las entidades u organizaciones las encargadas de ello.

¿COSAS IMPORTANTES PARA TENER EN CUENTA?

En el apartado anterior se ha mencionado que son las edificaciones de emergencia y algunas características generales que esta san de tener. Sin embargo, estas deben cumplir y asegurar varios factores importantes para asegurar que sean funcióneles, apropiadas y seguras. Deben proporcionar espacios para las necesidades específicas de las personas que lo habitarán, además de la correcta ventilación e iluminación de estos. La ubicación del refugio es de

suma importancia, ya que debe ser un lugar seguro y que mantenga a sus habitantes fuera del peligro. En lo que se refiere a la estructura y la construcción, deben ser capaces de soportar las condiciones climáticas y sísmicas de la zona en la que se encuentra. Los materiales de construcción utilizados en el refugio deben ser seguros, duraderos y resistentes. Los materiales locales pueden ser una buena opción, ya que son más accesibles y pueden ser más económicos. Es de gran importancia que estos sean flexibles y adaptables, pudiendo ampliarse si es necesario y adaptarse a las condiciones de la ubicación.

¿EN QUE CIRCUNSTANCIAS SE EMPLEAN?

Las edificaciones de emergencia son utilizadas en una gran variedad de situaciones en las que los habitantes se ven forzados a abandonar su vivienda. Por lo general, estas situaciones son generadas por desastres naturales, conflictos armados, crisis emergencias generalizadas etc. En el caso de los terremotos, los habitantes e pueden ver forzados a abandonar sus hogares porque han sido destruidos o se encuentran zonas de riesgo elevado. En el caso de huracanes, ciclones o inundaciones, los residentes se ven forzados igualmente al abandono de su vivienda tras los fuertes vientos o lluvias, causantes de grandes daños perjudicando así la habitabilidad de estas. En situaciones de conflictos armados las personas son desplazadas de su vivienda, no por el peligro estructural de estas como en las anteriores situaciones, sino porque se han visto afectadas por la violencia y sus condiciones extremas de inseguridad.

¿LUGARES DEL MUNDO DONDE SUELEN EMPLEARSE?

Los refugios temporales son utilizados en todo el mundo en respuesta a las condiciones adversas que se puedan presentar. En cambio, su uso es más común en ubicaciones propensas a desastres naturales o países que se encuentren experimentando conflictos armados. En lo que se refiere a desastres naturales, algunos países como Indonesia, Japón, Filipinas, Nepal y Haití entre otros, se encuentran frecuentemente afectados por dichas calamidades. Esto se debe a que el este asiático se encuentra en una zona sísmica de gran importancia, causa de la proximidad con las fallas de las placas tectónicas que conforman la corteza terrestre. Es también común, en la zona de América central, donde los huracanes y terremotos golpean con intensidad a los habitantes de países como El Salvador, Nicaragua y Honduras entre otros.

En lo que se refiere a los conflictos armados, las zonas más propensas al uso de este tipo de edificaciones son las ubicadas en Oriente Medio, en países como Líbano, Siria e Irán entre otros, donde se han surgido numerosos conflictos y guerras, al igual que en las regiones del África Subsahariana, en países como Sudán del Sur, República Democrática del Congo, Nigeria o Somalia, donde la inestabilidad y corrupción política es en ocasiones causante de los mencionados conflictos armados.

¿VENTAJAS DEL DISEÑO PARAMÉTRICO APLICADO EN ESTAS EDIFICACIONES?

El uso de la arquitectura paramétrica puede resultar de gran utilidad en el diseño de edificaciones y estructuras para desastres naturales, ya que esta permite una gran flexibilidad y

adaptabilidad a las críticas condiciones comunes en estos desastrosos episodios. Las estructuras diseñadas para hacer frente a los desastres naturales, como pueden ser terremotos, huracanes, tsunamis y otros eventos, deben ser capaces de soportar cargas y condiciones extremas que pueden presentarse y variar en función del tipo de evento. La parametrización permite al diseñador ajustar rápidamente los parámetros del modelo para acondicionarse a estas circunstancias límite.

Además, como se ha mencionado anteriormente, la manipulación de los parámetros permite la creación de estructuras personalizadas que pueden adaptarse a las necesidades específicas de cada situación y ubicación. Los modelos paramétricos pueden ser ajustados para incorporar las condiciones climáticas, geográficas y topográficas únicas de una región determinada, lo que permite una mayor eficiencia en el diseño y una mejor adaptación a las condiciones locales. Por último, y más importante para el aprovechamiento de este sistema, la parametrización permite una mayor eficiencia y rapidez en todo el proceso desde la actividad de la catástrofe hasta la finalización de la construcción, ya que únicamente indicando los parámetros particulares de la situación que se presenta, se obtendrá con detalle una posible solución, pudiendo ser utilizados para crear instrucciones detalladas, lo que permite una mayor eficiencia y ahorro de tiempo en el proceso de construcción. Cada una de las soluciones propuestas proporciona las cantidades exactas de materiales que son necesarias para su construcción cambiando únicamente los parámetros.

SOBRE INDONESIA

Indonesia es un archipiélago ubicado en el sudeste asiático, compuesto por más de 17,000 islas. Con una población de más de 270 millones de personas, es el cuarto país más poblado del mundo. Se trata de una nación diversa, con cientos de grupos étnicos y más de 700 lenguas distintas habladas en todo el país (fig. 1.3). En lo referente a su historia, no ha encontrado un fácil desarrollo, ya que ha sido gobernada por numerosas naciones; Comenzando hace más de 2000 años, cuando las primeras generaciones agrícolas se establecieron en una de las más importantes islas, la isla de Java. Desde entonces hasta la actualidad, el archipiélago se ha visto influenciado por numerosas culturas, destacando la hindú, la budista y la islámica. A principios del S. VII se establece el que es considerado como el primer reino de Indonesia, el Reino de Srivijaya, manteniendo su influencia, principalmente en la isla de Sumatra y controlando una importante parte del comercio marítimo del sudeste asiático a lo largo de un siglo.

Relevando la influencia, se establece el Reino de Majapahit en Java, transformándose en el reino más extendido e influyente de las regiones del sudeste asiático. Durante el reinado, se desarrolló en gran medida el arte, la arquitectura, la literatura etc, convirtiéndose así en un centro cultural y económico. Es en el siglo XVI, cuando el reino portugués se hace con gran parte del comercio de la región, para que un siglo más tarde, los países bajos, se establecieran en las islas Molucas y ejercieran su control en gran parte del territorio, convirtiéndose en una colonia holandesa durante los siguientes 3 siglos (fig. 1.4). En 1942, en pleno apogeo de la Segunda Guerra Mundial, Japón se hizo con el dominio de las islas, siendo esta la



Figura 1.3. Mapamundi Indonesia



Figura 1.4. Ocupación holandesa

última de las ocupaciones extranjeras que se produciría en el archipiélago, ya que, en 1949, una revolución de nacionalistas indonesios se revelara contra los ocupadores, obteniendo por fin, la independencia.

Desde entonces, Indonesia ha experimentado numerosos conflictos políticos y sociales, incluyendo dictaduras y crisis económicas que afectaron en gran medida al prospero desarrollo del país. Sin embargo, en los últimos años ha experimentado un crecimiento económico significativo, y se ha establecido como un actor importante en la política regional y global (Wolters 2023).

Indonesia es también conocida por su rica biodiversidad y su belleza natural, que incluye bosques tropicales, arrecifes de coral, volcanes y playas espectaculares. Sin embargo, debido a su ubicación en el "Cinturón de Fuego del Pacífico", una región con alta actividad sísmica y volcánica, su población se ve expuesta a numerosos desastres naturales (Legge 2023). Uno de los mayores desastres naturales que ha afectado a Indonesia en los últimos años fue el terremoto y tsunami de 2004. Este terremoto de magnitud 9.1 en la costa oeste de Sumatra causó un tsunami que afectó a muchos países del Océano Índico, incluyendo Indonesia. El tsunami provocó el fallecimiento de más de 230,000 personas en todo el mundo, y en Indonesia, especialmente en la provincia de Aceh, donde este golpeo con gran intensidad, dando lugar a que más de 170,000 personas perdieran la vida (South Asia: Earthquake and Tsunami, 2023). Otro desastre natural importante que ha afectado a Indonesia en los años más recientes fue el terremoto y tsunami de 2018 en la isla de Sulawesi. Este terremoto de magnitud 7.5 en la costa oeste de la isla también causó un tsunami que afectó a la ciudad de Palu y sus alrededores. Más de 4,300 personas murieron y alrededor de 200.000 personas se vieron obligadas a abandonar sus viviendas como resultado de este

desastre natural. Además de los terremotos y tsunamis, Indonesia también es propensa a las erupciones volcánicas, encontrándose en la isla de Java, más concretamente en el monte Merapi, uno de los volcanes más activos de Indonesia (fig. 1.5). El Monte Merapi ha entrado en erupción varias veces en las últimas décadas, causando la muerte de cientos de personas y la destrucción de aldeas colindantes (Reuters 2021).

En resumen, Indonesia es una nación diversa con paisajes espectaculares, pero debido a su situación geográfica, terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas han causado una gran cantidad de destrucción y pérdida de vidas en Indonesia en los últimos años. A pesar de esto, el pueblo indonesio ha demostrado una gran resiliencia y fuerza en la recuperación y reconstrucción después de estos desastres naturales.



Figura 1.5. Monte Merapi en erupción

OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen con este trabajo de investigación son:

1. Analizar las construcciones de emergencia frente a catástrofes.
2. Analizar la vivienda tradicional indonesia y sus usuarios.
3. Desarrollar un diseño paramétrico para generar construcciones de emergencia frente a catástrofes naturales de aplicación en Indonesia y basado en la arquitectura tradicional.
4. Posibles aplicaciones del diseño en diferentes tipos de catástrofes y sus ventajas.

METODOLOGÍA

En primer lugar, se utilizarán métodos de recolección de datos basados en la búsqueda y estudio de bibliografía sobre la arquitectura vernácula indonesia. Para ello, se hará uso tanto de documentos de texto como libros, revistas y artículos, como de documentos y páginas digitales que faciliten la obtención de datos sobre Indonesia y su arquitectura. La finalidad de esta investigación será la indagación en los métodos y sistemas constructivos que se emplean de manera eficiente en la región asiática, permitiendo así una asimilación de las características clave para tener en cuenta en el diseño de edificaciones el ámbito del archipiélago.

Se realizará una investigación para el estudio de catástrofes naturales, enfocándose en el análisis y repercusión de estos sobre la población del archipiélago. Como método de apoyo en este apartado se consultarán además de artículos y libros, sitios oficiales de organizaciones no gubernamentales (ONG) responsables de la planificación urbana y la gestión de desastres en Indonesia, lo cual proporcionará gran cantidad de información para comprender de mejor manera la situación y la repercusión de estos en la población. Asimismo, será de gran ayuda para poder focalizar la investigación en los apartados que más atención necesiten, como puede ser el traslado a edificaciones de emergencia de las personas afectadas y la suministración de las necesidades básicas.

Una vez realizado el estudio, apoyándonos en los datos obtenidos, se analizarán las características comunes que mantienen las edificaciones de emergencia y las viviendas tradicionales del archipiélago. Mediante la creación de unas tablas, que a modo de catálogo resumirán las características principales de cada uno de los diseños, se extraerán los apartados comunes, creando así una simbiosis que proporcionará los parámetros básicos a tener en cuenta en el diseño paramétrico de dichas actuaciones de emergencia.

Una vez definidos estos parámetros básicos a tener en cuenta en el proceso de diseño, se procederá a este mediante el uso de los softwares de diseño paramétrico, Rhinoceros y Grasshopper, que permitirán la implantación de estas variables en la fase de diseño. Una vez realizado, podrá comprobarse su efectividad y aplicación en las numeras posibles situaciones en las que se pueda corroborar la adaptabilidad del diseño a todo tipo de condiciones.

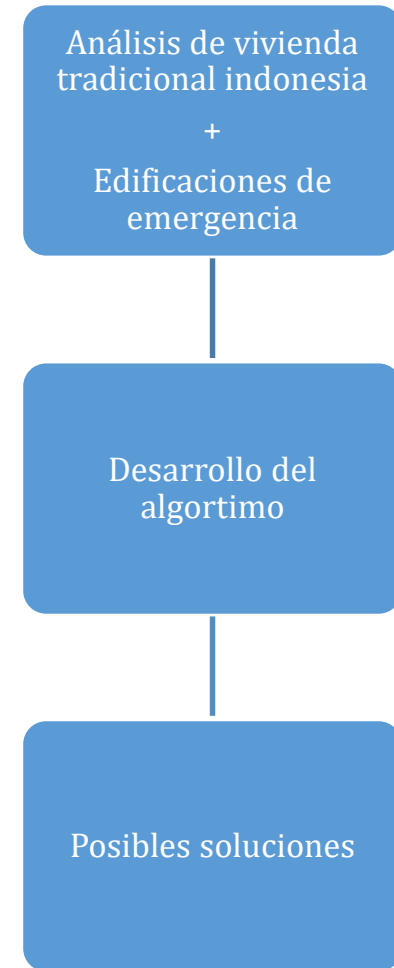


Figura 1.6. Esquema general del flujo de trabajo

INSTRUMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo de fin de grado se hará uso del siguiente instrumental o software informático:

RHINOCEROS

Desarrollado por la empresa McNeel & Associates, es un programa de modelado 3D (<https://www.rhino3d.com/es/>). Está basado en la tecnología NURBS (non-uniform rational b-splines), modelo matemático utilizado para la representación de curvas y superficies, que permite a los usuarios crear modelos y formas 3D complejos de manera precisa y eficiente. Rhinoceros es utilizado por profesionales en una variedad de industrias, incluido el diseño industrial, el diseño de productos, la arquitectura, la ingeniería, el diseño de joyas y la animación, entre otras. Ofrece una interfaz intuitiva y fácil de usar con una amplia gama de herramientas de visualización, análisis y modelado 3D. Además, es altamente personalizable y admite una amplia variedad de complementos, lo que lo convierte en una plataforma altamente adaptable y extensible que puede satisfacer las necesidades específicas de cada usuario (fig. 1.7).



Figura 1.7. Logotipo programa Rhinoceros

GRASSHOPPER

Es un plug-in desarrollado por McNeel & Associates basado en lenguaje de programación visual (<https://www.grasshopper3d.com/>). Es un programa de diseño paramétrico que funciona dentro de Rhinoceros, que permite a los usuarios crear formas complejas utilizando algoritmos y scripts. Grasshopper es un complemento para Rhinoceros que sirve como entorno de programación visual donde los usuarios pueden modificar elementos de diseño y conectarlos en un orden lógico para crear modelos 3D (fig. 1.8). Este ofrece una amplia gama de herramientas y plugins, convirtiéndolo así en una plataforma lo que la convierte en una plataforma con gran capacidad de adaptación al trabajo requerido por el usuario. Algunos de los plugins que se utilizarán dentro de Grasshopper son:

LADYBUG

Permite un análisis y estudio de las condiciones climáticas del ámbito en el que se aplique (<https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools>). Incluyendo diagramas como la trayectoria del sol, la rosa de los vientos, la carta psicométrica, etc., así como estudios de geometría como análisis de radiación, estudios de sombras y análisis de vistas (fig. 1.9).



