



TESINA PROYECTO DE TÍTULO

Artefactos para la Investigación de Energía Geotérmica

alumno Federico Reyes

profesor René García

mención Diseño Sustentable

19.07.2021



TEMA: SISTEMAS DE HABITABILIDAD EN TERRITORIOS NATURALES HOSTILES E
INHÓSPITOS.

LUGAR: VOLCÁN VILLARRICA, CORDÓN VOLCÁNICO ZONA SUR DE CHILE.

CASO: ARTEFACTOS PARA LA INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA.

POR: FEDERICO REYES SILVA

**Tesina presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo
para optar al grado académico / Título profesional de ARQUITECTO con mención en
Diseño Sustentable.**

PROFESOR GUÍA

**Arquitecto, Magister Oficial en Teoría y Práctica sobre la Funcionalidad, Poética, Ética y
Epistemología del Diseño Arquitectónico, Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña,
España.**

RENE GARCIA MEDINA.

Julio, 2021

SANTIAGO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por su incondicional apoyo durante todo mi periodo universitario y por acompañarme en todas las decisiones tomadas en el transcurso de ella.

En segundo lugar, agradecer a mi profesor guía, René García, por entregarme todos los conocimientos necesarios, entregarme siempre un gran apoyo y por darme la confianza de saber que puedo lograr lo que me proponga y llegar hasta este punto de la mejor manera.

En tercer lugar, agradecerles a todos los profesores que fueron parte de estos 5 años y medios de carrera, de los cuales de todos me entregaron algo que me ayudaron a crecer tanto como alumno y también como persona.

También quiero agradecer a mi compañera y amiga Christina Hellema, por su incondicional apoyo académico que sin duda a lo largo de este largo periodo se transformó en una gran amistad y un pilar fundamental para mí.

Por último, quiero agradecer a mis amigos(as) y compañeros(as), Alani Sanzana, María José Jara, Bernardita González, Sofia Schultz, Manuel Rufin, Ronald Ambler y Felipe Caso, por acompañarme, ayudarme y apoyarme durante toda esta difícil etapa.

INDICE

ABSTRACT.....	1
MARCO TEÓRICO	3
1. Volcanes: Hito natural del ecosistema	4
1.1. Volcanes en Chile y el mundo	10
2. Energía Geotérmica	14
2.1. Energía Geotérmica en el tiempo	18
2.2. Energía Geotérmica en Chile.....	19
2.3. Recursos de la Energía Geotérmica	20
2.4. Clasificación Sistemas Geotérmicos	22
2.5. Fases de desarrollo de un proyecto geotérmico.....	23
3. Modelos de exploración de territorios hostiles e inhóspitos	30
3.1. Estrategias sistémicas de exploración en territorios hostiles e inhóspitos	31
4. TEMA: Sistemas de Habitabilidad en Territorios Naturales Hostiles e Inhóspitos	32
4.1. Sistemas de Habitabilidad en Territorios Naturales Hostiles e Inhóspitos	33
4.2. Zonas de Actividad Volcánica: Territorio Hostil e Inhóspitos	35
4.3. Arquitectura Modular: Sistema Arquitectónico	36
5. LUGAR: Volcán Villarrica, Cordón Volcánico Zona Sur de Chile	37
5.1. Volcán Villarrica, Cordón Volcánico Zona Sur de Chile	38
6. CASO: Artefactos para la Investigación de Energía Geotérmica	40
6.1. Energía Geotérmica	41
6.2. Volcanes: Potenciales Territorios Geotérmicos	42
6.3. Artefactos para la Investigación de Energía.....	44
7. ESTRATEGIAS PROYECTUALES	45
7.1. Estrategias Territoriales	47
7.2. Estrategias Formales Generales	48
7.3. Estrategias Formales Modulo	49
7.4. Estrategias Formales Apoyo	50

7.5. Estrategias Emplazamiento y Evacuación	51
8. Desarrollo Proyectual	52
8.1. Planimetría: Planta Emplazamiento y Contexto	53
8.2. Planimetría: Planta Arquitectónica y Cubierta	54
8.3. Planimetría: Cortes Arquitectónicos	55
8.4. Planimetría: Elevaciones	56
9. Bibliografía	57
10. Antecedentes Académicos	59

ABSTRACT

En el planeta Tierra existen distintos tipos de territorios que se pueden diferenciar por distintos factores naturales, por ejemplo, por condiciones territoriales, geográficas, morfológicas, climatológicas, entre otras. Y también pueden diferenciarse por el resultado de gestiones del ser humano a lo largo de la historia, como asentamientos humanos, gestiones constructivas o distintas intervenciones que rompen con el ciclo natural de este mismo. Sin embargo, existen territorios los cuales se identifican como hostiles e inhóspitos, ya que, por sus condiciones naturales dificulta de manera considerable su habitabilidad. En muchos casos se evitan estos mismos, debido a que no existen sistemas generales de habitabilidad que logren mitigar estas condiciones o algún sistema en particular para un tipo de territorio en específico.

Es por esto, por lo que como objetivo se busca encontrar una solución a esta problemática de manera que estos mismos territorios puedan en un futuro ser espacios de oportunidad para la investigación de estos mismos y también de los recursos naturales presentes que sean beneficiosos para la habitabilidad del ser humano en el futuro.

De esta manera el proyecto busca generar sistemas de habitabilidad en territorios naturales hostiles e inhóspitos, específicamente en territorios con presencia de zonas de riesgo volcánico, es decir, territorios de volcánicos donde constantemente este la alerta de cualquier tipo de actividad vulcanológica que puedan generar peligro en la zona.

Además, este busca ser un mediador entre este tipo de territorios los cuales por la presencia de grandes hitos naturales como lo son los volcanes que pueden generar grandes consecuencias y grandes beneficios como lo es la presencia de energía geotérmica. Para ello es necesario identificar y reconocer las distintas condiciones y factores territoriales presentes en una zona vulcanológica. Entendiéndolo desde su peligrosidad, morfología, zonificación y comportamiento.

De esta manera se expondrán los conceptos generales de la vulcanología y territorios volcánicos, entendiendo su clasificación según diferentes factores, además de cuáles son las consecuencias y ventajas de este tipo de territorio.

Por otro lado, se expondrá uno de los mayores beneficios que entrega la tierra como recurso natural de energía, la Energía Geotérmica, la cual está presente en la mayoría de los territorios

volcánicos. Se podrá entender cuáles son los conceptos generales de este recurso y cuáles son las distintas fases que requiere la investigación y exploración de este mismo.

Se escoge el Volcán Villarrica como lugar de emplazamiento, ya que, es el Volcán con mayor índice de actividad y también uno de los con mayor índice de peligro en caso de erupción.

Es así como el proyecto se centra en diseñar un sistema de habitabilidad que cumpla con las características para poder habitar este tipo de territorios y generar un espacio necesario que contenga los elementos requeridos para las fases de exploración de este recurso, con el fin de descubrir puntos clave para la extracción y explotación en un futuro.



MARCO TEORICO

1.VOLCANES

2.ENERGÍA GEOTÉRMICA

3.ARTEFACTOS DE INVESTIGACIÓN

MARCO TEORICO

1. Volcanes

Los volcanes nacen de una energía producida al interior del planeta tierra, la cual asciende a través de el magma a la superficie terrestre. Durante estos eventos, a través de la interacción con otros tipos de elementos de la corteza terrestre, se generan cambios químicos y termodinámicos que dan origen a una diversidad de composiciones magmáticas, las principales son basáltica, andesítica, dacítica y riolítica. Esta composición secuencial muestra el grado de diferencias magmáticas que de alguna manera controla el estilo eruptivo del vulcanismo. En el planeta existen tres tipos de ambientes volcánicos, los cuales se definen por su contexto geográfico y geológico en un punto específico de la tierra: bordes de placas divergentes, bordes de placas convergentes y regiones interplaca, las cuales algunas pueden estar asociadas a puntos calientes.

Los bordes de placas divergentes se caracterizan por ser aquellos donde las placas tectónicas de la tierra se separan, lo que genera un ascenso de material vulcanológico desde el manto, que al enfriarse crea una nueva corteza oceánica. Al momento en que las placas se separan de su eje dorsal, se producen fracturas las cuales se rellenan nuevamente con roca fundida o magma y es en este proceso donde se forman los volcanes. Dentro de este tipo de ambiente volcánico de bordes divergentes podemos encontrar las meso dorsales del Pacifico y el Atlántico, y la Dorsal de Chile, que colisiona con el margen continental ubicado en la península de Taitao, específicamente a norte del golfo de Penas.

Los bordes de placas convergentes están asociados a una zona de subducción, generada por la diferencia entre las distintas densidades de placas tectónicas y sus direcciones opuestas al momento de desplazarse. La placa subducida, normalmente oceánica, se hunde y progresivamente experimenta un aumento de la temperatura y presión. Esto genera la liberación de fluidos, lo que facilita la fusión del manto atmosférico. Este elemento fundido asciende gradualmente generando volcanes una vez que emerge en la superficie. En el proceso de ascenso, a veces es interrumpido por pausas en distintos niveles de la corteza, los magmas producidos en profundidad evolucionan y crean una amplia variedad composicional. Esta variedad, junto a otros factores, da explicación a la diversidad de otros estilos eruptivos y volcanes.