Figura 1.8. Logotipo programa Grasshopper



Figura 1.9. Logotipo plugin Ladybug

KANGAROO

Permite la aplicación de condiciones físicas y la simulación interactiva con el modelo 3D (<https://www.food4rhino.com/en/app/kangaroo-physics>) (fig 1.10).

MARMOT

Permite crear gráficos que representan habitaciones, conexiones y áreas, pudiendo generar un diseño de plano a partir de un gráfico (<https://www.food4rhino.com/en/app/marmot>) (fig. 1.11).

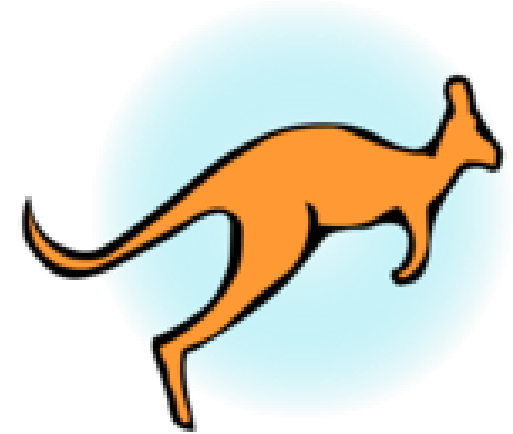


Figura 1.10. Logotipo plugin Kangaroo

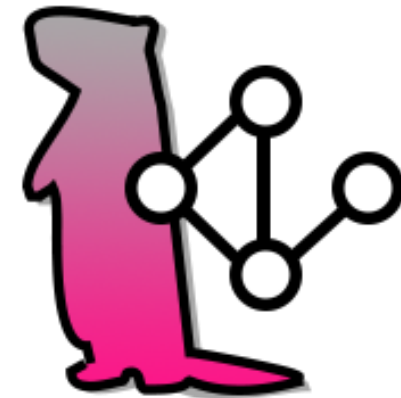


Figura 1.11. Logotipo plugin Marmot

2 CATÁSTROFES

En la actualidad, el número de catástrofes naturales aumenta debido a diversos factores, tanto naturales como humanos. Es de suma importancia cuando tratamos de desastres naturales, mencionar el cambio climático, ya que es este, uno de los factores primordiales al cual se le atribuye en gran medida el aumento de dichos desastres. El cambio climático alude a la variación de la temperatura y demás patrones climáticos que mantiene el planeta.

En este caso, dicho aumento de las temperaturas ha sido principalmente, resultado de la actividad humana y de las ingentes cantidades de gases de efecto invernadero que se han acumulado en la atmosfera. El continuo aumento poblacional y desarrollo excesivo y descontrolado de las ciudades es también un factor de suma importancia. Como consecuencia de los mencionados cambios en el planeta y de su variación en balance natural, han aparecido numeras catástrofes naturales, apareciendo cada vez con mayor frecuencia. Las principales calamidades a las que se enfrenta la humanidad son terremotos, tsunamis, huracanes, inundaciones, sequías y erupciones volcánicas entre otras. En la mayoría de los casos, estas situaciones se dan sin previo aviso, por lo que las consecuencias sobre las poblaciones afectadas son catastróficas, llegando a destruir todo a su paso (figs. 2.1 y 2.2).



Figura 2.1. Viviendas afectadas por riadas



Figura 2.2. Destrucción por erupción del Semeru

Frente a estos estados límite, se construyen como contramedida y apoyo a los afectados, construcciones de emergencia. Este tipo de edificación hace referencia a las construcciones caracterizadas por su rápida construcción que sirven como cobijo para las familias afectadas (fig. 2.3). Aunque pueda parecer que carecen de complejidad este tipo de construcciones, deben mantener unos estándares de salubridad y necesidades básicas, permitiendo así su correcto funcionamiento. Una de las características más importantes es su estructura y el diseño de esta. Puesto que son estados extremos de urgencia, el diseño y estructura suele ser simple, en ocasiones formadas por módulos que puedan responder rápidamente a ampliaciones y a un montaje sencillo. Las técnicas utilizadas para el ensamblaje o las fijaciones no requieren conocimientos en el ámbito de la construcción, permitiendo así la colaboración de un mayor número de personas, agilizando así el proceso. Los materiales usados suelen ser materiales ligeros que permiten ser transportados fácilmente, como paneles plásticos o metálicos, telas o, en el caso de que no sea posible el transporte de material desde otros territorios, materiales locales como madera, bambú, ladrillo etc.

A pesar de ser temporales, deben proporcionar un espacio seguro durante su uso, y es en numerosas ocasiones en las que, debido al lento proceso de reconstrucción de las zonas afectadas, estos refugios de emergencia son hospedados duramente meses en incluso años. Es por ello por lo que deben ser estructuras resistentes que puedan tolerar las condiciones adversas y los riesgos adicionales que surgen en estas situaciones. El aislamiento y la impermeabilidad son dos condiciones de máxima prioridad para que las instalaciones y espacios puedan ser habitables. Como toda construcción dedicada al hospedaje, se debe proporcionar a sus habitantes los espacios necesarios para poder cumplir las necesidades básicas, siendo estas un espacio para el descanso y la privacidad, espacio de aseo y la higiene per-



Figura 2.3. Ayuda humanitaria en Timor

sonas y espacio para cocinar y comer, además de un lugar donde poder mantener sus pertenencias esenciales seguras y almacenadas. Se debe atender también, en medida de lo posible, al acceso a los servicios básicos, como agua potable, electricidad y saneamiento, por lo que se suelen disponer de espacios o construcciones de menor tamaño para ello (fig. 2.4). Este último apartado mencionado es a uno de los que más atención se le debe prestar, ya que unas condiciones no adecuadas pueden agravar la situación con propagación de enfermedades.

Para el saneamiento, pueden crearse espacios letrinas donde se implementen tratamientos y sistemas de gestión de residuos para evitar su acumulación. Un suministro de agua potable siempre es necesario para evitar consumir agua contaminado en mal estado que pueda provocar infecciones y enfermedades. Para ello se proporcionarán espacios destinados al almacenamiento de agua y alimentos, como pueden ser silos o almacenes. Todas estas cuestiones o aspectos se detallan en la tabla 2.1.



Figura 2.4. Personas afectadas por terremoto.

Tabla 2.1. Características construcciones de emergencia

Construcción	Estructura modular	Tipo de construcción en la que los componentes o módulos individuales se prefabrican y luego se ensamblan para formar una estructura completa. Los módulos se fabrican con precisión en el taller y luego se transportan a su destino. La construcción modular ofrece ventajas como velocidad, mejor control de calidad, flexibilidad y sostenibilidad. Además, reduce el impacto en el sitio de construcción, permitiéndole adaptarse fácilmente a las necesidades cambiantes.
	Montaje sencillo	Característica que hace referencia a la facilidad con la que los componentes individuales pueden ensamblarse en una estructura completa. Como los módulos se fabrican con precisión en un entorno controlado, el proceso de ensamblaje se vuelve rápido y eficiente. Los módulos están diseñados para encajar perfectamente entre sí mediante un sistema de conexión estandarizado, lo que simplifica el proceso de montaje. Esta característica permite un montaje más rápido y sencillo que con los métodos de construcción tradicionales. Al reducir la complejidad del ensamblaje, esto permite una construcción más eficiente y minimiza los errores durante la instalación.
	Materiales autóctonos	Se refiere al uso de los recursos naturales disponibles localmente en la ubicación del edificio. Estos materiales se extraen en áreas geográficas cercanas, lo que reduce la necesidad de transporte de larga distancia y minimiza los impactos ambientales asociados. A través del uso de materiales autóctonos se fomenta la sustentabilidad, se apoyan las economías locales y se logra una mejor integración estética con el medio ambiente. El uso de materiales autóctonos en la construcción es una práctica sostenible que aporta beneficios ambientales, económicos, además producir una considerable mejora en la rapidez de actuación ya que se evita el transporte desde otros lugares.

	Materiales transportables	Son aquellos que se pueden mover y transportar de manera cómoda y eficiente. Estos materiales son livianos, compactos o desmontables, por lo que se pueden mover fácilmente a largas distancias o en áreas de difícil acceso. Su principal ventaja es la capacidad de simplificar la logística y reducir los costos de envío. Mediante el uso de materiales fácilmente transportables en la construcción, se puede lograr una mayor movilidad, versatilidad y velocidad durante la construcción. Estos materiales son ideales para proyectos temporales, remotos o que requieren una construcción flexible y adaptable para adaptarse a diferentes ubicaciones. Algunos ejemplos de materiales que son fáciles de transportar incluyen paneles livianos, estructuras modulares desmontables y componentes prefabricados. Su uso permite una construcción eficiente y versátil, maximizando los beneficios en términos de tiempo.
Espacial	Ampliable	Se refiere a la capacidad de expandirse o escalar según sea necesario. Esta característica permite que la estructura se adapte a los cambios en los requisitos de espacio, ya sea por una mayor capacidad, nuevas funciones o la necesidad de alojar a más personas. La ampliabilidad espacial se logra implementando un diseño flexible que permite agregar o quitar componentes, módulos o partes de la estructura de manera eficiente. Esta flexibilidad permite que la estructura se adapte a las necesidades cambiantes sin una reconstrucción completa, permitiendo así, que la estructura puede adaptarse a cambios futuros y optimizar el uso del espacio disponible.
	Silos y almacenes	Las características de los silos y almacenes se refieren a la capacidad de las estructuras para almacenar y conservar diferentes tipos de materiales y productos de forma segura y organizada. Los silos y almacenes son espacios especialmente diseñados para almacenar y proteger productos básicos, alimentos, granos, productos químicos y otros artículos. Estas estructuras aseguran que sus artículos almacenados estén protegidos de las influencias ambientales adversas, como la humedad, la luz solar y las plagas. Además, el inventario es más fácil de administrar y controlar.

Función	Ventilación natural	Esta característica hace referencia a la capacidad de una estructura para permitir la libre circulación de aire fresco de manera natural, sin necesidad de ventilación mecánica, promoviendo la sostenibilidad al aprovechar los recursos naturales disponibles. Es una característica de gran importancia debido a la capacidad de purgar el aire contaminado y reducir los niveles de contaminación del aire interior, controlando a su misma vez la temperatura y los niveles de humedad. La ventilación natural se puede lograr con la apertura estratégica de huecos o aberturas que faciliten el flujo del aire y favorezcan la diferencia de presiones para lograr una ventilación cruzada.
	Funciones básicas	Esta característica hace referencia a capacidades esenciales que debe cumplir una estructura para poder cumplir sus propósitos fundamentales. Algunas de funciones básicas que un refugio temporal ha de tener, son la necesidad de un espacio seguro, que pueda resistir las condiciones adversas del clima y de la situación. A su misma vez, se deben proporcionar los espacios adecuados para dormitorios, baños y cocinas, además de espacios comunitarios y de reunión como comedores salones y espacios para actividades sociales.
Servicio	Servicios básicos	Este servicio básico es fundamental para cubrir las necesidades básicas de las personas afectadas y garantizar su salud. Estos servicios incluyen agua potable, saneamiento, energía, alimentación, salud y telecomunicaciones. Los suministros de agua potable y los sistemas de saneamiento adecuados previenen enfermedades y promueven la higiene. La energía asegura la iluminación, la calefacción y la carga de los dispositivos. Los comestibles aseguran una nutrición adecuada para quienes se

3 VIVIENDA DE INDONESIA

La arquitectura vernácula de Indonesia es un ejemplo excepcional de cómo la arquitectura se adapta a las condiciones climáticas, culturales y sociales de un lugar. El archipiélago, compuesto por una gran cantidad de islas, resulta en una gran diversidad étnica, cultural y religiosa en todo el país. La vivienda tradicional de Indonesia refleja esta diversidad y es una muestra de la capacidad de la arquitectura para adaptarse a diferentes contextos. Esta se caracteriza por el uso de materiales naturales como la madera, la piedra, el bambú, la paja y la arcilla, y por la utilización de técnicas de construcción locales. A pesar de que en todo Indonesia se pueden agrupar unos patrones comunes en lo que a la arquitectura tradicional se refiere, cada región tiene su propio estilo, influenciado por su cultura, religión y entorno natural. Entre las diferentes regiones, se puede destacar la de Bali, Java, Sumatra y Sulawesi, siendo estas las islas de mayor importancia (fig. 3.1).

La arquitectura de Java, Bali y Sumatra son uno de los ejemplos más representativos de la arquitectura vernácula de Indonesia. En la isla de Java se refleja la diversidad cultural ya que se encuentra influenciada por el hinduismo, el budismo, el islam y la colonización europea por lo que en su arquitectura se puede observar templos hindúes y budistas, palacios,



Figura 3.1. Mapa Indonesia

y casas tradicionales. Dentro de la amplia variedad arquitectónica de Java se pueden distinguir 5 grandes grupos de estilos de vivienda tradicional, *panggung pe*, *kampung*, *limasan*, *joglo* y *tajug* (fig. 3.2).

Son de gran importancia también las llamadas *kraton*. Estas casas se caracterizan por su elaborado diseño, que incorpora elementos como patios interiores, escaleras talladas y detalles decorativos en madera y piedra. Aunque son ampliamente conocidas no se conoce su procedencia ni orden en el tiempo, aunque la teoría más aceptada es que la Tajug fue la primera en aparecer y a partir de la cual se desarrollaron las restantes.

Los templos hindúes y budistas de Java son famosos por su complejidad y belleza, un ejemplo de ello pueden ser los templos de Borobudur y Sewu, que datan de los siglos VIII y IX y son Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO (figs. 3.3 y 3.4). Estos templos se construyen con piedra y ladrillo, y están decorados con intrincados grabados y esculturas. Se caracteriza por el uso de materiales naturales como la madera, la piedra y la paja, y por la utilización de una técnica de construcción llamada *system kerangka*. Esta técnica utiliza un sistema de postes y vigas. Las casas de *joglo* tienen un diseño distintivo con techos altos y amplios, y están construidas con madera y bambú. Los techos de las viviendas están contruidos con un sistema de vigas y paneles, que crean un efecto visual y espacial que proporciona gran sensación de amplitud en el interior de la casa.

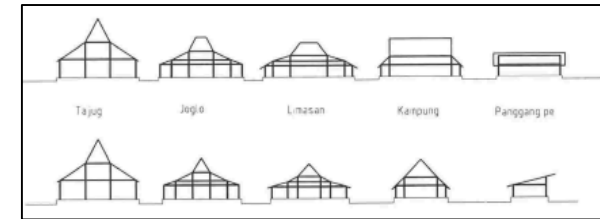


Figura 3.2. Las cinco formas principales



Figura 3.3. Templo Borobudur

8



Figura 3.4. Templo Sewu

Es destacable de la arquitectura tradicional de Bali, las viviendas tradicionales como las casas de arroz, las cuales están construidas con madera y bambú, y tienen techos de paja. Los techos altos permiten la circulación del aire fresco en el interior, lo que es esencial en el clima tropical. La forma de la cubierta tiene un papel tanto estético como funcional, utilizando como respuesta a las condiciones climáticas como la radiación solar, el viento, la lluvia etc. Comúnmente tienen prolongaciones en voladizo que sirven para repeler la humedad y alejarla de los muros. Para edificaciones con carácter residencial es frecuente los tipos *kampung*, *limasan* y *joglo* (figs. 3.5 y 3.6).

En cuanto a la estructura, las viviendas javanesas constan de gran simplicidad debido a la forma rectangular común de la vivienda. A pesar de ello, su estructura es única, constando de marco y estructuras de muros de carga. La parte de la cubierta consta únicamente de un marco llamado *tumpang sari* (fig. 3.7), que minimiza los obstáculos internos permitiendo una libre circulación del movimiento del aire. Los muros de carga, sin embargo, son de gran espesor y encierran fuertemente la vivienda.

A pesar de la simplicidad de los marcos de carga y de los muros, las paredes constan de gran complicidad ornamental, cargando un gran significado espiritual. Las aberturas son de pequeñas dimensiones y sus marcos son generalmente de madera. La madera utilizada en la estructura es la madera de teca y de jackfruit gracias a su gran resistencia y flexibilidad. En lo referido al sistema de orientación, se dice que las viviendas se encuentran dispuestas según su posición relativa respecto al palacio de Sulta, indicando así un gesto de reverencia a este, por lo que las viviendas suelen estar orientadas de norte a sur o al revés y como consecuencia las calles se adaptan a estas disposiciones particulares (Satwiko 1999).



Figura 3.5. Casas kampung



Figura 3.6. Casas joglo



Figura 3.7. Tumpang sari

Estas viviendas son una muestra de cómo la arquitectura se adapta a la vida y a las necesidades de las familias locales además de contrarrestar las adversas condiciones climáticas (Baliprefabworld s. f.). En el interior de las viviendas de Bali y Java se encuentra estructurado con una concepción distinta del espacio y sus usos, permitiendo un espacio abierto y multiuso, donde no son necesarias particiones para mantener la privacidad, a diferencia de la cultura occidental, en el que cada espacio tiene su función (Sitinjak 2020). Es destacable de la arquitectura tradicional de Indonesia, en concreto de Sumatra, su característico tipo de edificación, las casas *tongkonan*, las cuales sirven como lugar de almacenamiento de grano de arroz o en el caso de las de mayores dimensiones, como vivienda, llamadas casas *toraja* y que como se ha mencionado anteriormente, hacen referencia los grandes cuernos de los búfalos de agua, verificando así la importancia de lo sagrado en su cultura (fig. 3.8).

La edificación tradicional es característica por su balance visual y simetría. Los ornamentos gozan de gran importancia, las viviendas balinesas y generalmente en Indonesia, carecen de una forma compleja y suelen mantener un perfil simple, rectangular o cuadrado y de dimensiones reducidas, por lo que son manejados de manera que provoquen una sensación de mayor complejidad y estatus, cubriendo frecuentemente en templos la totalidad de la superficie de estos. Se podría decir que el ornamento y la decoración en la cultura indonesia es una forma de respetar a lo natural, tomando sus formas orgánicas, como la de animales, vegetación etc. La forma de estas decoraciones origina una fuerte impresión, usando materiales más pesados, como la piedra para las situadas en las zonas bajas, mientras que en las franjas superiores se utilizan materiales más livianos y pequeños que producen esta sensación de ligereza y elegancia (figs. 3.9 y 3.10). Los ornamentos pueden variar dependiendo de las regiones, ya que estos también se utilizan como método de representación de la etnia



Figura 3.8. Casas toraja



Figura 3.9. Ornamento vivienda

o cultura, siendo algunos más afilados, dinámicos y orgánicos y otros más pesados, con formas florales para hacer ver más rígida y estable la edificación (Siwalatri 2012).

En resumen, la arquitectura vernácula de Indonesia es un ejemplo excepcional de cómo la arquitectura se adapta a las condiciones climáticas, culturales y sociales de un lugar. Cada región de Indonesia tiene su propio estilo de arquitectura vernácula, influenciado por su cultura, religión y entorno natural. A lo largo de la historia de las islas, la arquitectura rural de cabañas no ha experimentado grandes cambios (tabla 3.1).

El diseño de estas varía dependiendo la región en la que se encuentren ubicadas, aunque suelen seguir unos parámetros comunes, como la cubierta inclinada de paja o la elevación sobre el suelo con propósito de alejarse de la humedad común del terreno en áreas tropicales o incluso las bajas aguas sobre las cuales se ubican esporádicamente, además de ser en gran medida una protección contra las frecuentes inundaciones que azotan la zona. Este espacio es en ocasiones utilizado como almacenaje o inclusive para uso ganadero. Los materiales naturales como la madera, el bambú, la piedra, la paja y la arcilla son ampliamente utilizados en la construcción, y las técnicas de construcción locales se utilizan para crear edificios que se adaptan a las condiciones climáticas locales. La arquitectura vernácula de Indonesia es un perfecto ejemplo de cómo la arquitectura puede armonizar un buen diseño junto con sostenibilidad y funcionalidad al mismo tiempo (Harries & Sharma 2019).



Figura 3.10. Ornamento casa toraja

Como se ha mencionado, las viviendas indonesias comparten muchas similitudes y características propias a pesar de su gran diversidad étnica y cultural. Sin embargo, es posible apreciar algunas peculiaridades basadas en sus habitantes permitiéndoles adaptarse de mejor manera a su estilo de vida y actividades que desarrollan, obviando las singularidades a causa de la situación geográfica, etnia etc. Haciendo referencia al estudio e investigación a desarrollar, diferenciaremos tres grupos principales que predominan sobre el resto, compuesto por ganaderos, pescadores y agricultores (tabla 3.2).

En lo referente al primer grupo, su vida se basa en el cuidado de su ganado y producción de este, generalmente compuesto por vacas, cabras o búfalos de agua, mencionados anteriormente debido a su importancia cultural en las islas indonesias. Como resultado de ello, las viviendas han sido adaptadas para suplir las necesidades del ganado y de su cuidado. Una de las principales características es la incorporación en el diseño de una zona de corral o establo, además de zonas de almacenamiento, como cobertizos, tanto para almacenar utensilios como para alimento necesario para su manutención. Es común y favorable, que las viviendas posean un área extensa sobre la que el ganado pueda pastar y moverse libremente. El número de cabezas de ganado puede variar ampliamente dependiendo del tamaño de la finca, economía o ubicación entre otros factores, sin embargo, en lo destinado al consumo propio y comercios pequeños, el número de cabezas de ganado no suele superar las varias decenas (fig. 3.11).



Figura 3.11. Casa ganadera

Tratando sobre el grupo de pescadores, la principal característica de este tipo de viviendas es su cercanía costera, por lo que han sido diseñadas para poder adaptarse a las adversidades provocadas por su delicada situación frente a las posibles subidas de marea e inundaciones. Como medida ante ello, la mayoría de dichas viviendas se encuentran sobre pilotes que las separan del medio marítimo, además de tratar con materiales resistentes a la humedad, como puede ser el bambú. Tomando ventaja de la ubicación en la que se encuentran, las viviendas de pescadores toman un diseño abierto, en el que se aprovecha la corriente y brisa marina para provocar una ventilación natural ventajosa ante el duro clima tropical. Al igual que las viviendas ganaderas necesitan sus espacios destinados a los corrales y cobertizos, las edificaciones pesqueras proporcionan un espacio destinado al almacenamiento del material de pesca y de botes para así poderlos mantener en un estado óptimo. Es también de gran importancia, un espacio específico para el tratamiento del pescado, el cual se realiza de forma tradicional manualmente. Es común de las viviendas pesqueras que en exterior se encuentre una zona donde trabajar con la pesca, ya sea en el proceso de preparado o limpieza como en el proceso de secado, en el que la pesca es colgada al sol untada con una mezcla de sal que ayuda con las enfermedades e insectos (fig. 3.12).



Figura 3.12. Casa pescadores

En cuanto al último grupo, las viviendas de los agricultores mantienen mayor similitud con las ganaderas, ya que necesitan de un gran terreno, en este caso, para mantener sus cultivos y plantaciones protegidas y con los cuidados necesarios. Como es lógico, necesitan espacios destinados al almacenamiento de materiales y maquinaria agrícola, además de silos o cobertizos que puedan almacenar las numerosas semillas y cultivos recolectados a salvo de la intemperie (fig. 3.13). A modo de resumen, en la siguiente tabla se pueden distinguir las diferentes características necesarias según el estilo de vida de los usuarios.



Figura 3.13. Casas agricultores

Tabla 3.1. Características generales vivienda

Espacios abiertos	Como característica común de la vivienda tradicional Indonesia, muchas viviendas están diseñadas con espacios abiertos, ya sean patios exteriores o interiores. Estos suelen ser lugares de reunión donde se celebran eventos sociales como reuniones o festividades.
Eje central de reunión	Las casas de estilo tradicional indonesio se distribuyen con frecuencia alrededor de una habitación principal o espacio de reunión. Alrededor de dicho eje, se encuentran se disponen las habitaciones para los usos previstos, como dormitorios, salas de almacenaje, salas de estar y cocina. Esta zona central a través de la cual se organiza el espacio, es la principal zona de reuniones familiares y actividades sociales.
Diseño y materiales naturales	Las viviendas tradicionales tienen en su gran mayoría un diseño con similitudes, con cubiertas de gran altura e inclinación que permiten la circulación y el flujo del aire, además de repeler las lluvias torrenciales. Los principales materiales de construcción son el bambú y la madera, los cuales se pueden encontrar fácilmente en la zona con un valor económico reducido.
Ornamentación	Es tradición que las viviendas posean numerosas decoraciones. Estas se pueden apreciar en las columnas, talladas a mano, o en distintas zonas comunes de la vivienda, proporcionando así un ambiente relajado y agradable. En ocasiones se decoran con elementos naturales, vegetación y estatuas artesanales. También es común el uso de estas en los elementos estructurales como pilares y soportes estructurales.

Plataformas elevadas	Es una característica que presentan numerosas viviendas, una zona elevada de descanso al aire libre para disfrutar la brisa y de la naturaleza. El uso de estas plataformas es también debido al clima y al constante ambiente húmedo, que resulta perjudicial para la estructura.
Organización	Aunque no se da en todos los casos, en las zonas más rurales, se puede encontrar un espacio de dormitorio en el que descansan todos los familiares, fomentando así la convivencia y la cultura de la unidad y de los valores de la familia. En el mismo caso de zonas rurales, se pueden encontrar pequeñas edificaciones apartadas que sirven como aseo para una o más familias. En cualquier caso, numerosas familias han adoptado un estilo de vida más similar al europeo, en el que los dormitorios se encuentran separados y los baños son interiores y privados.

Tabla 3.2. Especificaciones de usuarios				
Características	Explicación	Ganadería	Pescadería	Agricultura
Elevación de los pilotes	La vivienda se encuentra elevada por pilotes que separan del medio marítimo y de la humedad, protegiendo a la vivienda de las mareas y las condiciones adversas.	X	X	V
Espacio de almacenaje material	Es común la creación de un espacio para almacenar el material con el que se trabaja. Puede ser una estancia interior, o en el caso de que la vivienda se encuentre elevada, suele utilizarse dicha elevación para ello.	V	V	V
Extensión de terreno	Prolongación del terreno natural que ha sido cercada con la finalidad de utilizarlo a modo de plantación y cultivo o como lugar de pasto para el ganado.	V	X	V
Corral o establo	Espacios exteriores ajenos a la vivienda donde se da cobijo al ganado.	V	X	X

Protección frente al agua	En los casos en los que la vivienda se encuentra en zona costera o de río, los materiales son impermeables para evitar la corrosión de estos, como es el bambú o la madera tratada.	X	V	X
Espacio para labor artesanal	Espacio dedicado a las actividades laborales asociadas al estilo de vida de los usuarios.	V	V	V
Silo de almacenaje	Estructura dedicadas al almacenaje de y conserva de diferentes productos básicos, como grano y alimentos de forma segura y organizada.	V	X	V

4 DESARROLLO DEL ALGORITMO

PARÁMETROS

Una vez han sido analizadas las necesidades y características que el diseño de una edificación de emergencia ha de tener, la podemos comparar con los diferentes tipos de vivienda tradicional indonesia según los tres grupos que se han analizado. Gracias a los cuadros comparativos anteriores podemos obtener unos parámetros que nos permitan obtener de la arquitectura vernácula, los aspectos constructivos y diseños que mejor adaptabilidad proporcionan, ya que la arquitectura vernácula o tradicional es el resultado de continuos años de experimentación que han dado como resultado un estilo de vivienda capaz de acoplarse a la perfección al característico entorno de las islas. Del estudio realizado de las edificaciones de emergencia obtendremos los aspectos clave del diseño que proporcionen un entorno seguro, con la capacidad de albergar en unas condiciones adecuadas a un número variable de afectados. De ambas tablas y del previo estudio de catástrofes, los posibles parámetros a incluir serían: Catástrofe, número de personas, ubicación y usuarios

DISEÑO EN GRASSHOPPER

El diseño en Grasshopper contará con un número de parámetros de primer orden, los cuales han sido mencionados en el apartado anterior. De ellos, se obtendrán a su vez nuevos factores que desarrollen completamente el algoritmo automatizado que proporcionará en su salida la solución más adecuada teniendo en cuenta la totalidad de los datos introducidos. La variación de estos datos provocará que, mediante la conexión de todos los elementos, una solución instantánea.