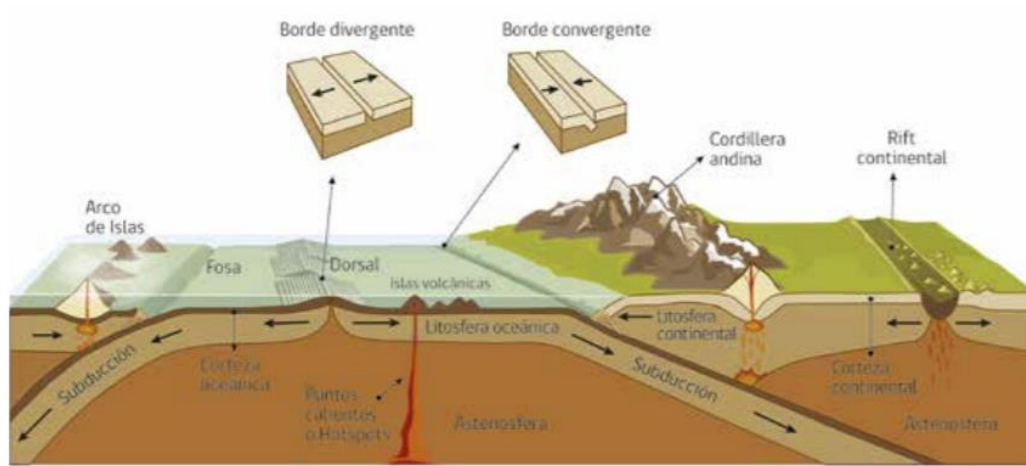


Figura 17. Tipos de ambientes volcánicos. Fuente: Libro volcanes SERNAGEOMIN

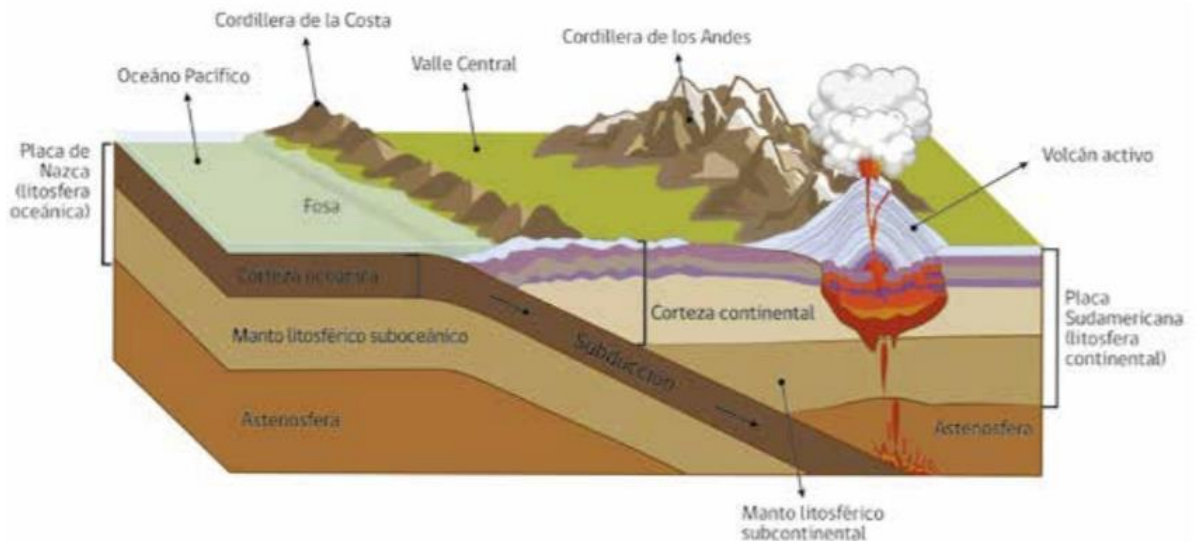


Figura 18. Proceso subducción placas tectónicas. Fuente: Libro Chile Territorio Volcánico, SERNAGEOMIN.

El volcanismo interplaca, este asociado en algunos casos a puntos calientes. En general, se trata de regiones donde la corteza es bastante delgada, lo que permite el ascenso del manto. En específico, los puntos calientes están comúnmente asociados a plumas del manto que al mantener su posición fija bajo placas litosféricas que se desplazan, lo que da resultado a cadenas de islas volcánicas y montes submarinos.

La naturaleza episódica de las erupciones volcánicas puede afectar profundamente los ambientes sedimentarios, y la influencia del volcanismo en el registro sedimentario se ha abordado en varios estudios

clásicos). Especialmente, la actividad volcánica siempre tiene un gran impacto en los sistemas fluviales, y un número creciente de estudios documenta la influencia del volcanismo en la modificación del patrón de sedimentación de estos entornos. Varios autores han señalado que los procesos sedimentarios que operan dentro de un terreno volcánico activo son diferentes en comparación con los de entornos no volcánicos y no pueden explicarse adecuadamente por los modelos de facies aluviales existentes o de "fondo". Sin embargo, los modelos integrales de volcanismo y sedimentación fluvial aún están fuera del alcance debido a la dificultad de colocar restricciones independientes en todas las posibles variables de control del registro estratigráfico. (Colombo-Spalletti, 2019)

Pero antes de todo debemos entender que significa una erupción volcánica y todos sus procesos para así poder analizar las necesidades que puede cumplir la arquitectura. Los volcanes surgen de la energía producida al interior de nuestro planeta, mediante el ascenso de magma a la superficie. Durante este proceso, y a través de la interacción con otros elementos de la corteza, se producen cambios químicos y termodinámicos que dan origen a una diversidad de composiciones magmáticas, entre las que destacan basáltica, andesítica, dacítica y riolítica. Esta secuencia composicional refleja el grado de diferenciación magmática que de algún modo controla el estilo eruptivo del volcanismo. (Sernageomin, 2018)

En la historia de nuestro planeta Tierra los volcanes han estado presentes siempre como un hito natural el cual es parte del ecosistema y podemos encontrarlos en la mayoría de los territorios del mundo, sin embargo, no todos los volcanes son iguales no solo en su forma o aspecto sino también, en el tipo de estado en el que se encuentra con respecto a su actividad volcánica. Cuando hablamos al respecto de la actividad de un volcán se puede clasificar en tres etapas:

1. Volcanes Activos: Volcanes Activos, son aquellos que se sabe que pueden entrar en erupción u otro tipo de actividad eruptiva en cualquier momento, es decir, que se encuentran en un estado al cual se le denomina estado de latencia. Esto se puede apreciar en la mayoría de los volcanes, ya que, muchos se encuentran mayormente del tiempo en un estado de reposo y entran en actividad eruptiva o producen erupción en cualquier momento.
2. Volcanes Inactivos: Volcanes Inactivos, son aquellos que presentan ciertos tipos de actividad, como presencia de fumarolas o presencia de Imagen 8. Volcán Villarrica aguas termales dentro del territorio, y también que han entrado actividad ocasionalmente en periodos de corto tiempo.

Un volcán se puede considerar inactivo si no ha tenido o ha ocurrido una erupción en cientos de años, es decir, en siglos.

3. Volcanes Extintos: Volcanes Extintos, son aquellos que su última erupción fue hace miles de años, particularmente en 25.000 años. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que puedan volver a activarse y producir actividad volcánica hasta una erupción que pueden llegar a ser más destructivas que un volcán activo.

Así como también, las erupciones se clasifican en distintos tipos mediante su intensidad y daños causados por distintas condiciones desde su nivel de fumarola (cenizas) hasta cuanto es el daño que causa a su territorio cercano. La temperatura, composición, viscosidad y elementos disueltos en el magma, como así también la cantidad de productos volátiles que acompañan a la erupción volcánica, son los factores fundamentales de los cuales depende el tipo de explosividad. Las erupciones volcánicas y las fases eruptivas se clasifican según un amplio abanico de criterios cualitativos; en varios casos han tomado nombres de volcanes en donde cierto tipo de comportamiento fue observado por primera vez, o bien el que más comúnmente se presenta; generalmente en un mismo volcán se suelen presentar diferentes tipos de erupciones. De esta manera se definen los 4 tipos de erupciones volcánicas más conocidas según el Sernageomin, las cuales se diferencian por sus distintos componentes que arrojan al momento de ocurrir la erupción volcánica:

- Estromboliana: corresponden a erupciones moderadamente explosivas (IEV=1-3) con producción de ceniza, pómez/escoria y bombas que siguen trayectorias balísticas desde los cráteres. Son comunes en la formación de conos piroclásticos, en algunos casos de manera contemporánea con la emisión de flujos de lava. La composición de los magmas es típicamente basáltica.
- Hawaianas: son erupciones efusivas con escasa o nula actividad explosiva, excepto aquellas que ocurren directamente sobre un surtidor o fuente de lava sobre el cráter de un volcán, desde el cual emanan usualmente flujos de lavas. Se asocian casi exclusivamente a magmas de composición basáltica o andesítico-basáltica y son especialmente comunes en los volcanes escudos.
- Vulcanianas: erupción de carácter explosivo y de corta duración (usualmente algunos minutos), asociada a la violenta expulsión de fragmentos sólidos de rocas, bloques y ceniza, que en conjunto

generan columnas eruptivas por lo general menores a 10 km de altura sobre el volcán. Estos eventos se asocian a la apertura de conductos volcánicos y destrucción parcial de domos de lava, entre otros. Si bien pueden ser generadas a partir de cualquier composición magmática, son particularmente comunes en composiciones andesíticas y dacíticas.

- Plinianas: erupciones muy violentas con importante emisión de piroclastos (pómez y ceniza) y generación de columnas eruptivas que usualmente alcanzan alturas entre 15 y 35 km por sobre el volcán, y que se prolongan por periodos de horas a días. Las zonas aledañas al volcán son afectadas por el emplazamiento de flujos piroclásticos, mientras que la caída de ceniza puede afectar miles de km² de superficie, y provocar trastornos a localidades ubicadas lejos del centro de emisión. En el caso de inyección de importante cantidad de ceniza fina y aerosoles en la estratosfera, se puede alterar el sistema climático global.

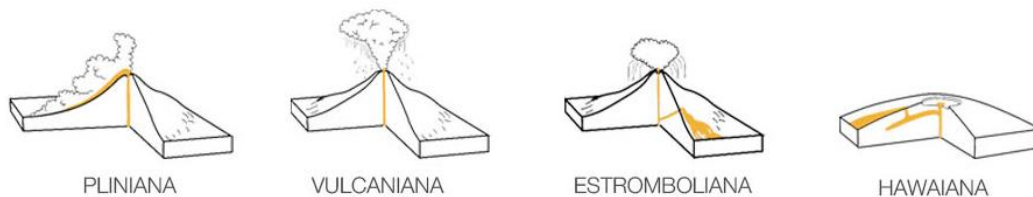


Fig. 19. Clasificación de erupciones. Fuente: Elaboración Propia.

Una erupción durante su proceso puede causar distintos daños y peligros tanto para el ser humano, como también para el ecosistema que lo rodea, estos peligros y daños pueden ser tanto directamente como también por factores secundarios y ligados a una erupción. Los peligros directos que surgen directamente del interior de un volcán, y es importante entender cuál es el daño que pueden llegar a generar estos mismos:

1. **Corrientes de Lava:** una corriente de lava es generalmente lenta la cual puede avanzar tantos metros/segundo o hasta metros/día. Por lo que es un peligro muy alto, pero tiene la ventaja de tener el tiempo de predecirla y solucionarse a tiempo, como gestionar una evacuación o áreas de bloqueo de estas mismas. La extensión de la lava depende de varios factores como pendientes, efusión y la duración de una erupción. La lava directamente en un territorio puede causar daños irreversibles tanto por los incendios forestales o en el contexto general que puede causar, como también los daños en el suelo mismo.

2. Corriente piroclástica: una corriente piroclástica es una mezcla de gases y bloques de lava caliente que puede generar explosiones, que pueden llegar a alcanzar 400 km/h, son consideradas altamente peligrosas.
3. Bombas Volcánicas: las Bombas Volcánicas son fragmentos de lava que expulsan los volcanes durante una erupción mientras esta se encuentra viscosa (parcialmente fundida), causando un riesgo en caso de alcanzar alguna zona poblada.
4. Cenizas Volcánicas: la ceniza volcánica es el material más fino que proviene directamente de las rocas volcánicas. Al ser un material bastante ligero y estar presente en la mayoría de las erupciones, pueden llegar a avanzar por las corrientes de vientos siendo transportados a cientos y en algunos casos miles de kilómetros. Dependiendo del tipo de erupción las cenizas pueden llegar a cubrir grandes territorios causando severos daños al aérea superficial de territorios.

Es así como el tema busca mediante la habitabilidad aprovechando las distintas características que tiene un espacio donde ocurren hechos tan peligrosos y dañinos para la humanidad, pensando que en un futuro la tierra se transformará en un territorio que por hechos naturales o artificiales el habitar será más difícil o imposible. Por otra parte, la actividad volcánica no solo causa daños y destrozos, sino que también luego de cada evento volcánico trae beneficios y ventajas tanto en cuanto a sus ecosistemas, como también a civilizaciones y localidades de sus alrededores.

- Agricultura: Una de las bondades de vivir a la sombra de un volcán es que sus cenizas contienen nutrientes que convierten el suelo donde se depositan en lugares fértiles. Esto lo saben muy bien los agricultores que habitan las faldas del Vesubio, frente a la bahía de Nápoles.
- Tecnología. Nos proporcionan materiales muy útiles: la piedra pómez se usa para hacer morteros en la construcción y para pulir metales; la perlita, en la construcción, la elaboración de cerámicas y en horticultura; la diabasa y el basalto triturado se emplean en las carreteras, como balasto para el ferrocarril, en gránulos para techos o en las escolleras.

1.1. Volcanes en el Mundo y en Chile

Alrededor del mundo podemos encontrar miles de volcanes los cuales se muchos ser parte de un mismo cordón volcánico o pueden estar aislados por sí solos.

Sin embargo, hay territorios en los cuales podemos encontrar una mayor presencia de estos hitos naturales comparado con otros. Inclusive se han encontrado volcanes que están localizados en otros planetas, los cuales pueden ser semejantes a los de nuestro planeta o también se han llegado a encontrar volcanes de hielo los cuales se denominan Criovolcanes. Dentro del planeta Tierra se estima que podemos encontrar alrededor de 1.500 volcanes activos aproximadamente, lo cual nos dice que es una enorme cantidad. Pero como se menciona anteriormente en algunos territorios hay mayor presencia de estos comparado con otras partes del mundo. En el planeta tierra los países con mayor número de volcanes activos son:

1. Chile

En Chile podemos encontrar cerca de 95 volcanes activos a lo largo de su territorio, los cuales son monitoreados y estudiados a lo largo de todo el mundo por varios investigadores y geólogos.

2. Indonesia

En Indonesia se estima que podemos encontrar 120 volcanes activos aproximadamente, en este país es donde tuvo lugar una de las erupciones más grandes registradas en la historia.

3. Estados Unidos

En Estados Unidos, se calcula que podemos encontrar 130 volcanes aproximadamente en todo su territorio, En este país podemos encontrar la isla de Hawái donde se encuentran algunos de estos ejemplares, pero se encuentra uno de los más grandes del mundo llamado Volcán Kilauea.

4. Japón

En Japón podemos encontrar cerca de 66 volcanes activos.

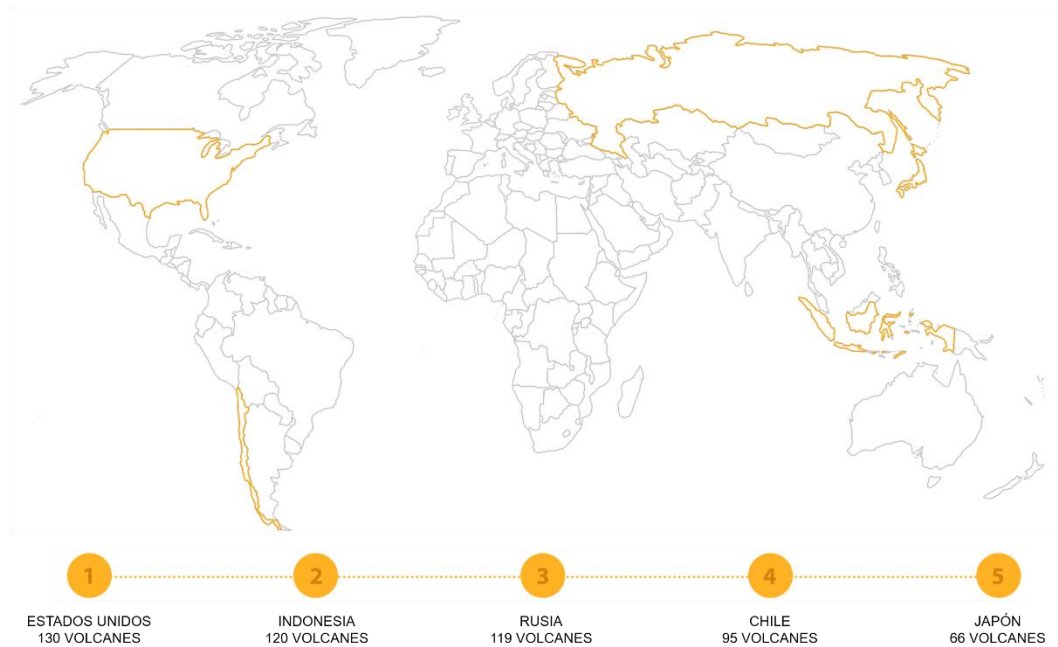


Figura 20. Volcanes en el mundo. Fuente: Elaboración propia.

Chile se encuentra ubicado en uno de los márgenes continentales volcánicos más activos del planeta. Donde las placas tectónicas de la tierra se separan, juntan y rompen, lo que conlleva a que cada uno de estos hechos genere magma en la profundidad de la tierra, el cual asciende hacia la superficie terrestre dando origen a los fenómenos volcánicos o eventos de actividad volcánica. Es así como estos hitos naturales de actividad volcánica se presentan prácticamente a lo largo de todo del territorio nacional en un indeterminado número aún para la ciencia y los estudios de la tierra.

Específicamente en Chile tanto continental como también insular se pueden encontrar alrededor de 2,900 volcanes de los cuales según expertos en estos hitos naturales solo 90 se encuentran en un estado activo, principalmente localizados en el cordón de la Cordillera de Los Andes. De estos ejemplares 45 están siendo monitoreados instrumentalmente de manera constante por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica del Sernageomin. Al mismo tiempo se han localizado al menos 7 volcanes activos en el territorio Antártico Chileno.

Los volcanes se pueden clasificar y diferenciar por sus niveles de riesgo y peligro principalmente por dos factores:

1. Variables geológicas como su historia eruptiva, y las zonas afectadas por diferentes procesos volcánicos, su magnitud y recurrencia de erupciones.
2. Variables de exposición como la población expuesta y presencia de infraestructura crítica en las cercanías de ellos.

A nivel territorial nacional la mayoría de los volcanes se encuentran en la zona centro-sur, por lo que se define como una de las principales zonas de la investigación y desarrollo del tema.

En Chile como se menciona anteriormente se encuentran cerca de 90 volcanes activos, 15 de los más importantes con respecto a su nivel de actividad y peligrosidad son:



Figura 21. Ranking Volcanes Activos. Fuente: SERNAGEOMIN 2019.

De los 10 volcanes antes mencionados, 8 se encuentran en la zona sur del territorio nacional, por lo que se identifica esta zona como potencialmente activa volcánicamente hablando.

El Volcán Villarrica es un estrato volcán de 2847 mm de altitud, se encuentra ubicado en el límite de la Región de la Araucanía y la Región de Los Ríos, específicamente a 16 km de la localidad de Pucón, además de estar rodeado de otras localidades como Calafquen, Licanray y Villarrica como una de las más

importantes. Geográficamente también se encuentran dos lagos importantes del territorio natural que son el Lago Villarrica y el Lago Calafquen.

Este Volcán es uno de los más activos del país, la peligrosidad de este volcán se debe a la gran cantidad de población que vive a sus alrededores, ya que, Pucón y Villarrica, además del resto de las pequeñas localidades colindantes, son un gran atractivo turístico para los usuarios aparte de la gran población de habitantes que residen en este territorio. Además, a lo largo del tiempo en los últimos 100 años el Volcán Villarrica ha hecho erupción 8 veces que han dejado más de 300 víctimas fatales y localidades que han resultado con un gran daño.

El mayor peligro de este volcán más que la lava en sí, son los flujos laharicos que se producen cuando la lava o los restos que arroja un volcán al erupcionar, hacen contacto con la nieve presente del territorio, ya que, al derretirse generado grandes aluviones que pueden afectar a la población y al territorio.

“La combinación de aspectos de peligrosidad (tipo, recurrencia y magnitud de los procesos volcánicos) sumado a los de exposición (población e infraestructura crítica expuesta a peligros volcánicos) hacen que el Villarrica lidere el ranking de riesgo volcánico en Chile”. (Domeyko, A. 2020, p4)

2. ENERGÍA GEOTERMICA

La energía de la Tierra, mejor conocida como energía geotérmica o geotermia, es una energía renovable, prácticamente inagotable, con una madurez tecnológica sólida, limpia, versátil y útil para generar electricidad, entre otras múltiples aplicaciones. Debido a que sus emisiones se componen prácticamente de vapor de agua, su uso no presenta riesgo ambiental para nuestro planeta. Hoy en día, la geotermia representa el 0.4 por ciento del total de la generación eléctrica mundial, aun cuando sólo se explotan los sistemas hidrotermales de alta temperatura, que constituyen una fracción muy pequeña de la inmensa cantidad de energía disponible en la Tierra. Sin embargo, estudios científicos recientes relacionados con el desarrollo de técnicas mejoradas de exploración y explotación para nuevas generaciones de sistemas geotérmicos muestran que, a mediano plazo, la generación geo termoeléctricas se convertirá en una pieza clave dentro del abanico energético mundial. El propósito de este artículo es presentar una breve descripción de las principales características de la geotermia, incluyendo sus beneficios, sus escenarios actuales y futuros de desarrollo, así como las tendencias de investigación que actualmente se realizan para su desarrollo sustentable.