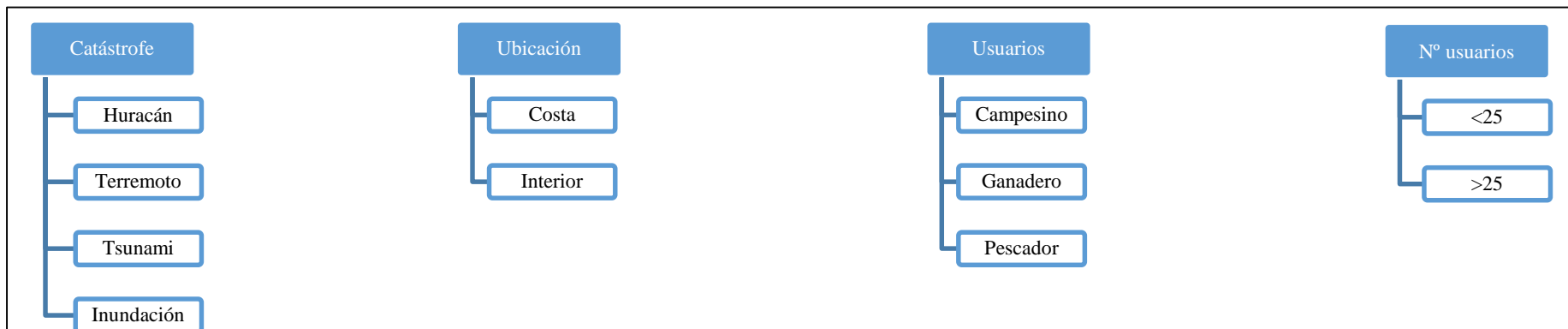


Figura 4.1. Esquema general de parámetros iniciales

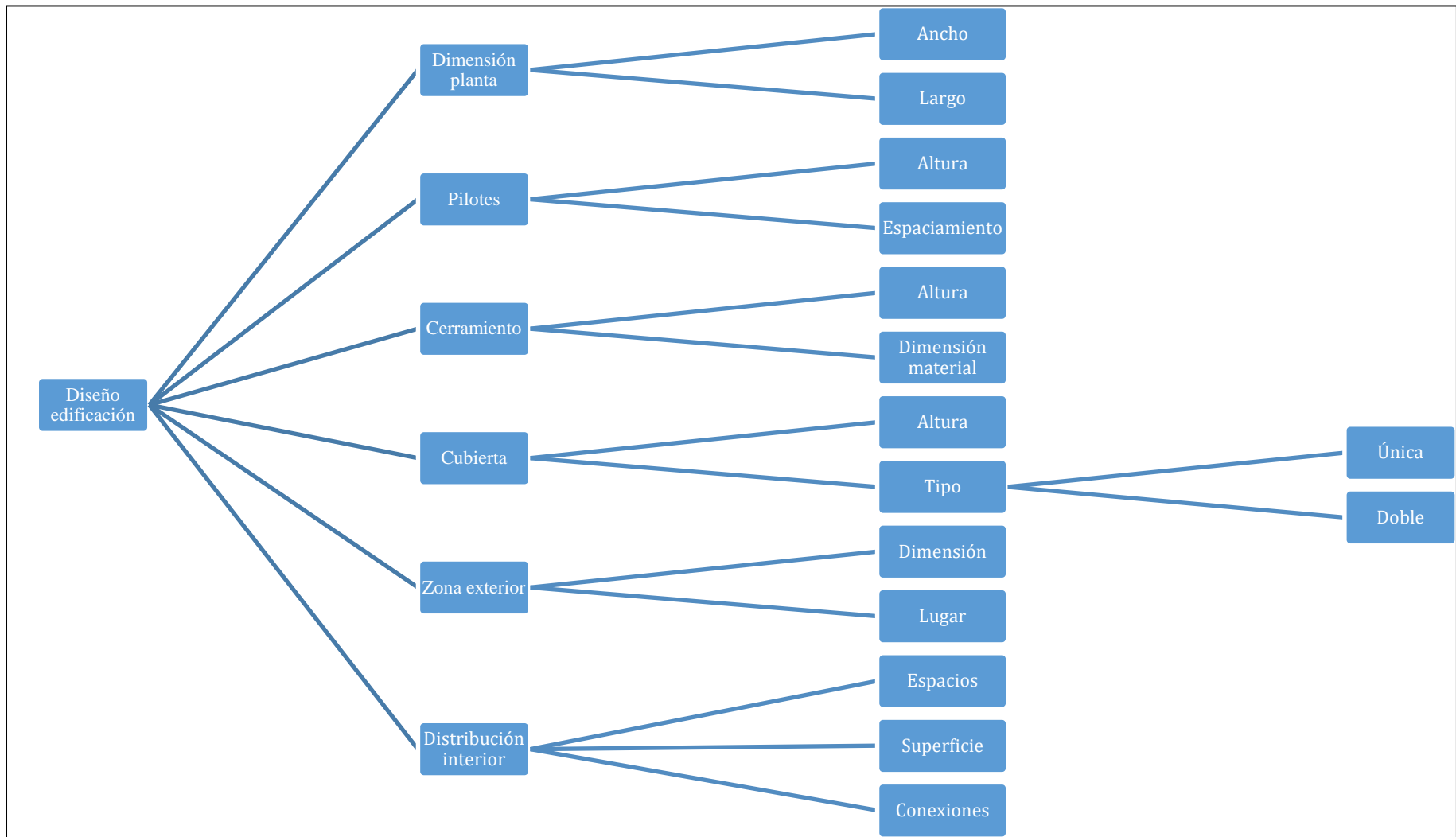


Figura 4.2. Esquema funcionamiento del algoritmo

En este caso, los datos que se proporcionen a estos parámetros serán los más relevantes de la edificación, sin embargo, un amplio número de datos pueden ser ajustados para una opción más personalizada. Son parámetros de segundo y tercer orden los que proporcionan unos cambios a menor nivel, como puede ser la altura de los elementos, el tipo de material utilizado, la distribución interior etc. El siguiente gráfico representa de una manera sencilla estas opciones relacionadas con el diseño de la edificación.

APLICACIONES DEL MODELO

Una vez completado el algoritmo, este tiene la capacidad de poder adaptarse a las distintas circunstancias que se dan en este tipo de situaciones a través de una serie de *inputs* o colectores de datos que permiten un control rápido y simple de este. La adaptabilidad del modelo comprende variables de gran importancia como el número de personas que han resultado afectadas, para así poder crear automáticamente un espacio con las dimensiones acorde a las necesidades de los afectados, pudiendo resultar en la creación de otra edificación si el número de afectados supera el máximo que puede albergar una de ellas. Otro parámetro o *input* de gran importancia es de la situación en la que se ubicará la edificación de emergencia, ya que es de gran consideración si se encuentra en una montañosa o si en cambio, se encuentra en costa y se necesitan pilotes que la eleven y separen del agua y de los problemas que conlleva la humedad en las estructuras.

ALGORITMO

El funcionamiento del algoritmo se basa en las conexiones entre los distintos componentes que lo componen. A pesar de que se pueden diferenciar numerosas agrupaciones, estas se encuentran conectadas entre sí para un funcionamiento conjunto y sincronizado. Mediante los inputs principales el diseño obtiene la información, procesándola a través del cuerpo, proporcionando finalmente un output que almacena la geometría final (fig. 4.3).

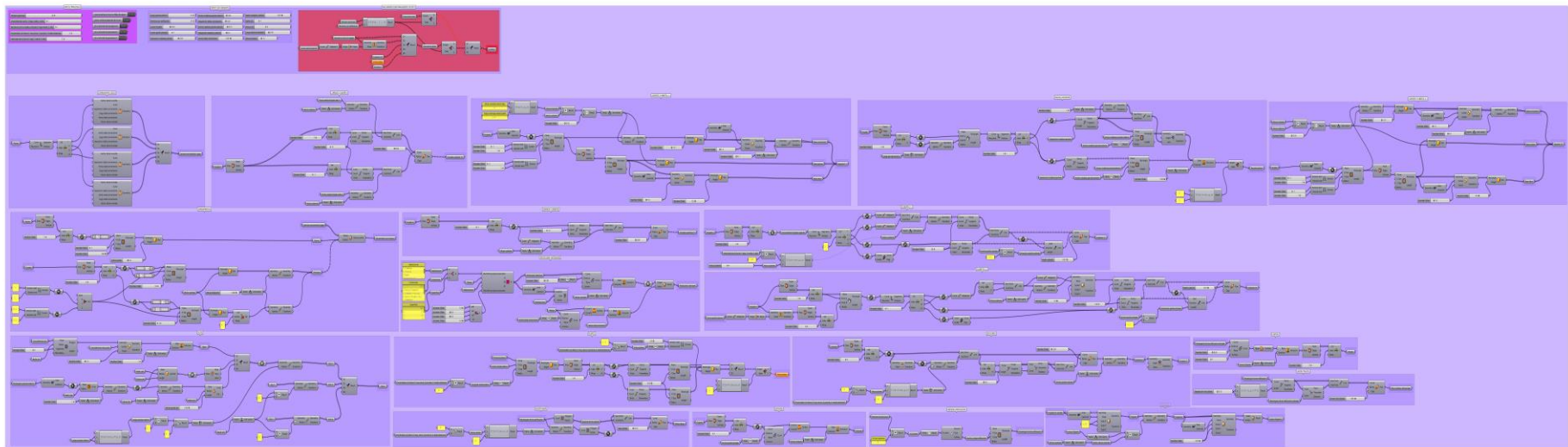


Figura 4.3. Algoritmo completo

INPUTS PRINCIPALES

Este grupo es la parte inicial del algoritmo, desde el cual se controlan todos los inputs principales (fig. 4.4). A través de los *sliders* o deslizadoras se pueden ajustar las medidas de los parámetros y mediante los *botones* se pueden activar o desactivar las distintas opciones para proporcionar un modelo acorde a la situación.

The image shows a user interface titled "INPUTS PRINCIPALES" with a light purple background. It contains two columns of controls:

- Left Column (Buttons):**
 - ¿Se encuentra en zona con flujo de agua? **True**
 - ¿Altura cubierta depende de lluvia? **True**
 - ¿Es una familia de campesinos? **True**
 - ¿Es una familia de pescadores? **True**
 - ¿Es una familia de ganaderos? **False**
- Right Column (Sliders):**
 - Número personas: 26
 - Intensidad del viento (1 bajo-medio, 2 alto): 1
 - Resistencia de la madera utilizada (1 baja-media, 2 alta): 2
 - Proximidad a la ribera (1 muy cerca, 2 proxima, 3 media distancia): 2
 - Intensidad de la lluvia (1 baja, 2 media, 3 alta): 1

Figura 4.4. Inputs principales

Es a través del grupo principal que se pueden controlar el número de personas que habitarán en la edificación, calculando asimismo el algoritmo si es necesario un módulo de edificación individual o doble. Con el uso de los *botones* se puede determinar qué tipo de usuario es el que se refugiará, teniendo cada uno de ellos sus peculiaridades, como, por ejemplo, la vivienda ganadera debe tener un área para el cuidado y refugio del ganado, los pescadores una zona de embarcadero o puerto para anclar sus botes y materiales de pesca y por ultimo

las familias ganaderas han de tener un terreno de cultivo. Asimismo, se puede establecer con el *botón* si la edificación se encuentra en la costa, ya que en caso contrario no sería estrictamente necesario elevarse del terreno y usar escaleras. En las deslizaderas es posible variar la intensidad del viento, lo que provocará una altura de edificación menor a más intensidad de viento, reduciendo a su misma vez las proporciones de huecos en los cerramientos. La resistencia de la madera o material utilizado determinará la cantidad de material a usar en los soportes. La deslizadera de proximidad a la ribera modificará la altura de elevación de la vivienda, para así separarla del agua, además de variar la longitud del embarcadero en función de cuantos metros se necesitan para alcanzar la costa. Por último, la intensidad de la lluvia varía la inclinación de la cubierta, pudiendo desactivarse este *slider* para mantener una altura determinada fija.

INPUTS SECUNDARIOS

En este cuadro (fig. 4.5) se pueden modificar algunos parámetros secundarios que se encuentran automatizados en el diseño, pero cabe la posibilidad de que sean manipulados manualmente en caso de que el modelo lo requiera. Son aspectos que no influyen notablemente en la función final del *output* pero si provocan una variación en detalles como las medidas de los silos, de la parcela, el grosor del forjado, la separación de las tablas de madera y de los bambús de cubierta etc.

The image shows a software interface titled "INPUTS SECUNDARIOS" with a light purple background. It contains 15 adjustable parameters arranged in a grid. Each parameter is represented by a grey button with a label, a slider, and a numerical value. The parameters and their values are:

Parameter	Value
Largo parcela exterior	10
Grosor maderas parcela exterior	0.06
Radio maderas cubierta	0.07
Personas por edificación	25
Separación tablas cerramiento	0.20
Radio silo	1
Grosor forjado	0.20
Ancho maderas parcela exterior	0.15
Altura silo	3
Ancho pasillo entrada	1
Separación maderas cubierta	0.2
Largo tabla cerramiento	0.18
Separacion maderas parcela	0.20
Ancho tabla cerramiento	0.05
Altura ventana	1.2

Figura 4.5. Inputs secundarios

MEDIDAS EDIFICACIÓN

Mediante la conexión del número de personas, se determinan los metros cuadrados totales en base a lo necesario por cada usuario. Con este número de metros cuadrados se obtiene una curva cuadrada que será la forma de la edificación (fig. 4.6)

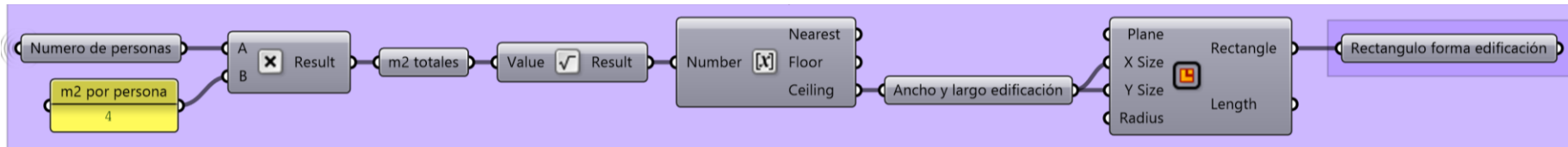


Figura 4.6. Medidas de la edificación

PLANTA

Con la forma de la planta obtenida, se realiza un desfase y se le da grosor para tener como resultado el forjado. Mediante una lista de superficies del forjado obtenemos la superficie de la planta, que se utilizará posteriormente para las particiones interiores (fig. 4.7).

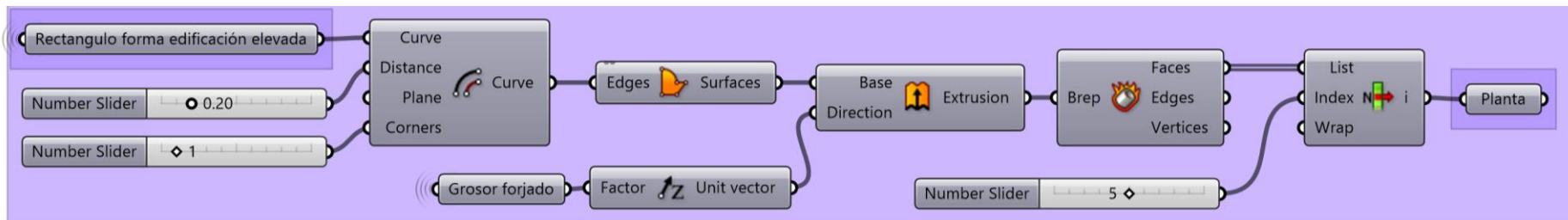


Figura 4.7. Dimensiones de planta

PARTICIONES INTERIORES

Para esta parte del modelo se ha hecho uso del plug-in *marmot*, el cual se encarga de generar las particiones interiores. Para su funcionamiento es necesario crear tres listas, una de las estancias, otra de sus superficies y, por último, una de las conexiones entre estas. Junto con la superficie de la planta obtenida en el apartado anterior, este genera una distribución interior con las condiciones expresas en las listas ya mencionadas, pudiendo realizar diferentes variaciones si es necesario (fig. 4.8).