La palabra Geotermia proviene del griego geo, tierra; y termo, calor. Esta se define como la energía o calor natural proveniente del interior del planeta Tierra.

Según Torres, este calor proviene básicamente del colapso gravitatorio que formó al planeta Tierra y de la desintegración radioactiva de elementos como son los isotopos de uranio, torio y potasio en la corteza terrestre. El flujo de calor que proviene desde el interior del planeta hacia sus estratos superiores de la corteza produce cambios de temperaturas a distintas profundidades, los cuales se conocen como gradientes geotérmicos (Torres y colaboradores, 1993). Los gradientes geotérmicos pueden variar desde valores normales, es decir, 30 grados centígrados por cada kilómetro de profundidad hasta una aproximadamente 200 grados centígrados por kilómetro de profundidad, específicamente en los bordes de las placas tectónicas donde se produce el deslizamiento de estas favoreciendo así el ascenso del magma. Este gran flujo de calor usualmente calienta grandes extensiones de roca en la profundidad, donde se generan grandes depósitos de aguas y fluidos a altas temperatura denominados Reservorios Geotérmicos o Yacimientos Hidrotermales. Actualmente la tecnología puede aprovechar solo los reservorios geotérmicos para generar electricidad p para aprovechar el calor presente en ellos directamente en otras aplicaciones. La gran cantidad de energía geotérmica que se produce en estos sistemas y los largos tiempos geológicos requeridos para su agotamiento hacen que este tipo de energía

sea considerada como una fuente alterna de energía renovable y prácticamente inagotable. (Torres V.,1993)



Figura 21. Cinturón de fuego del pacifico y placas tectónicas. Fuente: Servicio geológico EE. UU.

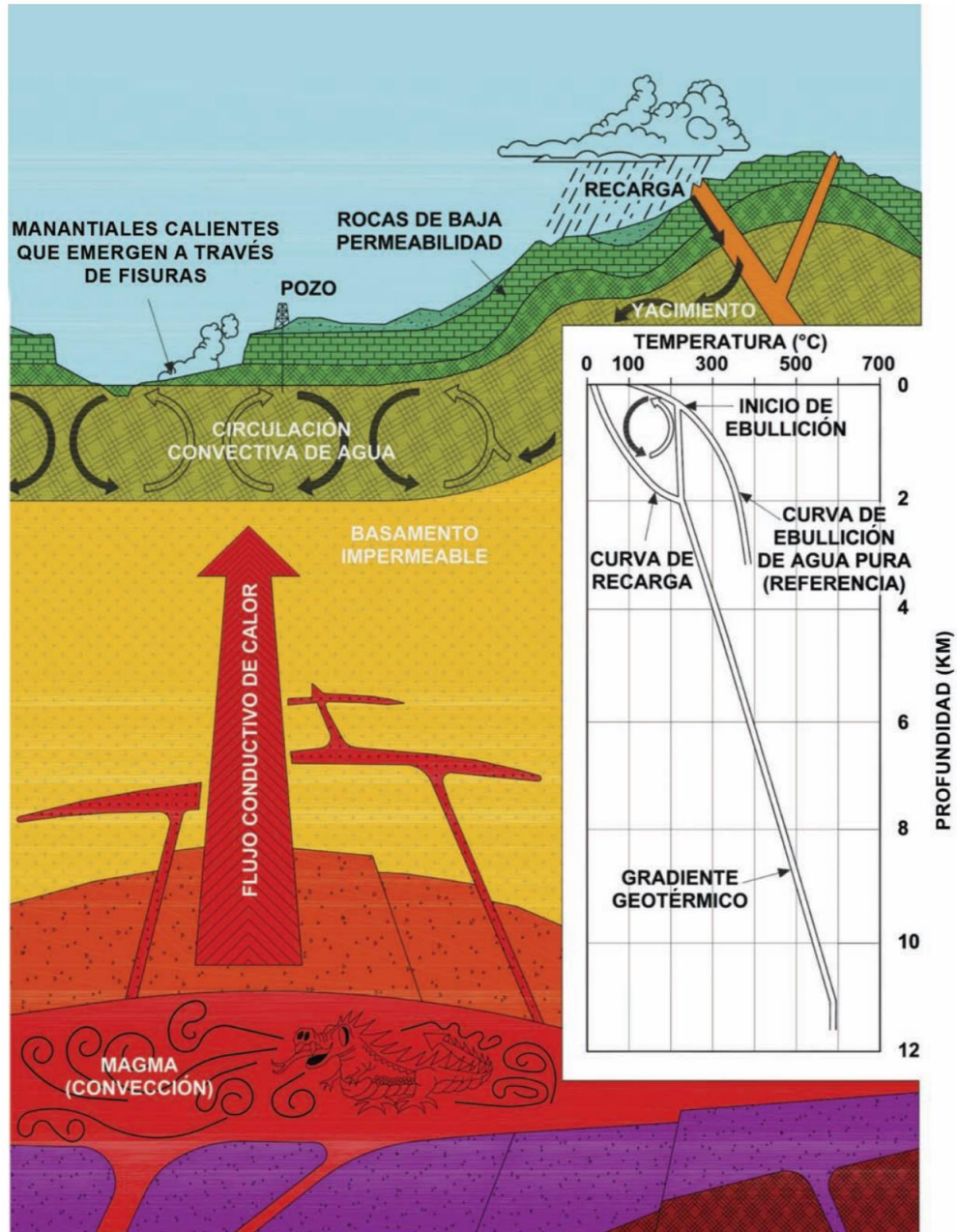


Figura 22. Sistema Geotérmico alta temperatura. Fuente: Édgar Santoyo y Rosa María Barragán-Reyes

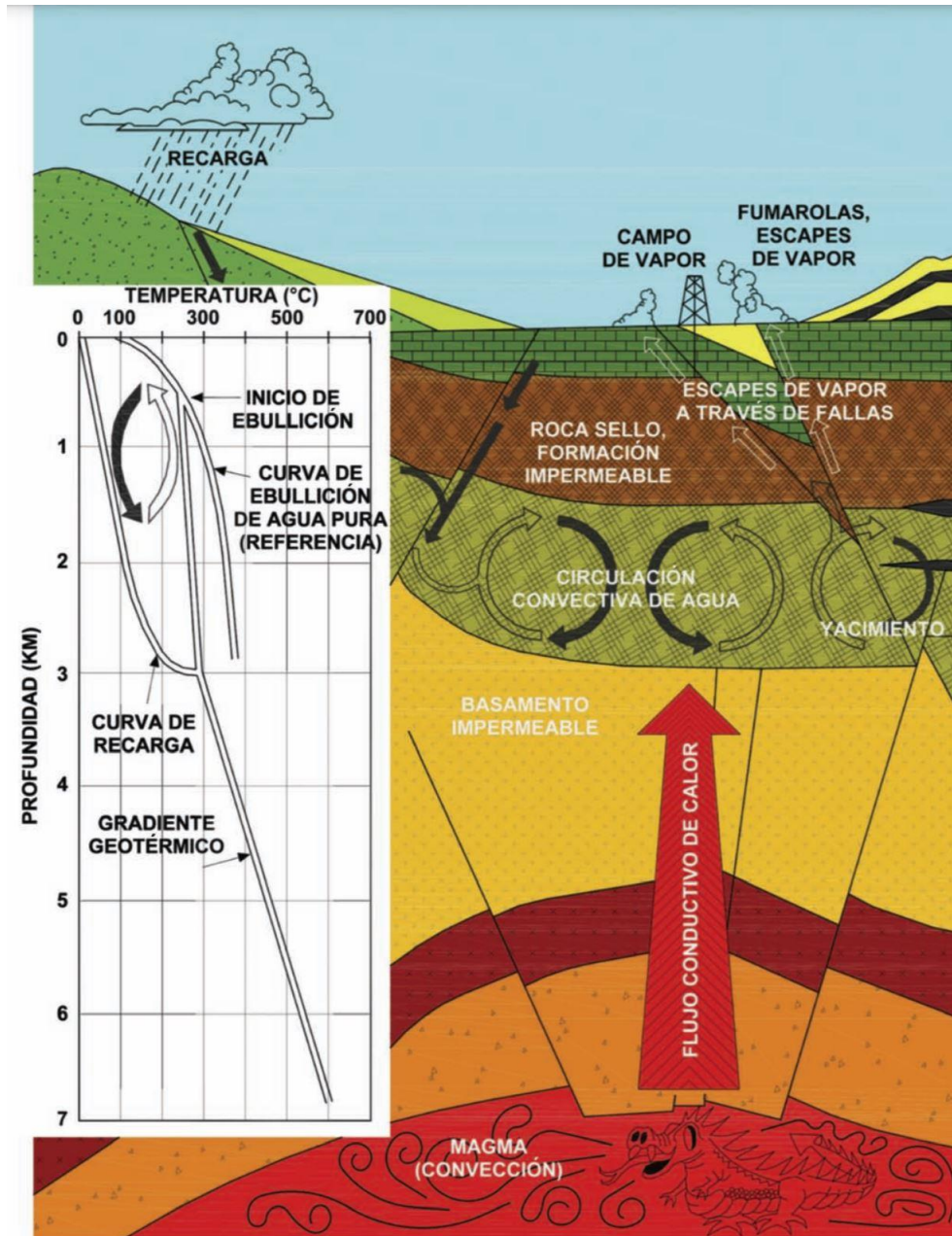


Figura 23. Sistema Geotérmico baja temperatura. Fuente: Édgar Santoyo y Rosa María Barragán-Reyes

2.1. Energía Geotérmica a lo largo del tiempo.

Durante varios siglos las aguas termales se han utilizado con fines biológicos, pero no así, el uso del calor de la tierra como una fuente de energía, ya que, esta comenzó a utilizarse a principios del siglo XX cuando se generó por primera vez electricidad a partir de vapor geotérmico en la ciudad de Larderello, Italia exactamente en el año 1904. Luego en 1913 se estableció una planta eléctrica, la cual tenía un funcionamiento continuo produciendo una electricidad de 12,5 MW. La difusión y el conocimiento de la tecnología y el uso de esta energía natural que entrega el planeta fue bastante lenta hacia otras partes del mundo durante el siglo XX, limitándose principalmente al uso en Italia. Después de un tiempo, el interés por este recurso comenzó a desarrollarse en otras partes del mundo con una explotación pionera intensiva la cual fue llevada a cabo en Nueva Zelanda, Estados Unidos y Japón, donde comenzaron a funcionar las primeras plantas de energía eléctrica en 1958, 1960 y 1961, respectivamente. A diferencia del uso que se le dio al agua geotérmica encontrada bajo tierra, la cual comenzó a utilizarse con fines de calefaccionar a gran escala en Islandia el año 1930, la producción de electricidad mediante la energía geotérmica no fue utilizada hasta el año 1969. En las últimas tres décadas el uso de la energía geotérmica como recurso para la producción de electricidad y calefacción, ha aumentado de manera significativa, principalmente debido a las adiciones de capacidad variable de Filipinas, Estados Unidos, Italia, Nueva Zelanda, Islandia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Rusia. El desarrollo de la energía geotérmica registro una tasa de crecimiento significativa marcando como máximo en un 22,5% cada 5 años entre los años 1980 y 1990, y una tasa ligeramente menor de 16,7% entre 1990 y 2000. (Huttrer, 2001).

Los países en vías de desarrollo tuvieron un crecimiento notable en cuanto a la capacidad geotérmica instalada. En estos países se aumentó de 75 kWe a 462 kWe, entre 1975 y 1979. Hacia 1984 la capacidad ya alcanzaba los 1495 MWe. Hacia el año 2001 el crecimiento era de casi 150 %.

En cuanto a los usos no eléctricos de la geotermia, hacia el año 2000 en el mundo existía una capacidad instalada de 15.145 MWt y 199.699 TJ/año de energía utilizada. La distribución de este uso no eléctrico corresponde a bombas de calor (34,80 %), baños (26,20 %), calefacción (21,62 %), invernaderos (8,22 %), acuicultura (3,93 %) y procesos industriales (3,13 %). (Huttrer, 2001)

2.2. Energía geotérmica en Chile

En Chile la geotermia comenzó en el año 1908 con la formación de una sociedad privada que buscaba la explotación de un territorio geotérmico en el sector del Tatio, región de Antofagasta. Luego en 1921, se hicieron dos grandes perforaciones de 70 y 80 metros, convirtiéndose así en un país pionero en energía geotérmica. En 1968 se consolidó un convenio entre el gobierno de Chile y el programa de Naciones Unidas para el desarrollo, luego de eso en el mismo año se formó el Comité de Aprovechamiento de Energía Geotérmica, el objetivo de este era programar, dirigir y realizar investigaciones y trabajos en posibles zonas de aprovechamiento de este recurso con la posibilidad de ser aprovechado y explotados en un futuro. Se estudiaron distintos territorios dentro del país. Entre los años 1969 y 1980 se llevaron a cabo 13 perforaciones de pozos en la localidad de El Tatio y 6 perforaciones en la localidad de Puchuldiza, estas perforaciones alcanzaban profundidades desde 500 metros hasta 1815 metros. El año 1982 el Comité detiene sus actividades y operaciones. El año 2000 se promulga la Ley de Concesiones geotérmicas, marcando así un hito importante con respecto a la geotermia en el país, esta tiene el objetivo de definir el reglamento para concesiones de exploración y explotación de este recurso. Luego en el año 2008 se promulga la Ley ERNC N°19.657, la cual tiene como objetivo obligar a las empresas que hagan uso de este recurso para la generación de electricidad con una instalación de capacidad de 200 MW a comercializar un 10% de energía que provenga de energías renovables no convencionales o de centrales hidroeléctricas con una capacidad menor a 40.000 kW, sean propios o contratados a otra empresa. El año 2010 se creó en Chile el Ministerio de Energía tras la promulgación de la ley N° 20.257, la cual tiene como objetivo dar autonomía con respecto al Ministerio de Minería. En Chile, las concesiones de energía geotérmica es un derecho entregado por el Estado para el dominio de predios. Existen dos tipos de concesiones, ya sea, para la exploración en una primera etapa y luego para la explotación de este recurso.

2.3. Recursos de la Energía Geotérmica.

Los recursos geotérmicos varían ampliamente de un lugar a otro, dependiendo de la temperatura y profundidad del recurso, la química de la roca y la abundancia de agua subterránea. Los recursos geotérmicos son predominantemente de dos tipos: alta temperatura ($> 200 \text{ }^\circ\text{C}$) como las que se encuentran en las regiones volcánicas y cadenas de islas, y de temperatura moderada a baja ($50\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$) que generalmente se encuentran ampliamente en la mayoría de los continentes.

El tipo de recurso geotérmico determina el método de su utilización. Los recursos de alta temperatura (vapor seco / fluidos calientes) se pueden utilizar provechosamente para generar energía eléctrica, mientras que los recursos de temperatura moderada a baja (agua tibia a caliente) son los más adecuados para usos directos. Sin embargo, con la ayuda de la tecnología moderna, incluso los recursos de temperatura moderada ($100 \text{ }^\circ\text{C}$) se utilizan para la generación de energía eléctrica mediante el método de ciclo binario. El más extenso uso directo de recursos geotérmicos de baja temperatura ($50\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$) está en la calefacción de espacios de edificios individuales o distritos enteros en países fríos. El agua geotérmica se bombea a través de un intercambiador de calor, donde transfiere su calor a los sistemas de suministro de agua de la ciudad. Un segundo intercambiador de calor transfiere el calor al sistema de calefacción del edificio. Otro común uso directo se encuentra en edificios de calefacción o refrigeración que utilizan bombas de calor geotérmicas, que utilizan la temperatura relativamente estable a una profundidad de unos pocos metros en el suelo. Estas bombas hacen circular agua u otros líquidos a través de tuberías enterradas en un circuito continuo. En invierno, la diferencia entre la temperatura subterránea cálida y la atmósfera fría se transfiere a través de las tuberías enterradas al líquido circulante y luego se transfiere nuevamente al edificio. En verano, el fluido que circula por las tuberías recoge el calor del edificio, lo enfría y lo transfiere a la Tierra. En otro uso más, se canalizan aguas geotérmicas de baja temperatura de bajo costo debajo de las carreteras y aceras en Klamath Falls, Oregón, EE. UU., Para evitar que se congelen en invierno. En varias naciones en desarrollo, desprovistas de combustibles fósiles convencionales adecuados, existe un alto potencial de recursos geotérmicos. Por ejemplo, en el Tíbet, sin combustibles fósiles fácilmente disponibles, el campo geotérmico de Nagqu proporciona una fuente de energía útil para la población local con la ayuda de una planta binaria de 1MWe construida en 1993. En países grandes como los Estados Unidos de América, la energía geotérmica no reemplazará a los combustibles fósiles como un recurso energético importante, pero contribuiría significativamente a las necesidades energéticas de la nación.

Aunque la energía geotérmica se ha utilizado para generar electricidad durante aproximadamente nueve décadas y la tecnología para su explotación comercial ha mejorado en las últimas dos décadas, la fácil disponibilidad de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón a precios relativamente bajos no es propicia para un rápido desarrollo de la industria geotérmica. La situación ha cambiado drásticamente en los últimos años. Los precios internacionales del petróleo casi se han duplicado, lo que ha resultado en un mejor mercado para la energía geotérmica. Además, el mundo ha sido alertado sobre el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, el metano y los óxidos de nitrógeno en los escenarios actuales de calentamiento global y sus posibles impactos para la sociedad en general. Se ha reconocido cada vez más que el uso de la energía geotérmica contribuye sólo a una fracción de la contaminación atmosférica en comparación con los combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. El mejor ejemplo proviene de Islandia, donde la energía geotérmica representa aproximadamente el 50% del uso total de energía primaria y el 86% de toda la calefacción de espacios, lo que genera un medio ambiente limpio y una mejor calidad de vida (Fridleifsson, 2001). Hoy en día, además de ser utilizado en al menos 21 países para generar electricidad por un total de aproximadamente 8000MWe (Huttrer, 2001), la energía geotérmica se utiliza en 58 países para usos directos (calefacción y refrigeración de espacios, balnearios, piscicultura, fines agrícolas e industriales) por un total de más de 15.000 MWt (Lund y Freeston, 2001). Filipinas, que tenía la segunda mayor capacidad de generación geotérmica instalada (1900MWe) después de Estados Unidos (2200MWe) en el año 2000 d.C., satisface alrededor del 22-27% de sus necesidades actuales de electricidad a partir de vapor geotérmico. En Estados Unidos, que es el mayor consumidor de energía del mundo, la energía geotérmica representa aproximadamente el 0,4% de su producción total de energía. Se estima que la generación de energía eléctrica en todo el mundo a partir de recursos geotérmicos podría multiplicarse por diez con los niveles tecnológicos actuales. Varios otros países están explorando y evaluando activamente sus recursos geotérmicos para satisfacer sus necesidades energéticas y contribuir a las necesidades energéticas del mundo. Obviamente, el uso futuro de la energía geotérmica dependería en gran medida de la superación de las barreras técnicas tanto en la producción como en la utilización, y su viabilidad económica en comparación con otras fuentes de energía. La voluntad política de los administradores para fomentar un recurso energético alternativo ambientalmente aceptable también jugará un papel muy importante.

2.4. Clasificación de sistemas geotérmicos

La energía geotérmica nos entrega diferentes recursos los cuales se obtienen de diferentes fuentes de calor, el tipo de transferencia de calor, la temperatura del reservorio geotérmico, el estado físico, la utilización y el contacto geológico. Cuando se definen de acuerdo con la naturaleza del sistema geológico donde se producen las diferentes categorías son las siguientes:

- **Sistemas geotérmicos volcánicos:** estos sistemas están directamente asociados a la actividad volcánica, es decir, territorios donde existe la presencia de un hito natural como lo es un volcán. La fuente de calor de este sistema está ligada directamente a la presencia de magma e intrusiones calientes de la zona. La mayoría de las veces se encuentran ubicadas dentro o cerca de complejos volcánicos, tales como calderas o volcanes ubicados la mayoría en límites de las placas tectónicas o en zonas de áreas calientes. En los sistemas geotérmicos volcánicos, son principalmente fracturas permeables y zonas de fallas que controlan el flujo del agua.