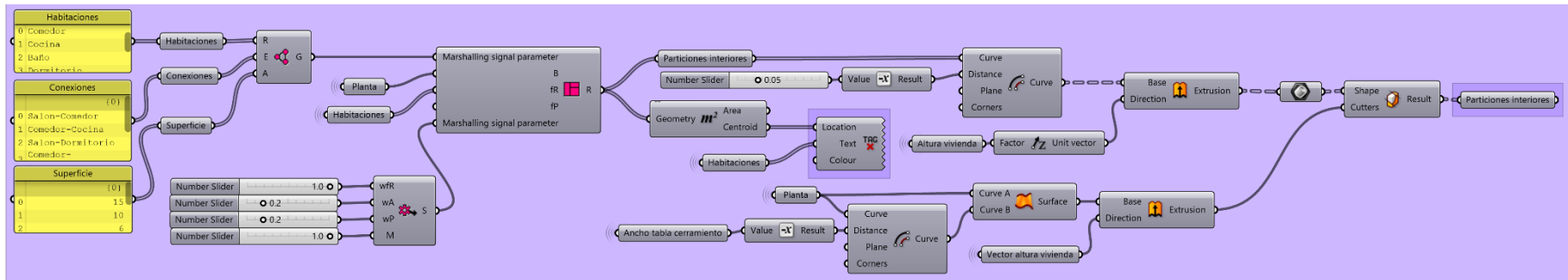


Figura 4.8. Particiones interiores

FORJADOS

Para los forjados (fig. 4.10), se ha utilizado el forjado obtenido anteriormente en el apartado de planta, el cual, escalándolo se consigue un soporte sobre el que apoyar los cerramientos sin que estos se encuentren enrasados al borde. Para el segundo forjado se ha copiado el primero y se ha elevado una distancia igual a la suma de la altura de la vivienda más el primer forjado. El forjado superior debe permitir la circulación de aire entre las estancias y la cubierta, por lo que se recorta y se obtiene la parte exterior de este, donde apoyará la cubierta y sus cerramientos laterales (fig. 4.9).

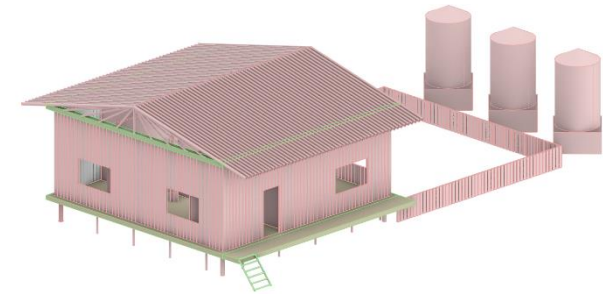


Figura 4.9. Forjados, entrada y escaleras en vista 3D

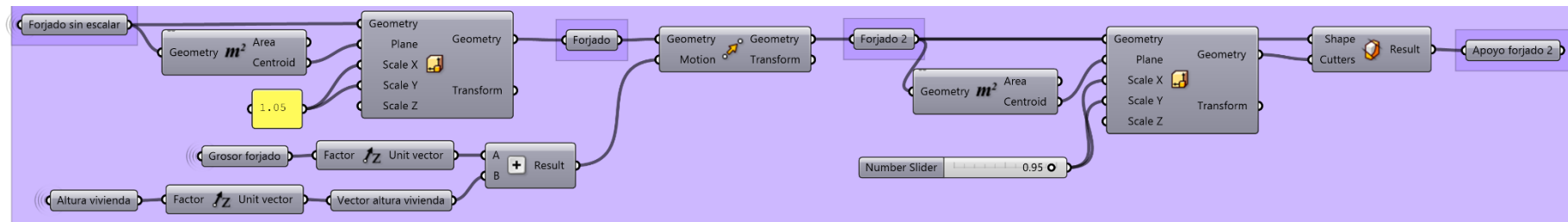


Figura 4.10. Forjados

ENTRADA

Para el pasillo de entrada (fig.4.11), de la geometría del forjado se ha obtenido mediante una lista una curva. Mediante un desfase se consigue extrudir la curva, creando entre estas dos una superficie, que extruida con el grosor del forjado, se acopla perfectamente a este.

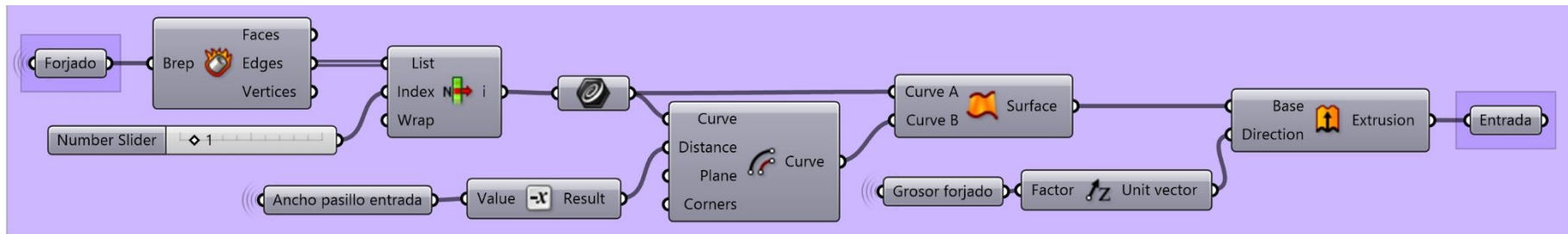
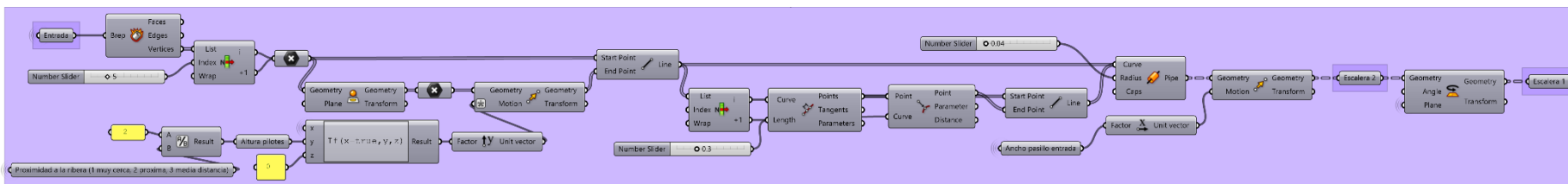


Figura 4.11. Entrada

ESCALERAS

Las escaleras se han creado a partir de los vértices del pasillo. Se han proyectado dos puntos, moviéndose en el eje x para conseguir la inclinación determinada. Estos puntos se han unido entre sí creando cilindros, divididos cada 30cm para los escalones (fig. 4.12).



CERRAMIENTOS

Para los cerramientos se ha hecho uso de la planta, la cual ha sido separada en sus 4 segmentos. Para que el algoritmo sea más sencillo de entender se ha hecho uso de los *cluster*, componente que son utilizados para almacenar parte del algoritmo en un solo componente con sus respectivos *inputs* y *outputs*. Cada uno de los segmentos se ha introducido en estos *cluster*, obteniendo así los cerramientos ciegos compuestos por madera (fig. 4.13).

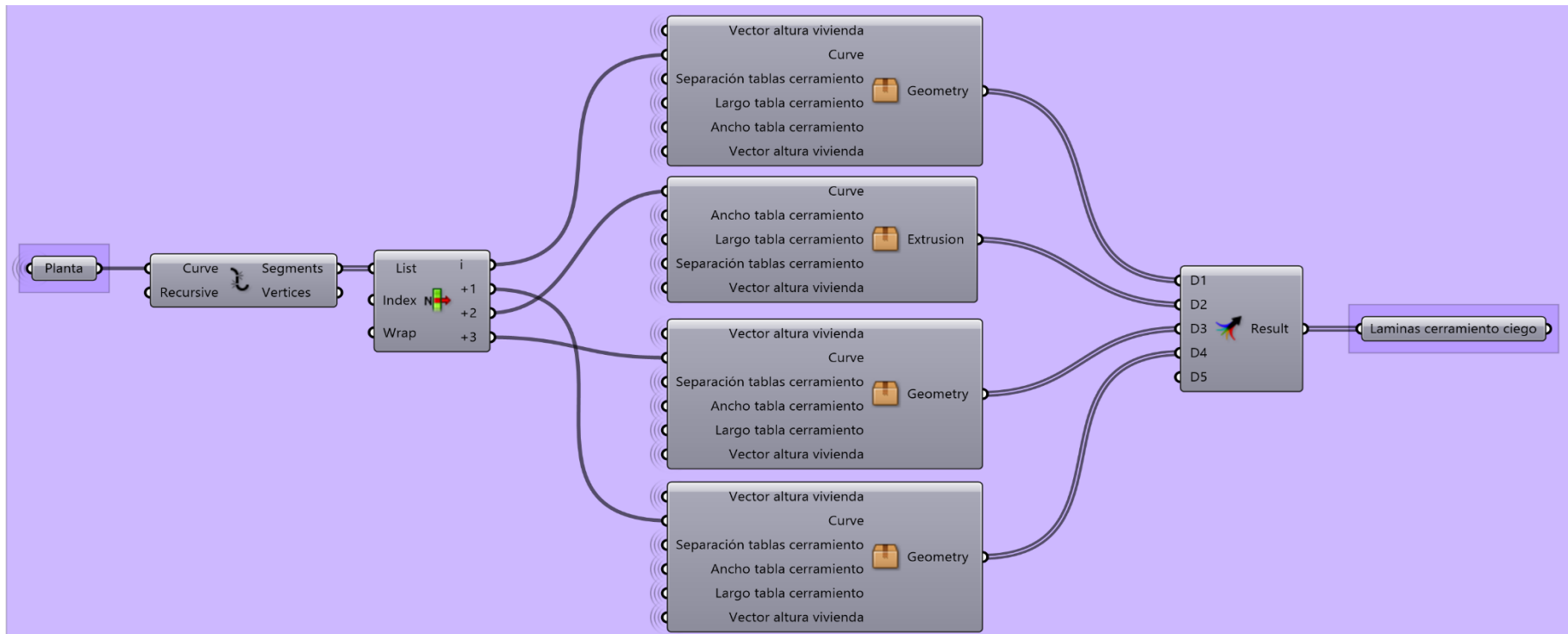


Figura 4.13. Cerramientos

En el interior del cluster (fig. 4.15) se divide cada una de los segmentos en numerosos rectángulos definidos por los inputs secundarios en los que se deciden las dimensiones de las tablas de madera, estruyendo estos rectángulos hasta alcanzar el forjado superior. Cada uno de ellos contiene un contenido similar variando únicamente los ejes de los rectángulos que se extrudirán para que todos formen el cerramiento de la manera correcta (4.14).

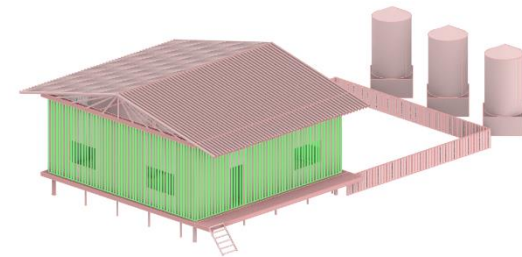


Figura 4.14. Cerramiento ciego en vista 3D

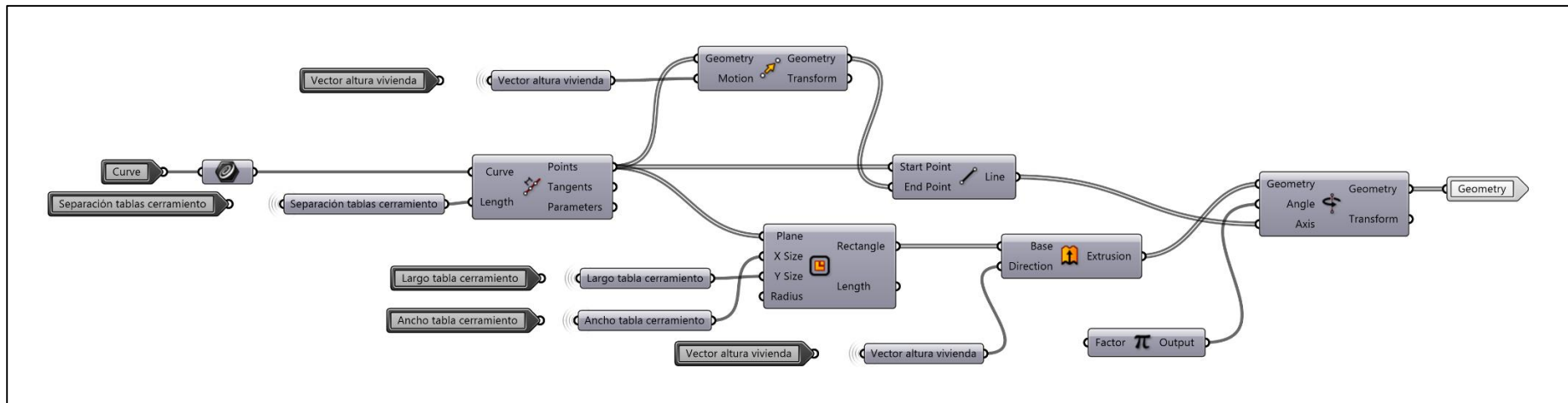


Figura 4.15. Cluster cerramientos

HUECOS CERRAMIENTO

Para los huecos (fig. 4.17) se han seleccionado mediante listas algunas de las curvas del forjado y del pasillo, desde las cuales se han seleccionado puntos a 1/4 y 3/4 de la curva, creando desde estos, rectángulos a una altura correspondiente al antepecho, extruyéndolo en el eje z para alcanzar la altura máxima de los huecos. Se ha establecido la condición de que estos huecos disminuyen sus proporciones si la intensidad del viento es muy elevada. Estas formas se extruden, y restando sus geometrías al cerramiento ciego del apartado anterior, se obtiene el cerramiento final (fig. 4.16).