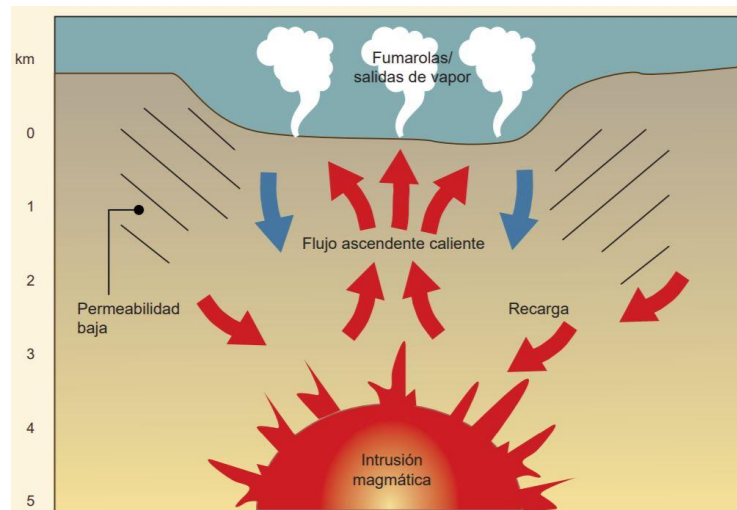


Fig. 24. Sistema geotérmico volcánico. Fuente: Saemundsson, Axelsson y Steingrímsson 2011.

- **Sistemas convectivos de fracturas controladas:** estos sistemas están ligados directamente a la fuente de calor de la costra caliente a profundidad en áreas tectónicas activas, las cuales tienen un flujo de calor más alto que el promedio. En este caso el agua geotérmica circula hasta una gran profundidad (> 1 km), mayormente por fracturas verticales.

- Sistemas geotérmicos sedimentarios: estos sistemas se encuentran principalmente en las cuencas sedimentarias del planeta. Se forman a través de la generación de capas sedimentarias permeables ubicadas a grandes profundidades (> 1 km) y gradientes geotérmicos por sobre el promedio de lo general (> 30 ° C/km).
- Sistemas geotérmicos geo presurizados: son sistemas análogos a yacimientos de petróleo y gases geo presurizados en los que los fluidos quedan atrapados en trampas estratigráficas puede tener presiones cercanas a valores litostaticos. Estos sistemas son normalmente bastante profundos.

2.5. Fases de desarrollo de un proyecto de energía geotérmica

El desarrollo de un proyecto de energía geotérmica desde sus primeras investigaciones y exploraciones de este mismo y el territorio hasta que esté listo para ser explotado dura aproximadamente 7 años, el cual comúnmente se divide en 7 fases esenciales para el éxito de este. Sin embargo, el tiempo de desarrollo puede variar, dependiendo de las condiciones geológicas, climáticas, normativas y contextuales de un territorio.

Cada fase para el desarrollo de un proyecto de investigación y explotación de energía geotérmica consiste en cumplir varios objetivos y tareas. Estas serán decisivas para decidir si se continua o se decide dar marcha atrás con el fin de asegurar el éxito de este. Las primeras tres fases son fundamentales, desde los primeros indicios de reconocimiento del territorio a nivel general hasta la exploración territorial y perforaciones de prueba. Específicamente la primera parte del desarrollo de proyecto se denomina Fase de Exploración Geotérmica, esta es la que confirma la existencia o ausencia de un reservorio o yacimiento geotérmico adecuado para la generación de energía. Esta etapa se denomina como una de las más esenciales, ya que, es la más riesgosa y decisivas para la continuación de este.

2.5.1. Inspección topográfica

La fase de inspección topográfica preliminar consta de un primer reconocimiento de un territorio o lugar con recursos geotérmicos o la presencia de esta energía basada en un estudio a nivel nacional o regional de la zona. En el caso de que no exista un plan maestro geotérmico, normalmente se realizan estudios basados en datos y literatura que estén disponibles, incluso en algunos casos se ejecuta un trabajo propio de reconocimiento de para tener un indicio de la presencia de este recurso para seleccionar el área en la cual se solicitara la concesión de exploración. Estos estudios y métodos requieren de una revisión de estudios geológicos de suelos. Luego de seleccionar un territorio o lugar en específico, comienza a desarrollarse un estudio de prefactibilidad con el propósito de explorar la posibilidad de la existencia de un reservorio geotérmico y así poder obtener un primer número estimado del potencial de energía geotérmica de este. Este estudio también abarca otro tipo de factores, tales como características de electricidad en el país, sistemas de transmisión de esta misma y también de su distribución, disponibilidad de infraestructuras básicas de este (accesibilidad, carreteras, agua, comunicación, etc.) y temas ambientales y sociales de la zona.

LOGROS/TAREAS	AÑO DE IMPLEMENTACIÓN (INDICATIVO)							Tiempo de vida
	1	2	3	4	5	6	7	
1 Inspección topográfica preliminar	←→							
Recolección de datos, inventario	—							
Inspección topográfica nacional	—							
Selección de áreas prometedoras	—							
EIA y permisos necesarios	—							
Planificación de la exploración	—							
2 Exploración	←→							
Superficie (geológica)	—							
Subsuperficie (geofísica)	—	—						
Geoquímica	—							
Sondeos (MT/TEM)	—	—						
Orificios de gradiente y angostos		—	—					
Adquisición de datos sísmicos		—	—					
Estudio de prefactibilidad		—	—					
3 Perforaciones de prueba			←→					
Orificios angostos			—					
Pozos tamaño real			—	—				
Prueba y estimulación de pozos			—	—				
Pruebas de interferencia				—	—			
Simulación del primer yacimiento				—	—			
4 Revisión y planificación del proyecto		←→						
Evaluación y toma de decisiones		—	—	—				
Estudio de factibilidad y EIA final				—	—			
Plan de perforación			—	—	—			
Diseño de las instalaciones				—	—	—		
Finalización de trámites de financiación/PPA				—	—			
5 Desarrollo de campo				←→				
Pozos de producción				—	—	—		
Pozos de reinyección				—	—	—		
Pozos de agua de enfriamiento				—	—			
Estimulación de pozos				—	—	—		
Simulación del yacimiento					—	—		
6 Construcción					←→			
Tuberías de vapor/agua caliente					—	—	—	
Central eléctrica y enfriamiento					—	—	—	
Subestación y transmisión						—	—	
7 Arranque y puesta en servicio							←→	
8 Operación y mantenimiento								←→

Fig. 25. Tabla tiempos procesos geotérmicos. Fuente: Magnus Gehringer y Víctor Loksha

2.5.2. Exploración geotérmica

El proceso de exploración geotérmica requiere un estudio, examinación, búsqueda o investigación con el propósito de dar sentido y entender lo desconocido de un territorio desconocido. La exploración geotérmica es un conjunto de estudios realizado en diferentes etapas o fases destinadas a un proceso específico cada una, la primera se basa en estudios e investigaciones geológicas, geoquímicas y geofísicas las cuales son realizadas en la superficie de la tierra e in situ en el lugar a investigar. La segunda requiere de un proceso de observación y mediciones directas del subsuelo mediante perforaciones a diferentes profundidades y en distintos puntos. Finalmente, el objetivo de la exploración geotérmica es identificar y definir los sistemas geotérmicos.

La fase de exploración consiste en inspecciones topográficas al nivel de la superficie para confirmar la evaluación de recursos preliminar. La misma empieza tan pronto como el desarrollador del proyecto está satisfecho con los resultados de la Fase 1 y ha cumplido con los requisitos legales.

La situación económica y tecnológica contemporánea y su desarrollo previsible restringe la extracción de energía geotérmica a los pocos kilómetros superiores de la corteza terrestre. Los pozos geotérmicos más profundos, hasta la fecha, tienen menos de 5 km de profundidad. El desarrollo de la tecnología de perforación y el aumento del costo de otros recursos energéticos pueden permitir la perforación más profunda en busca de recursos geotérmicos en un futuro próximo. El marco de la hipótesis de la tectónica de placas proporciona pistas amplias pero útiles sobre las posibles regiones geotérmicas. Una vez que se identifica una región geotérmica, el siguiente paso es utilizar diferentes técnicas de exploración disponibles para localizar áreas potenciales de recursos geotérmicos e identificar objetivos de perforación adecuados para la producción. Es necesario estimar la temperatura, volumen y permeabilidad en profundidad, así como para predecir si el pozo producirá vapor seco, vapor húmedo o simplemente agua caliente. Debido a que los entornos geológicos de las diferentes áreas de recursos geotérmicos varían ampliamente, las herramientas de exploración podrían ser diferentes al igual que la secuencia de las investigaciones. En la mayoría de los casos, la estrategia de exploración para un área en particular es finalizada por un equipo de geólogos, geofísicos e ingenieros de yacimientos sobre la base de toda la información disponible. vapor húmedo o simplemente agua caliente. También es deseable estimar la composición química del fluido que se va a producir. Para obtener esta variada información, es necesario emplear un conjunto de técnicas de exploración. Entre ellos, son importantes:

1. Técnicas geológicas e hidrológicas

Para comprender un sistema geotérmico, es necesario saber profundamente el área geológica de un proyecto y cómo encaja en un contexto geológico y tectónico. Luego de que sean recopilados todos los datos de la literatura posibles y disponibles, los estudios geológicos, estudios y resultados de trabajo de campo pueden llevarse a cabo a nivel territorial regional y local en la Fase de Exploración Geotérmica. Los estudios geológicos se centran primeramente en comprender y estudiar geológicamente el territorio del área de proyecto identificando así las áreas con mayor posibilidad de éxito en una exploración geotérmica profunda. Luego, el objetivo se centra en las áreas más prometedoras con el fin específico de encontrar vías permeables que contengan fluidos geotérmicos desde la fuente más profunda a zonas de menor profundidad del sistema, donde está la posibilidad de que sean explotadas económicamente para la producción de energía geotérmica.

Luego los datos y estudios geológicos del territorio del proyecto se presentan en forma de mapas geológicos, estructurales, columnas estratigráficas y secciones del lugar de proyecto. A su vez, puede desarrollarse un modelo geológico 3D mediante la utilización de un software especializado para el modelado y visualización. Independiente de la forma en que se recopilan los datos se debe abordar la litología, estratigrafía, mineralización hidrotermal, la estructura geológica, la tectónica y el movimiento de las fallas. La historia geológica del área debe resumirse también en un documento separado, el cual debe incluir una breve descripción estratigráfica del territorio local, las unidades litológicas esperadas durante el proceso de perforación y también un resumen de tipos, ubicaciones exactas y naturaleza de estructuras geológicas.

Un resultado positivo del análisis y estudio geológico del territorio es lograr tener una imagen con claridad de la geología regional y local, la estratigrafía y estructura tectónica del territorio, además el reconocimiento de incertidumbres y lagunas de datos que deberán ser abordados en las etapas siguientes de la fase de exploración geotérmica.