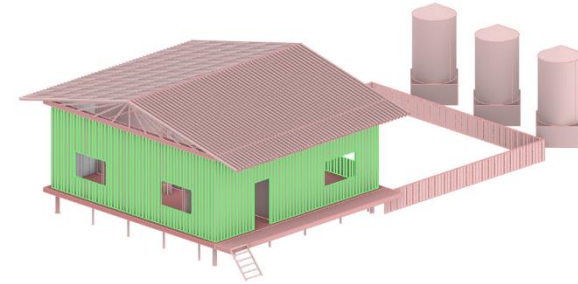


Figura 4.16. Cerramiento completo en vista 3D

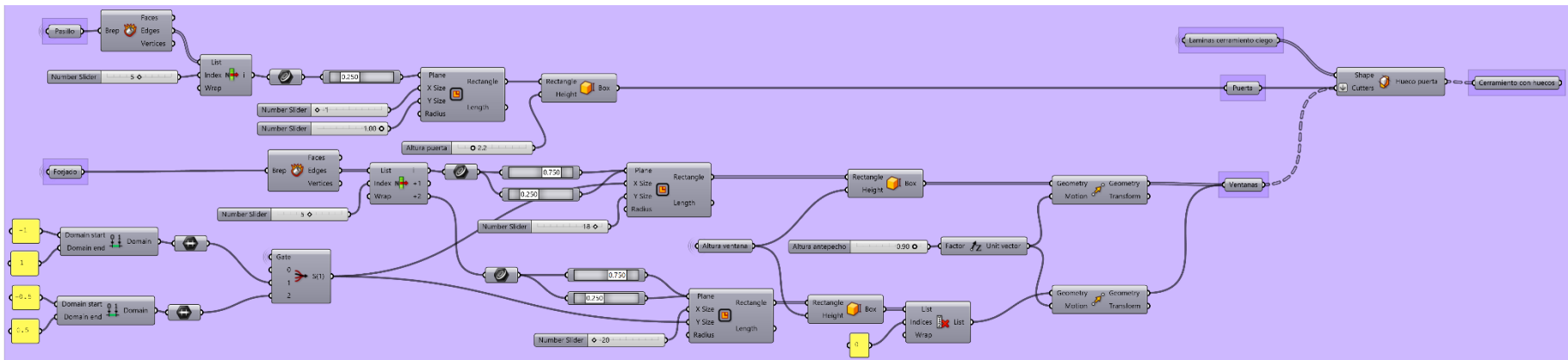


Figura 4.17. Huecos cerramientos

CUBIERTAS

Para la cubierta de la edificación individual (fig. 4.18), se ha seleccionado con una lista la superficie del forjado superior y se han obtenido los 4 segmentos de línea que la componen. Obteniendo el punto medio de dos segmentos enfrentados se ha creado una curva que se ha elevado a la altura de cubierta deseada o a la determinada por la intensidad de la lluvia, posicionándose esta curva a modo de cumbrera a mayor altura conforme mayor intensidad de las precipitaciones. Las dos curvas restantes se dividen en un número de puntos que se unen mediante curvas al punto más cercano de la cumbrera. A modo de protección ante la lluvia, la cubierta vuela dependiendo del ancho del pasillo. Una vez obtenidas las curvas, se transforman en tubos de un grosor similar al del bambú (fig. 4.19).

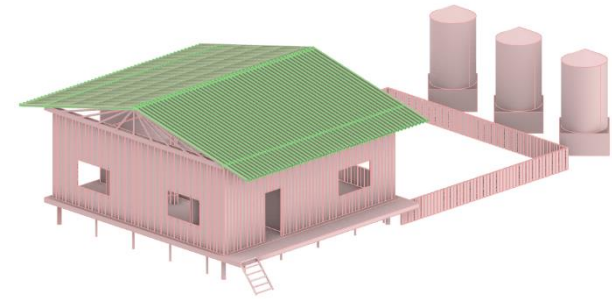


Figura 4.18. Cubierta individual vista 3D

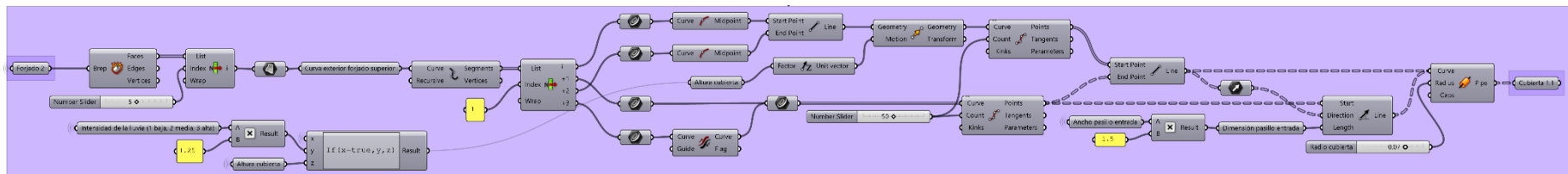


Figura 4.19. Cubierta

En el caso de la edificación doble (fig. 4.20) se realiza de una manera similar, aunque cambiando la dirección de la cubierta, debido a que esta es de una longitud mucho mayor y se tendría que utilizar bambú con unas medidas demasiado exageradas para poder realizarse de manera sencilla, por lo que ha sido girada de modo que su construcción pueda ser realizada de una manera sencilla.

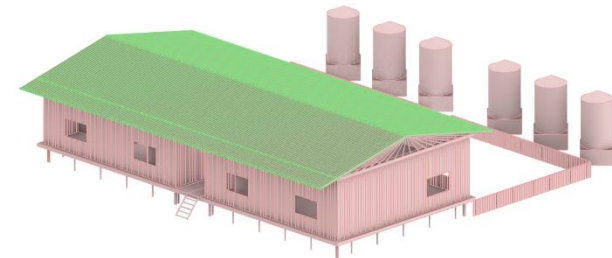


Figura 4.20. Cubierta doble vista 3D

ESTRUCTURA SOPORTE CUBIERTA

El diseño de la estructura de la vivienda (fig. 4.21) se encuentra condicionado tanto por la altura de la vivienda como por la de la cubierta. En el centroide del forjado inferior se han creado formas rectangulares que dan forma, una vez extrudidas, a los pilares principales de la estructura, apoyando sobre ellos, las partes horizontales que ayudan a la mejor disposición de apoyo para la cubierta, descansando esta sobre dichas partes. Se han dispuesto varias figuras rectangulares que disminuyen sus dimensiones conforme aumenta la altura de la cubierta para que se acoplen de mejor manera a la inclinación de esta (fig. 4.22).

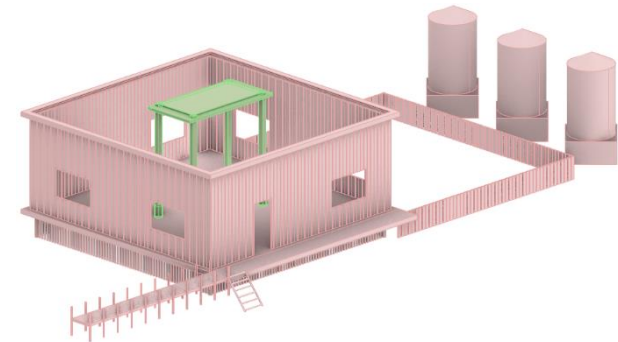


Figura 4.21. Estructura soporte cubierta vista 3D

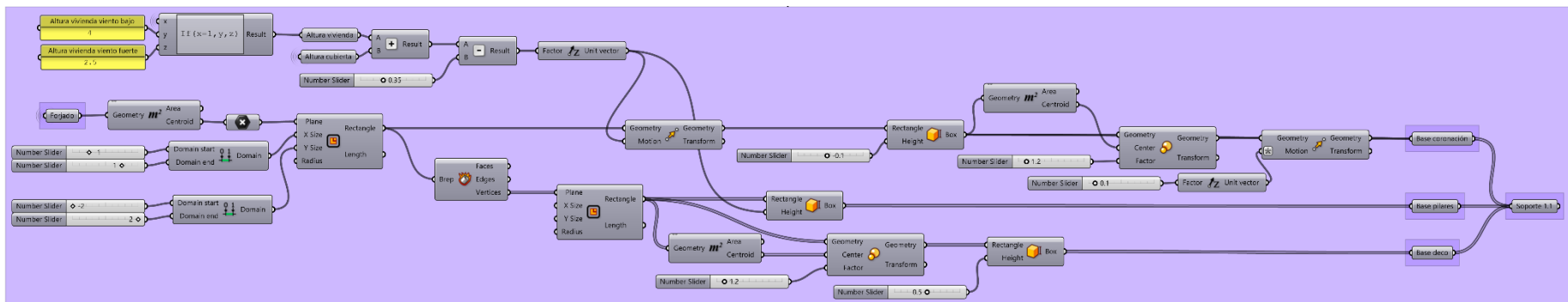


Figura 4.22. Estructura soporte cubierta

CERRAMIENTOS CUBIERTA

El cerramiento (fig. 4.23) se ha formado obteniendo el punto medio del borde del forjado superior mediante una lista conectada a su geometría, que se ha dispuesto a una altura equivalente a la de la cubierta. Este mismo borde se ha dividido en un número de puntos que resultan en un conjunto de líneas que posteriormente se convierten en cilindros conectados con el punto superior mencionado (fig. 4.24).

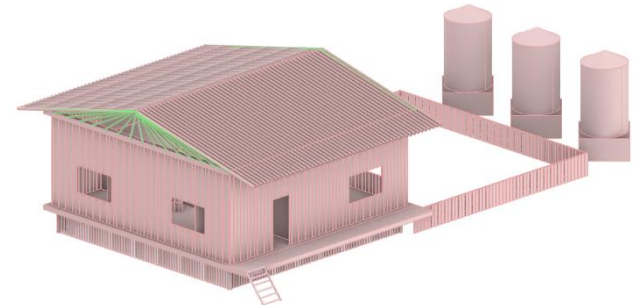


Figura 4.23. Estructura soporte cubierta vista 3D

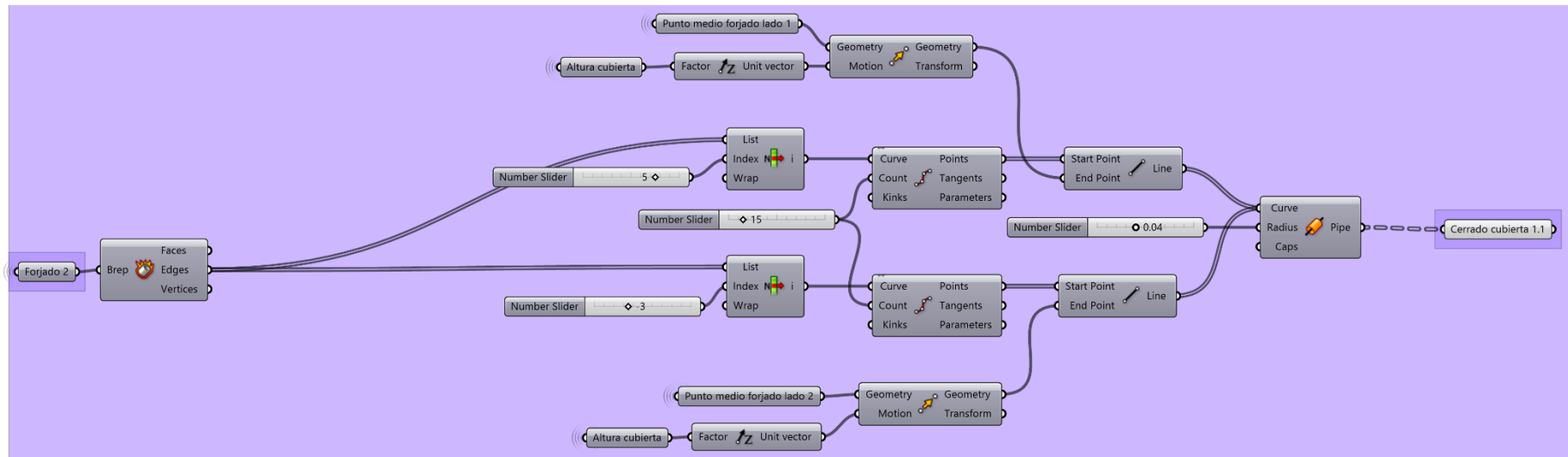


Figura 4.24. Estructura soporte cubierta

PILOTES BASE Y MICRO PILOTES

Los pilotes principales (fig. 4.25) varían en altura en función de la proximidad a la costa que tengan, siendo su altura 0 si no es zona costera. Se han seleccionado los vértices de la planta y se han formado líneas con sus proyecciones a la altura del terreno, que posteriormente se han convertido en cilindros (fig.4.26).

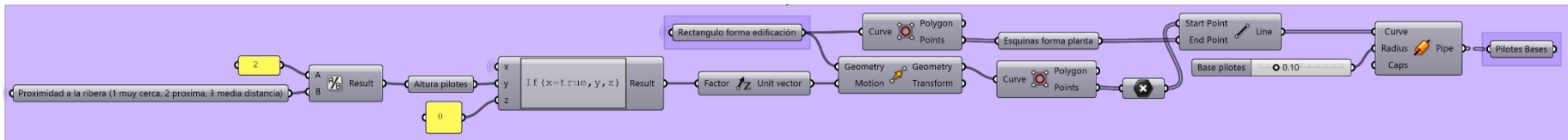


Figura 4.25. Pilotes principales

Los micro pilotes (fig. 4.27) varían en número dependiendo la calidad del material usado, siendo necesaria menos cantidad de material a mayor calidad de este. La misma curva de la planta, se ha dividido en un número de puntos, formando líneas al unirse al punto más cercano de la proyección elevada, convertidas en cilindros donde apoyar el forjado. Estos sirven a su misma vez como almacenaje de materiales y utensilios.

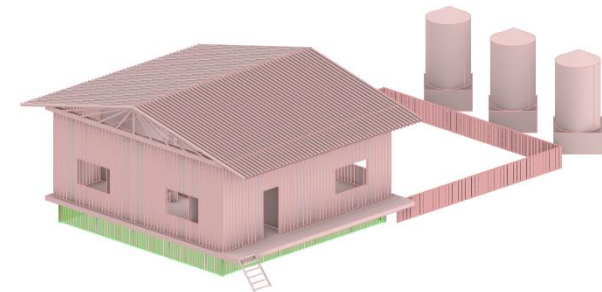


Figura 4.26. Pilotes base y micro pilotes vista 3D

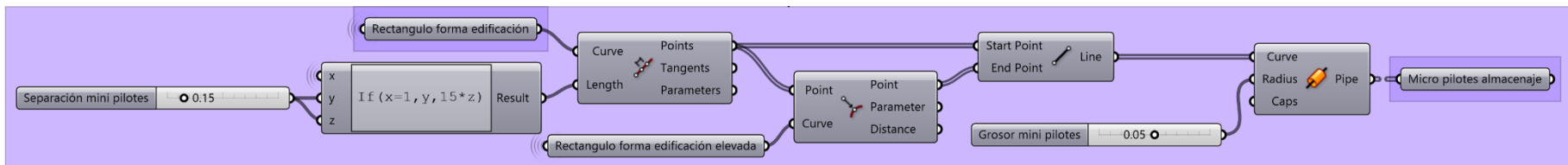


Figura 4.27. Micro pilotes

PARCELA EXTERIOR

La parcela exterior se ha creado obteniendo dos puntos del forjado inferior que han sido desplazados a la distancia final de la parcela, creando un rectángulo. Este rectángulo obtenido ha sido dividido en numerosos puntos desde los que se extruden las maderas (fig. 4.28).

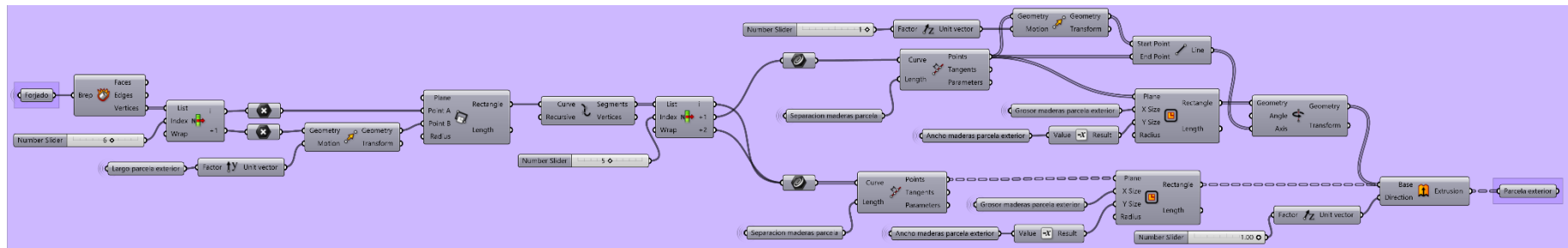


Figura 4.28. Parcela exterior

PUERTO

Para el embarcadero, desde un punto próximo a las escaleras se ha creado una caja del mismo ancho que el pasillo central, conectando así la vivienda a este. Para los soportes se han dividido las curvas del puerto para crear los cilindros de apoyo (fig. 4.29).

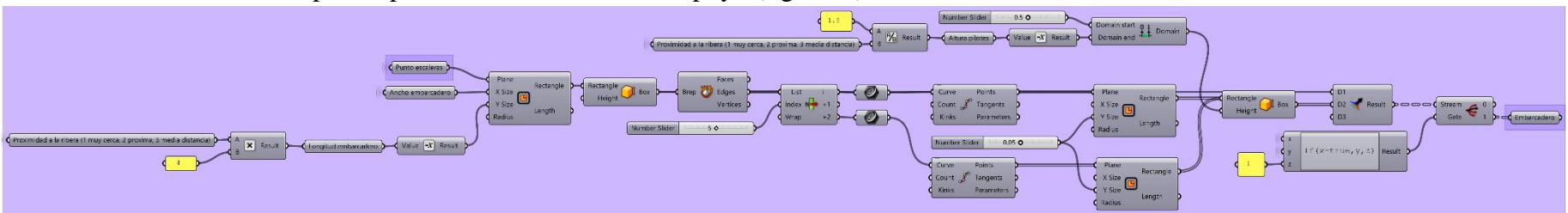


Figura 4.29. Embarcadero

SILOS

El diseño de los silos (fig. 4.31) se ha dispuesto de modo que se encuentren en la zona trasera de la edificación, es por eso que la distancia de la parcela se encuentra en esta parte del algoritmo. Para la creación de los silos se ha obtenido el centroide de la parcela exterior y se ha desplazado a una distancia variable según la longitud de esta. Se ha creado una circunferencia, transformada en un cilindro al cual se le ha añadido una coronación en forma de cono en su parte más elevada. La base ha sido compuesta por un polígono un 10% mayor que la base del silo para así ejercer de soporte estable. Una vez creado el silo, se ha duplicado de modo que se encuentran repartidos a lo ancho del límite de la parcela (fig. 4.30).

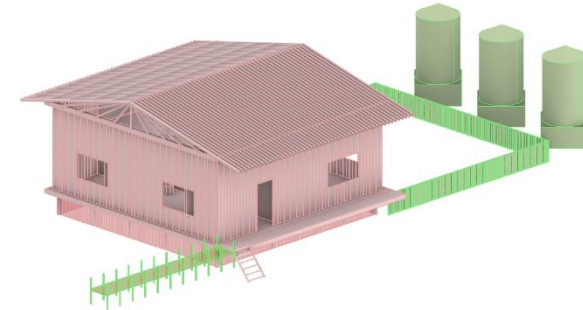


Figura 4.30. Silos, puerto y parcela vista 3D

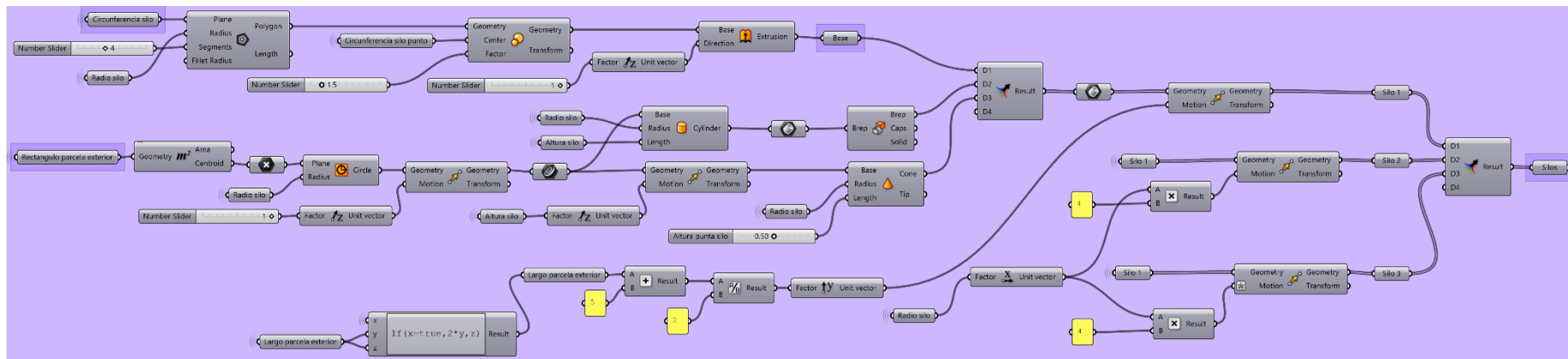


Figura 4.31. Embarcadero

MECANISMO FUNCIONAMIENTO

Como se ha mencionado anteriormente, la vivienda puede variar si el número de personas refugiadas supera el que puede albergar. Este mecanismo (fig. 4.32) funciona en base a este principio, seleccionando una puerta u otra. El sistema duplica, en caso de que se necesario las partes que pueden ser reflejadas y por otro lado las partes del algoritmo que son exclusivas para el diseño de edificación doble, como puede ser la cubierta, que se indicado anteriormente que cambia su dirección o la escalera, la cual se elimina parte de ella en el diseño doble para el correcto acople del embarcadero. Finalmente, en función a las condiciones, el sistema suministra el *uotput* final más adecuado.

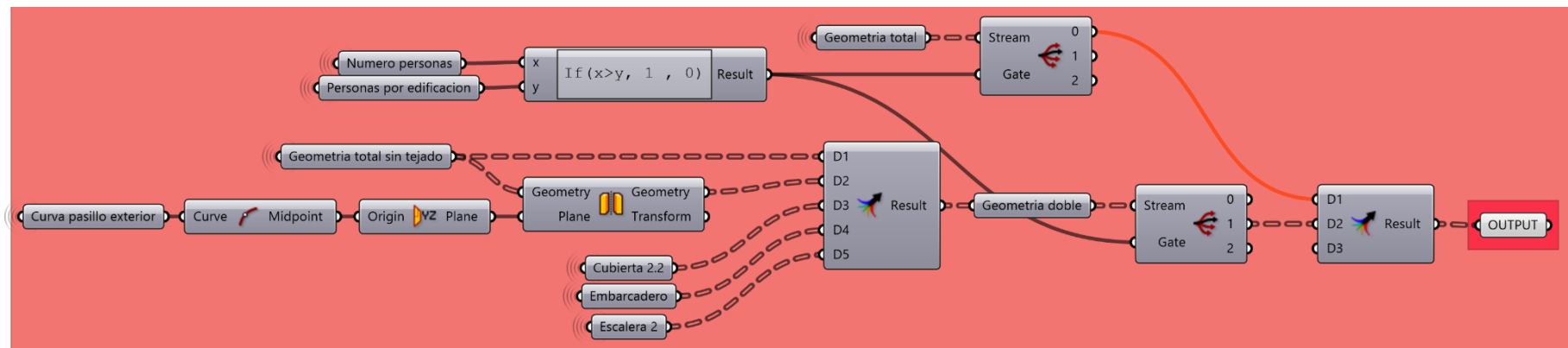


Figura 4.32. Mecanismo funcionamiento

5 POSIBLES SOLUCIONES

El diseño del algoritmo ofrece una solución a través de las variables, dependiendo de los inputs que se introduzcan a través de los diferentes botones y deslizaderas que se encuentran tanto en el cuadro principal como en el secundario. A continuación, se muestran algunos de los posibles resultados que es capaz de generar el algoritmo de manera automática.

Tabla 5.1. Resumen soluciones del algoritmo

Solución	Número usuarios	Estilo de vida	Catástrofe	Ubicación
1	16	Pescadores	Huracán	Costa
2	24	Ganaderos	Lluvias torrenciales	Montaña
3	38	Agricultores	Terremoto	Costa

SOLUCIÓN 1

Se presenta un caso de 16 personas, provenientes de una zona pesquera. La catástrofe que se ha dado ha sido un huracán por lo que los vientos son fuertes. La edificación se encuentra en zona costera a una distancia cerca a la costa. Como solución, se crea una edificación de elevada para evitar las zonas de agua y humedad, a la vez que se incluye un embarcadero para que los usuarios puedan continuar con sus labores y oficios. Debido a la intensidad de los vientos, la vivienda y la cubierta tienen una altura reducida que permite que las corrientes circulen sin ejercer demasiada presión a la estructura.

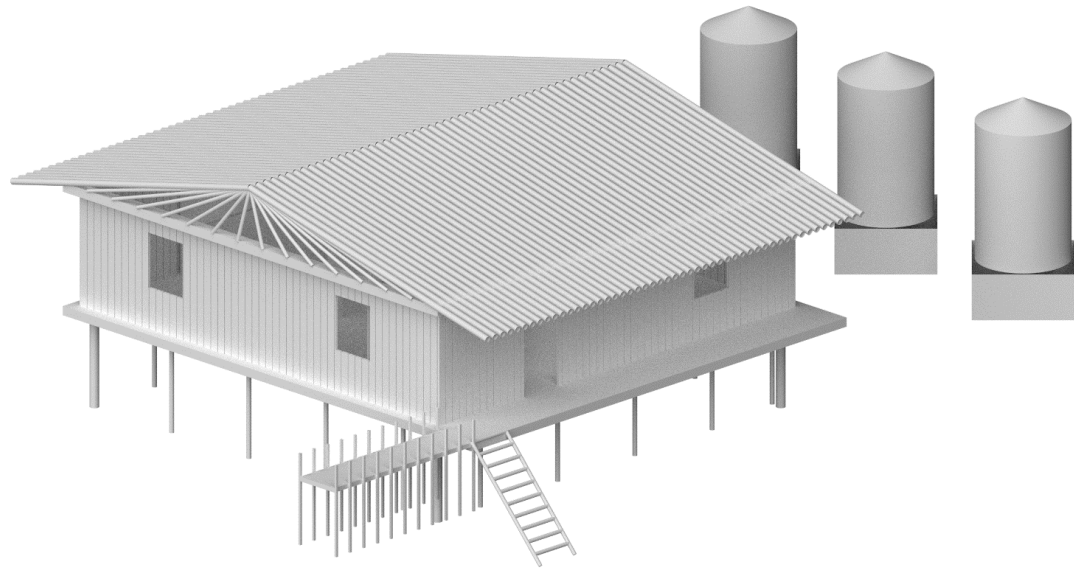


Figura 5.1. Solución edificación

SOLUCIÓN 2

En ese caso el número de personas refugiadas es de 24, dedicadas a la ganadería, por lo que se encuentran en una zona montañosa alejada de la costa. Las lluvias son torrenciales, aunque el viento no es de gran intensidad. El algoritmo presenta una solución de vivienda con una zona de parcela exterior en la que el ganado pueda habitar libremente. La vivienda no se encuentra elevada por pilotes debido a que no hay riesgo de inundación debido a la zona en la que se encuentran. El tejado se caracteriza por su gran elevación para poder dar salida a las fuertes lluvias.

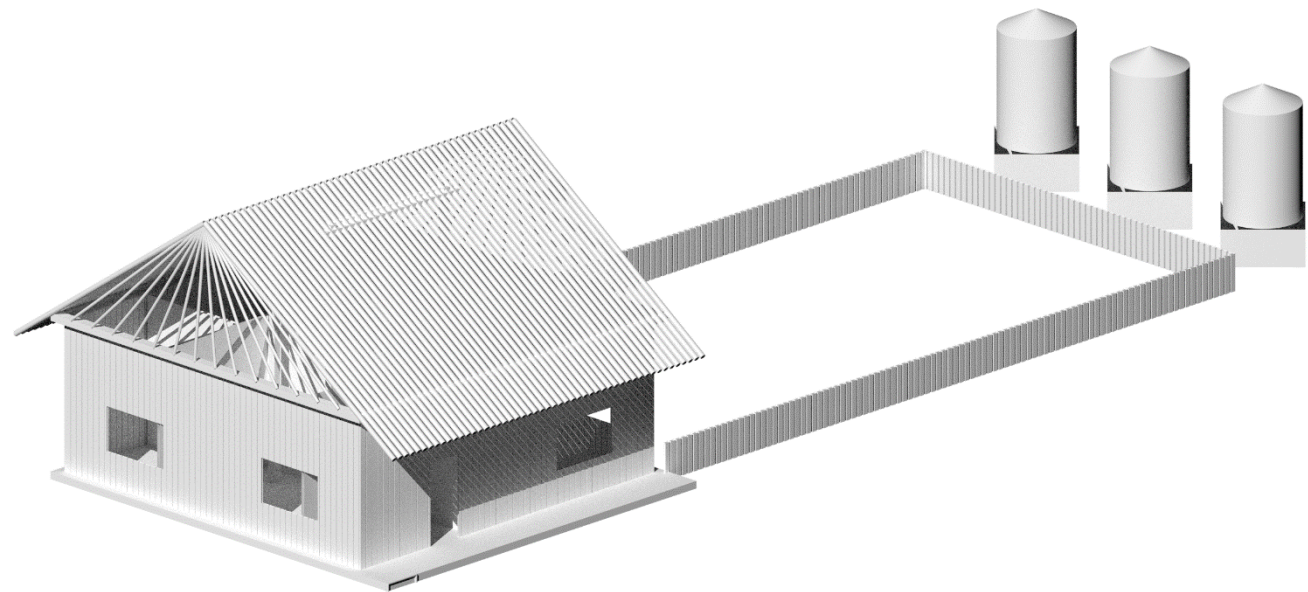


Figura 5.2. Solución edificación

SOLUCIÓN 3

En esta situación el número de personas es de 38, de familias agricultoras. Los usuarios necesitan un espacio para proseguir con sus actividades y vida cotidiana tras un terremoto de alta magnitud. Se encuentran en una zona cercana la costa por lo que se propone una solución que eleva la vivienda. Este espacio que se encuentra entre el forjado y el pavimento es posible usarlo para el almacenaje de herramientas y utensilios. Se crea una edificación doble para atender al gran número de usuarios y se crean zonas traseras en las que es posible el cultivo de alimentos, acompañadas de grandes silos para su almacenaje.