2. Técnicas geoquímicas

La geoquímica es una herramienta que puede llegar a ser extremadamente útil en la exploración geotérmica de alta entalpía. El muestreo, análisis y cálculo de la geo termometría química pueden llegar a proporcionar estimaciones que son potencialmente mejores en cuanto a temperatura del recurso. La interpretación de datos geoquímicos puede ser muy útil durante la exploración geotérmica para comprender y desarrollar un entendimiento más amplio sobre la temperatura y extensión del yacimiento o reservorio geotérmico y así determinar si el recurso está lo suficientemente desarrollado y a una temperatura apta para ser utilizado como generador de electricidad geotérmica. Estos estudios se centran en comprender las fuentes de fluidos geotérmicos, las rutas de flujo, evaluar cuales son los posibles problemas operativos que podrían surgir en el desarrollo, como el estancamiento de pozos. La corrosión y las concentraciones de gases no condensables. Los estudios de gas, que son un avance reciente en la evaluación geoquímica que se realizará durante la etapa de exploración regional, se están volviendo cada vez más populares para complementar las técnicas de geo termometría, debido a que el CO elevado 2 en la superficie puede indicar la presencia de fallas permeables o la extensión de un sistema geotérmico activo. Un resultado exitoso de las técnicas y estudios geoquímicos podría ser la indicación de la distribución de las temperaturas dentro de un territorio geotérmico, además de un rango de temperatura máxima en el territorio.

3. Técnicas geofísicas

Los estudios geofísicos son un recurso y herramienta indispensable para la exploración geotérmica. Estos ayudan a determinar la comprensión de la estratigrafía, estructura y flujo de calor de la zona a investigar. Para lograr reconocer cual es la técnica geofísica más apta o apropiada y rentable en una exploración geotérmica se requiere de la participación de científicos geotérmicos experimentados. Existen varios tipos de estudios geofísicos que se pueden realizar. Estos incluyen estudios de gravedad, perforación de gradiente de temperatura, estudios de resistencia eléctrica y electromagnética y técnicas sísmicas 2D y 3D. En algunos territorios geológicos, los levantamientos de reflexión sísmica pueden generar información importante sobre los niveles de profundidad de las unidades litológicas, las rocas del reservorio geotérmico y fallas que la compensan, pero el valor de los datos no siempre logra justificar el costo de realizar este levantamiento. Es por esto por lo que los levantamientos geofísicos deben ser bien planificados y ejecutados.

Los levantamientos geofísicos son herramientas indispensables en la exploración geotérmica. Ayudan a limitar nuestra comprensión de la estratigrafía, la estructura y el flujo de calor. Identificar qué técnica geofísica podría ser la más apropiada y rentable en cualquier programa de exploración específico requiere la participación de científicos geotérmicos experimentados. Hay muchos tipos de estudios geofísicos que se pueden realizar. Incluyen estudios de gravedad, perforación de gradiente de temperatura (también denominados estudios de flujo de calor), estudios de resistividad eléctrica y electromagnética (en particular magnetotelúrico, pero también hay varios otros) y técnicas sísmicas 2D y 3D. En algunos entornos geológicos, los levantamientos de reflexión sísmica pueden proporcionar información valiosa sobre la profundidad de las unidades litológicas, las rocas del yacimiento y las fallas que las compensan, pero el valor de los datos adicionales no siempre puede justificar el costo de realizar el levantamiento y, por lo tanto, los levantamientos geofísicos deberían estar bien planificados y ejecutados. (Gehring, M.; Loksha, V; 2012)

2.5.3. Perforación exploratoria

Los primeros pozos exploratorios de diámetro completo se perforan durante esta fase. Suele haber una demora mientras se obtienen los fondos para la perforación. La perforación de los primeros pozos en cualquier proyecto representa el período de mayor riesgo. Por lo general, se perforan al menos dos, pero más a menudo tres, pozos profundos para demostrar la viabilidad de la producción e inyección comerciales. Es posible que se requieran más pozos, según el tamaño del proyecto a desarrollar y el éxito en la búsqueda de un recurso geotérmico viable con la primera serie de pozos. La perforación, el registro y las pruebas mejoran significativamente la comprensión del recurso, lo que permite:

- Refinamiento de la estimación del recurso calorífico.
- Determinación de la productividad promedio del pozo (estableciendo así el alcance de la perforación futura).
- Selección de los sitios de los pozos, objetivos, trayectoria del pozo y diseño para los pozos de producción e inyección restantes.
- Desarrollo de un diseño preliminar para la planta de energía y el sistema de recolección.

Antes de emprender cualquiera de estos estudios detallados, es necesario realizar una búsqueda y un examen detallados de la literatura existente relevante. Para muchas áreas, ya existe información geológica, hidrológica, geoquímica, geofísica, topográfica y meteorológica útil, la cual debería ser utilizada plenamente antes de emprender una exploración adicional. (Gehring, M.; Loksha, V; 2012)

3. Modelos de exploración de territorios hostiles e inhóspitos

La exploración y el objetivo de descubrir territorios o espacios desconocidos para el ser humano es algo que viene dentro de su comportamiento natural desde hace bastante tiempo. “Hace dos millones de años, los humanos evolucionaron en África para luego, poco a poco extenderse por todo el planeta y adentrarse en tierras salvajes más allá de sus hogares. Lo llevamos dentro. Y prosperaron haciendo eso. Alguno de los mayores avances de la civilización y la tecnología surgieron porque exploramos” (Petranek, S; 2015)

De esto se puede deducir que el ser humano desde el principio de su existencia tiene como instinto explorar lo desconocido y lo incierto.

El ser humano ha demostrado que es capaz de lograr cualquier cosa cuando hablamos sobre la exploración de territorios hostiles e inhóspitos desconocido, desde generar planes de gestión para la exploración hasta diseñar espacios que permitan la habitabilidad y sobrevivencia del en territorios como estos, desde recorrer miles de kilómetros para colonizar nuevos territorios (continentes), hasta la exploración de los extremos del planeta como los son el polo norte y el continente antártico, donde se encuentran condiciones extremas de habitabilidad para el ser humano. También el ser humano ha llegado hasta el punto de llegar a explorar territorios que se encuentran fuera de nuestro planeta con el fin de tener el conocimiento de lo que sucede y las condiciones que se presentan en esto. Sin embargo, con el avance tecnológico y el diseño de herramientas y artefactos que permitan estas exploraciones ha llegado hasta niveles que estos territorios logran ser habitados y explorados no solo por especialistas, sino que también por turistas. En definitiva, todo esto ha podido lograrse por el avance tecnológico en artefactos y sistemas de investigación destinados a territorios específicos con condiciones específicas para la habitabilidad.

3.1. Estrategias sistémicas de exploración en territorios hostiles e inhóspitos

A lo largo del tiempo se han ejecutado distintas exploraciones a territorios hostiles que han requerido un sistema logístico para lograr un objetivo específico, esto quiere decir que antes de habitar un territorio hostil e inhóspito se debe tener en cuenta cuales son las condiciones de habitabilidad de este y cuáles son los distintos factores que se presentan. De esta manera se presentan dos tipologías de exploraciones que han implementado distintos sistemas para lograr un objetivo en común. En primer lugar, se presenta la carrera espacial y el objetivo de explorar el espacio exterior, en ese sentido varios países han implementado distintos sistemas estratégicos que de la mano con la evolución de la tecnología han logrado construir sistemas habitables en un territorio completamente hostil e inhóspito, ya que, las condiciones de vida natural del ser humano son nulas. Luego con el paso del tiempo y cumplir con ciertas pruebas y exploraciones se han ido definiendo ciertos sistemas espaciales que logren generar una habitabilidad de manera confortable, en concreto, se presenta la estación espacial internacional la cual recibe a personas especializadas para la exploración y estudios del espacio. Esta gran obra espacial está compuesta por distintos módulos programáticos que trabajan mediante el acople y desacople, generando un sistema de modulación programático.

En segundo lugar, se presenta el caso de las distintas exploraciones que han surgido al continente Antártico, donde con el paso del tiempo se han logrado generar asentamientos de distintos países con el fin de tener bases de investigación concretas para el estudio de este tipo de territorios. Estos sistemas de exploración tienen un objetivo en común, ser espacios habitables confortables que permitan la investigación y actividades necesarias para el estudio de estos territorios. Además, estos asentamientos logran estos objetivos en base a diferentes logísticas y estrategias sistémicas.

“Desde la estación, equipos de científicos pueden volar a campamentos en lo profundo del interior antártico, sondear las profundidades del océano y tomar helicópteros de regreso, con destino a los valles secos cercanos a la base McMurdo” (New York Times, 2017).

The background of the page is a dark gray topographic map with white contour lines. The lines are more densely packed in the center, forming a circular pattern that suggests a central peak or a specific geographical feature. The overall texture is intricate and detailed.

TEMA

“SISTEMAS DE HABITABILIDAD EN TERRITORIOS
NATURALES HOSTILES E INHOSPITOS”

TEMA

1. Sistemas de Habitabilidad en Territorios Naturales Hostiles e Inhóspitos.

“La habitabilidad es una cualidad del espacio que se fundamenta en múltiples aspectos más allá de los aspectos arquitectónicos. Un lugar puede ser habitable, vivible, si tiene características afectivas que no necesariamente son físicos espaciales. Pocas cosas pueden ser para muchos de nosotros más vivibles que la casa donde nacimos, donde vivieron nuestros padres, donde sucedieron eventos significativos. Estas particularidades pueden ser independientes de las características formales del lugar. Cuando en un lugar se suman ambos aspectos se logra una plenitud en la experiencia de estar en un sitio.” (Sánchez, 2009).

En cuanto a esto el tema nace por la obsesión de la búsqueda, observación y comprensión del habitar territorios hostiles e inhóspitos para el ser humano. A lo largo de la historia en el universo se han ido descubriendo distintos tipos de territorios los cuales según la necesidad y oportunidad de cada especie han definido un territorio en específico que presente las cualidades aptas para su habitar. Así mismo, el ser humano en su naturaleza ha buscado, generado y construido espacios habitables que cumplan con la conformidad de el mismo para lograr subsistir a las distintas condiciones territoriales que se fueron presentando en el lugar. De esta misma manera se ha adaptado o ha encontrado distintas formas de subsistir en espacios para los cuales no es capaz de habitar en su forma natural, esto se debe a la evolución durante lo largo de los años, ya sea, en su morfología o en la manera de pensar para diseñar o crear herramientas que le han permitido lograr este propósito.