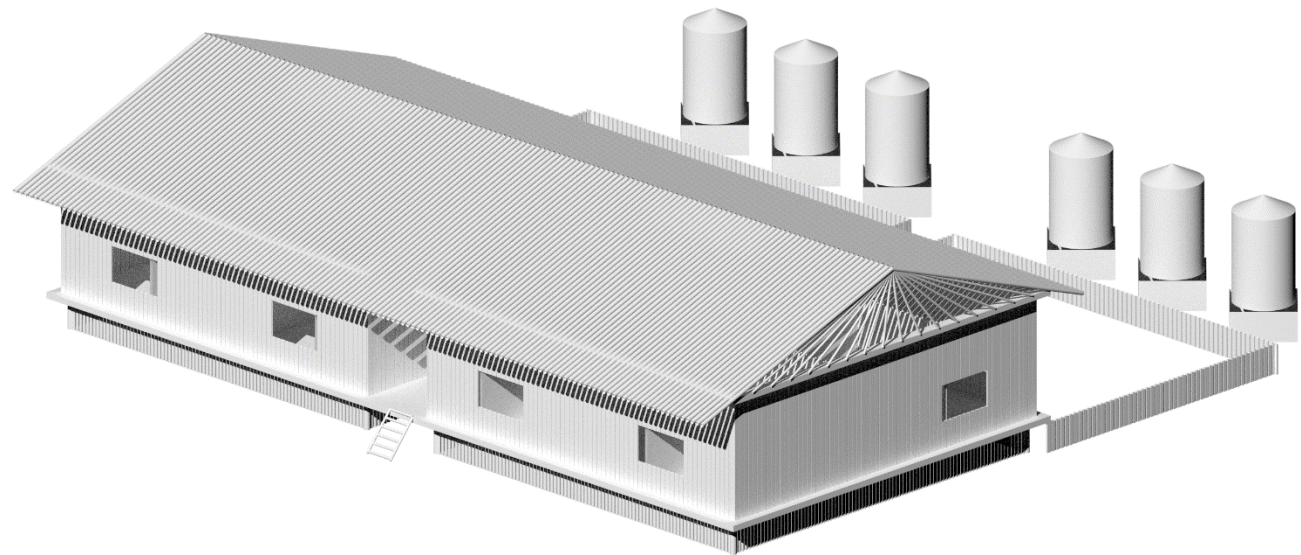


Figura 5.3. Solución edificación

6 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos durante la realización de este proyecto, se ha demostrado el gran papel que puede desempeñar el diseño paramétrico en lo referente a situaciones de emergencia, pues se aprovecha uno de sus mayores potenciales, la eficacia y la rapidez, cualidades fundamentales en estos casos. El algoritmo es capaz de proporcionar numerosos resultados que se adaptan eficacia a los parámetros iniciales, a través de un sistema de conexiones creado a partir de un previo estudio de la arquitectura vernácula del lugar. De dicha arquitectura se han absorbido sus atributos esenciales resultado de la evolución de las edificaciones autóctonos a lo largo del tiempo, para así poder proporcionar la opción más adecuada y que mejor se acopla a la situación.

Sin embargo, el desarrollo del diseño paramétrico del algoritmo se encuentra limitado, debido a su reciente inserción en los métodos de trabajo y su continuo desarrollo que aún se encuentra a gran distancia del completo potencial que es capaz de desarrollar. Es por ello que algunos de los aspectos del diseño todavía se encuentran en una etapa temprana y pueden desarrollarse de manera más amplia, mejorando así el resultado obtenido.

En definitiva, el diseño paramétrico puede ser un método de trabajo clave en el que numerosos procesos sean automatizados y se mejore el rendimiento y eficiencia del desarrollo. A su misma vez, este avance encuentra sus limitaciones en aspectos en los que el diseño y el criterio humano supone un punto de vista crucial, debido a la constante evolución y variación de la vida del ser humano. Y es este, el humano enriquecido por las experiencias, el razonamiento y la adaptación al cambio junto con la constante evolución y automatización de los sistemas electrónicos pueden convertirse en la mayor unión que pueda proporcionar los resultados definitivos.

Mirando hacia el futuro, creo que el diseño paramétrico tiene un potencial significativo y puede ser una herramienta de gran utilidad, tanto en ámbitos de arquitectura e ingeniería como en aplicaciones más amplias. La versatilidad y la capacidad de adaptación son cualidades clave para abordar estos desafíos que nos suponen las numerosas catástrofes que se producen en la actualidad. En mi opinión, es un trabajo con gran capacidad para seguir desarrollándose y mejorando con los nuevos sistemas y métodos de desarrollo actuales como la inteligencia artificial y demás aplicaciones de programación que se encuentran en pleno auge. En resumen, considero que una estrategia optimista y factible para abordar dichos desafíos actuales.

BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS

Adriaenssens, S., Gramazio, F., Kohler, M., Menges, A., & Pauly, M. (2016). *Advances in Architectural Geometry 2016*. vdf Hochschulverlag AG.

Baliprefabworld. (s. f.). Traditional old Java style houses. <https://www.prefabworldbali.com/products/wooden-prefab-units/homes/traditional-old-java-houses>

Harries, K. A., & Sharma, B. (2019). *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications*; Woodhead Publishing Civil and Structural Engineering (2nd ed.). Woodhead Publishing.

Hesselgren, L., Olsson, K., Kilian, A., Malek, S., Sorkine-Hornung, O., & Williams, C. (2018). *AAG 2018: Advances in Architectural Geometry*.

Ianni, M. (2018). *Diseño basado en prestaciones en la arquitectura. Estrategias proyectuales para mejorar la eficiencia energética de los edificios*. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=221062>

Idham, N. C. (2019). *Indonesian Architecture and Earthquake Vulnerability: the Development of Building Safety through the Civilization*. MATEC web of conferences, 280, 01004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928001004>

Jabi, W. (2013). *Parametric Design for Architecture (English Edition) (01 ed.)*. Laurence King Publishing.

Legge, J. (2023). Indonesia | History, Flag, Map, Capital, Language, Religion, & Facts. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Indonesia>

Ocon, S. (2022, 4 marzo). Arquitectura paramétrica, historia, significado y ejemplos. Revista Metrónomo. <https://revistametronomo.com/arquitectura-parametrica-historia-significado-y-ejemplos/>

Prihatmaji, Y. P. (2007). PERILAKU RUMAH TRADISIONAL JAWA «JOGLO» TERHADAP GEMPA. *Journal of Architecture and Built Environment*, 35(1), 1-12. <http://dimensi.petra.ac.id/index.php/ars/article/download/16621/16613>

Reuters. (2021). Indonesia considers relocations after deadly volcanic eruption. <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-considers-relocations-after-deadly-volcanic-eruption-2021-12-08/>

Satwiko, P. (1999). *Traditional Javanese Residential Architecture Designs and Thermal Comfort: A Study Using a Computational Fluid Dynamics Program to Explore, Analyse and Learn from the Traditional Designs for Thermal Comfort : a Thesis Submitted to the Victoria University of Wellington in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy [in Architecture]*. Amsterdam University Press.

Sitinjak, R. H. I., Wardani, L. K., & Nilasari, P. F. (2020). Traditional Balinese Architecture: From Cosmic to Modern. SHS web of conferences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207601047>

Siwalatri, N. K. A., Prijotomo, J., & Setijanti, P. (2012). Meaning of Ornament in Balinese Traditional Architecture. *Scientific Research.South Asia: Earthquake and Tsunami - Dec 2004.* (2023, 23 febrero). ReliefWeb. <https://reliefweb.int/disaster/ts-2004-000147-idn>

Tabanera, F. (2013). Diseño Paramétrico – Algomad. <https://algomad.org/category/blog/parametrico/>

Tedeschi, A., & Andreani, S. (2014). AAD Algorithms-Aided Design. *Parametric Strategies Using Grasshopper.* Le Penseur Publisher.

Tobing, R., & Sakti, A. K. (2021). Identification of the Architectural Housing Form and the Existence of Ulos Communities in Hutaraja Village, Samosir, North Sumatra, Indonesia. *IOP conference series,* 903(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/903/1/012007>

Wolters, O. W., Mohamad, G. S., Legge, J. D., McDivitt, J. F., Adam, A. W., & Leinbach, T. R. (2023). Indonesia | History, Flag, Map, Capital, Language, Religion, & Facts. *Encyclopedia Britannica.* <https://www.britannica.com/place/Indonesia>

Wong, C. K. (2010). *Parametric Variation in Architecture*

PROCEDENCIA DE LAS IMÁGENES

Figura 0.1. Carrano, E. (2020, 26 diciembre). Lasciate perdere le archistar, riscoprite la vera architettura: come quella di Luigi Moretti. Il Fatto Quotidiano. <https://www.ilfattoquotidiano.it/2020/12/26/lasciate-perdere-le-archistar-riscoprite-la-vera-architettura-come-quella-di-luigi-moretti/6047570/>

Figura 0.2. Museo Guggenheim Bilbao. Entra y planea tu visita. (s. f.). <https://www.guggenheim-bilbao.eus/>

Figura 1.3. Colaboradores de Wikipedia. (2023b). Indonesia. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Indonesia#/media/Archivo:Indonesia_\(orthographic_projection\).svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Indonesia#/media/Archivo:Indonesia_(orthographic_projection).svg)

Figura 1.4. Historia, C. (2023). La historia de la República de Indonesia (Republik Indonesia) es muy diversa, read more. CurioSfera Historia. <https://curiosfera-historia.com/historia-de-indonesia/>

Figura 1.5. Efe. (2023, 11 marzo). El volcán indonesio Merapi entra en erupción y cubre varios pueblos de ceniza. elperiodico. <https://www.elperiodico.com/es/internacional/20230311/volcan-indonesio-merapi-entra-erupcion-84477327>

Figura 1.6. Elaboración por el autor

Figura 2.1. Reuters. (2021, 9 diciembre). Indonesia considers relocations after deadly volcanic eruption. Reuters. <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-considers-relocations-after-deadly-volcanic-eruption-2021-12-08/>

Figura 2.2. Reuters. (2021, 9 diciembre). Indonesia considers relocations after deadly volcanic eruption. Reuters. <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-considers-relocations-after-deadly-volcanic-eruption-2021-12-08/>

Figura 2.3. Redaccion. (2021, 6 abril). Redaccion. <https://www.redinformativa.com.py/2021/04/06/aumentaron-a-113-los-muertos-por-las-inundaciones-en-indonesia-y-timor-oriental/>

Figura 2.4. España, A. (2018). Indonesia necesita tu ayuda: colaboramos con Save the Children. Observatorio del Inversor. <https://www.andbank.es/observatoriodelinversor/indonesia-necesita-ayuda-colaboramos-save-the-children/>

Figura 3.1. Bokhoven, A. (2020). How big is Indonesia actually? Thalassa Dive Resorts Indonesia. <https://www.thalassamanado.com/how-big-is-indonesia/>

Figura 3.2. Satwiko, P. (1999). Traditional Javanese Residential Architecture Designs and Thermal Comfort: A Study Using a Computational Fluid Dynamics Program to Explore, Analyse and Learn from the Traditional Designs for Thermal Comfort.

Figura 3.3. Feliz, E. E. V. (2022, 3 julio). Templo de Borobudur | Historia, curiosidades y datos útiles para visitarlo. El Viajero Feliz. <https://elviajerofeliz.com/templo-borobudur/>

Figura 3.4. Java Turismo: Qué visitar en Java, Indonesia, 2023 | Viaja con Expedia. (s. f.). Expedia.com. <https://www.expedia.com/es/Java.dx602075>

Figura 3.5. File:DSC00049 Java Kampung Naga Pounds and Commodities (6219564677).jpg - Wikimedia Commons. (2011). https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DSC00049_Java_Kampung_Naga_Pounds_and_commodities_%286219564677%29.jpg

Figura 3.6. Una casa joglo es una casa tradicional de Java Central, Indonesia Premium Photo. (2021, 21 abril). Freepik. https://www.freepik.es/fotos-premium/casa-joglo-es-casa-tradicional-java-central-indonesia_13711508.htm

Figura 3.7. Culture, I. (2023, 22 junio). Joglo and Limasan: The Art of Javanese Housing - Indosphere Culture - Medium. Medium. <https://indosphere.medium.com/joglo-and-limasan-the-art-of-javanese-housing-9d11e0a111af>

Figura 3.8. Marsnjak, S. (s. f.). Sergej Marsnjak - Journey Photos. <https://www.marsnjak.com/sergej/>

Figura 3.9. Culture, I. (2023b, junio 22). Joglo and Limasan: The Art of Javanese Housing - Indosphere Culture - Medium. Medium. <https://indosphere.medium.com/joglo-and-limasan-the-art-of-javanese-housing-9d11e0a111af>

Figura 3.10. Marsnjak, S. (s. f.-a). Sergej Marsnjak - Indonesia - Toraja - Tongkonan Pattern. <https://www.marsnjak.com/sergej/?menu=indonesia&type=pic&pic=177>

Figura 3.11. Transforming cattle farming in Lombok. (s. f.). ACIAR. <https://www.aciar.gov.au/media-search/blogs/transforming-cattle-farming-lombok>

Figura 3.12. Wildhearted. (2012, 29 septiembre). Pencils In The Land Of Flowers. Pinterest. <https://www.pinterest.es/pin/186055028326982948/>

Figura 3.13. Lestari, D. (1970). Kampung Djowo, wisata eksotik budaya Jawa. VIVA. <https://www.viva.co.id/gaya-hidup/travel/1003851-kampung-djowo-wisata-eksotik-budaya-jawa?page=all>

Figuras 4.1 a 4.32. Elaboración por el autor

Figuras 5.1 a 5.3. Elaboración por el autor