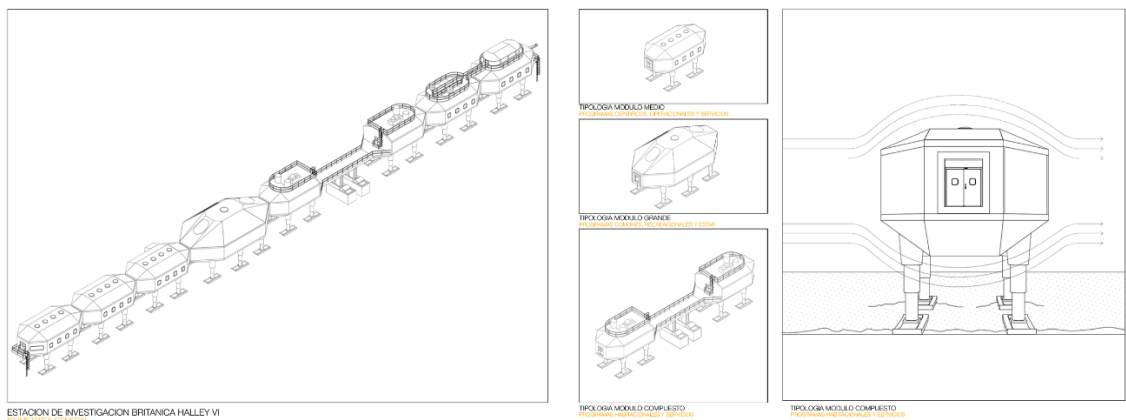


Fig. 1. Esquema Estación Británica de Investigación Halley VI. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a esto el ser humano ha habitado espacios que nunca habían sido pensado ser habitados debido a las dificultades presentadas en estos distintos espacios y factores que no permiten el habitar en su naturalidad. Por ejemplo, el ser humano ha habitado el territorio antártico donde existen factores territoriales hostiles e inhóspitos para el habitar, ya sea por las temperaturas extremas bajo cero o las condiciones territoriales que produce la nieve y glaciares, en este caso se diseñaron bases antárticas de distintas tipologías y orígenes que permiten mitigar estas condiciones. Al mismo tiempo, se han creado sistemas espaciales permiten generar un espacio habitable en un territorio completamente inhabitable en condiciones normales del ser humano, como lo son las distintas estaciones, bases y naves espaciales.

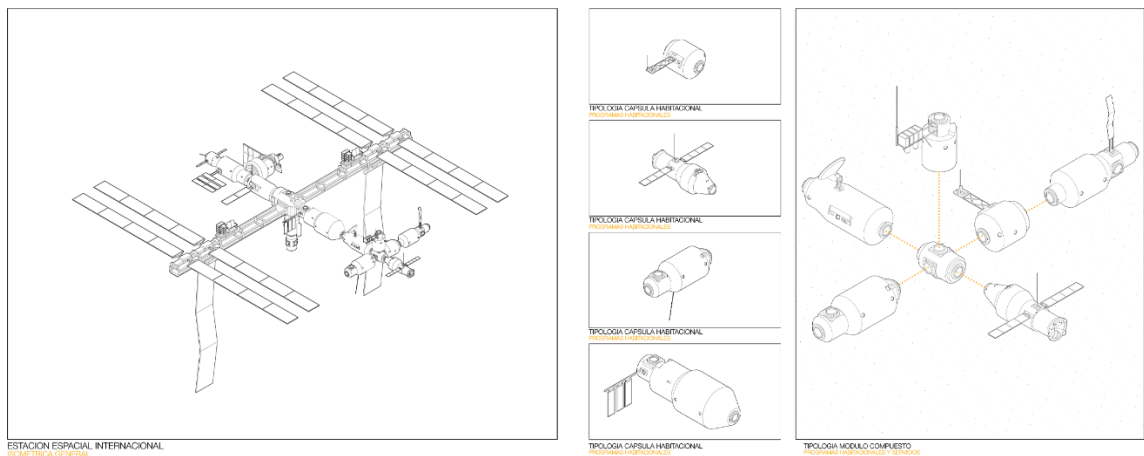


Fig. 2. Estación Espacial Internacional (ISS). Fuente: Elaboración propia.

2. Zonas de Actividad Volcánica: Territorio Hostil e Inhóspito

Para poder entender los sistemas de habitabilidad primero se debe definir un espacio físico donde se implementarán estos mismos, es por eso por lo que se determina los volcanes como un lugar hostil e inhóspito, definiéndolo de esa manera por ser un territorio natural donde se producen enormes catástrofes naturales de alto peligro como lo son las erupciones volcánicas. Es por esto por lo que luego debemos conocer y estudiar la clasificación, procesos, comportamientos de los volcanes, entendiendo, así como se generan las erupciones y todas sus consecuencias derivadas de ellas.

Debemos entender que las erupciones volcánicas en general es un hecho natural que se considera una catástrofe en todo el planeta, ya que, son altamente peligrosas por su nivel de destrucción y también todas las consecuencias y daños que pueden generar. Pero aun así a lo largo de la historia desde el principio de los asentamientos humanos podemos encontrar civilizaciones y localidades que se han emplazado alrededor de estas estructuras geológicas históricas. Esto nos hace entender que los volcanes no solo causan estragos y consecuencias para el ecosistema y seres que lo rodean, sino también hay algunas características y razones por las cuales estas mismas civilizaciones se encuentran en este tipo de territorios.

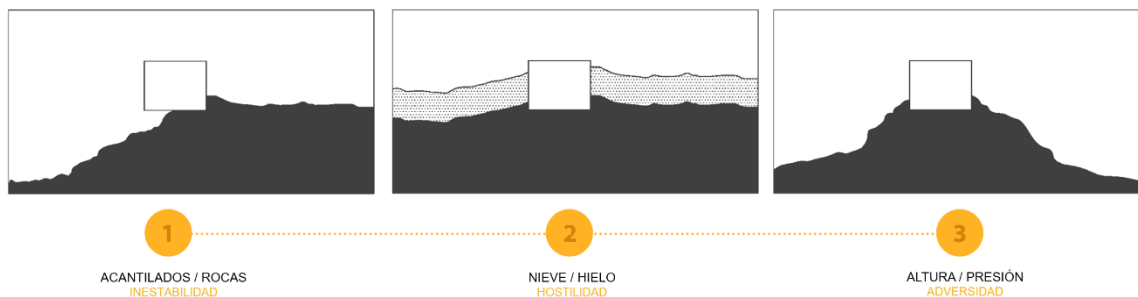


Fig. 3. Factores de riesgo territorial. Fuente: Elaboración propia.

Los volcanes como territorio natural hostil e inhóspito no solo traen consecuencias y daños, sino que también ventajas y beneficios por lo cual esta investigación busca estudiarlas, analizarlas y comprenderlas para así poder entender como esto se puede llevar a la arquitectura de manera de en un futuro la convivencia con estos hitos naturales se de manera armónica y beneficiosa para el ser humano. Finalmente, a lo largo del tiempo los estudios geológicos y geográficos de los volcanes han podido definir que tales catástrofes se pueden estudiar y seguir para así predecir estos acontecimientos naturales que hacen que un territorio natural sea hostil e inhóspito.

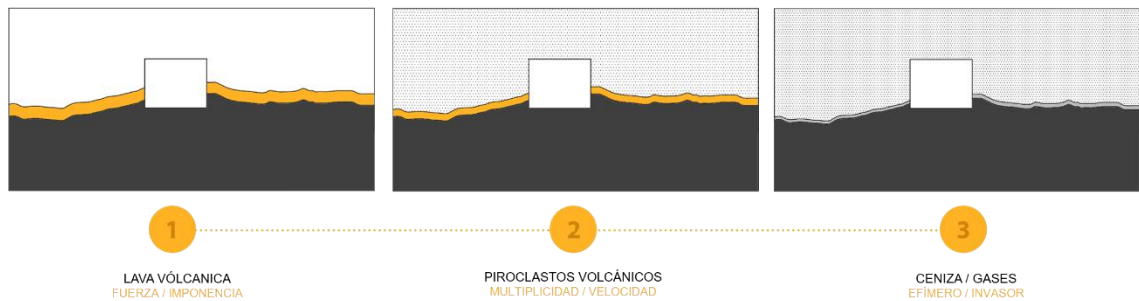


Fig. 4. Factores de riesgo volcánico. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera es como el proyecto busca ser un mediador entre un territorio natural hostil e inhóspito y un sistema de habitabilidad el cual no genere un impacto en su ecosistema, permita la habitabilidad en el lugar tanto en cuanto a necesidades específicas del usuario y el programa, pero más aún necesidades tecnológicas y de diseño que logren capaces de mitigar los riesgos y peligros de este territorio, esto busca ser logrado tanto en base a técnicas de diseño y tecnología, como también en cuanto a sistemas de transporte y accesibilidad del proyecto al territorio.

3. Arquitectura Modular como Sistema de Habitabilidad

Se define como metodología arquitectónica el uso de un Sistema de Habitabilidad Modular con el fin de generar un sistema efímero, modulable y transportable, que facilite el desarrollo de este mismo. En primer lugar, un sistema se define como un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad, esto se traduce en que el proyecto debe seguir con un procedimiento establecido por etapas o fases tanto constructivas, como también programáticas para cumplir con un objetivo específico. En segundo lugar, se define como arquitectura modular aquella que su base de diseño se rige a través un diseño de volúmenes o componentes individuales, que al unirse generan un conjunto específico con una utilidad particular.

The background of the entire page is a dark gray topographic map. It features intricate contour lines that represent elevation changes across a landscape. The lines are most densely packed in the center, indicating a high peak or mountain range, and become more widely spaced towards the edges. The overall effect is a textured, monochromatic representation of a geographical area.

LUGAR
VOLCÁN VILLARRICA
CORDÓN VOLCÁNICO ZONA SUR
CHILE

LUGAR

En el planeta tierra existen alrededor de 500 a 600 volcanes activos hoy en día, haciendo erupciones hacia la atmosfera, otros con erupciones submarinas y varios que ya están extintos. Los volcanes se forman por lo general en los límites de placas tectónicas o también en puntos calientes de la tierra. La mayoría de estos volcanes se encuentran en el cinturón de fuego del pacifico, ubicado alrededor del océano pacifico, específicamente en el encuentro de las placas tectónicas sudamericana y la placa de nazca donde se presenta casi el 62% de volcanes en el mundo.

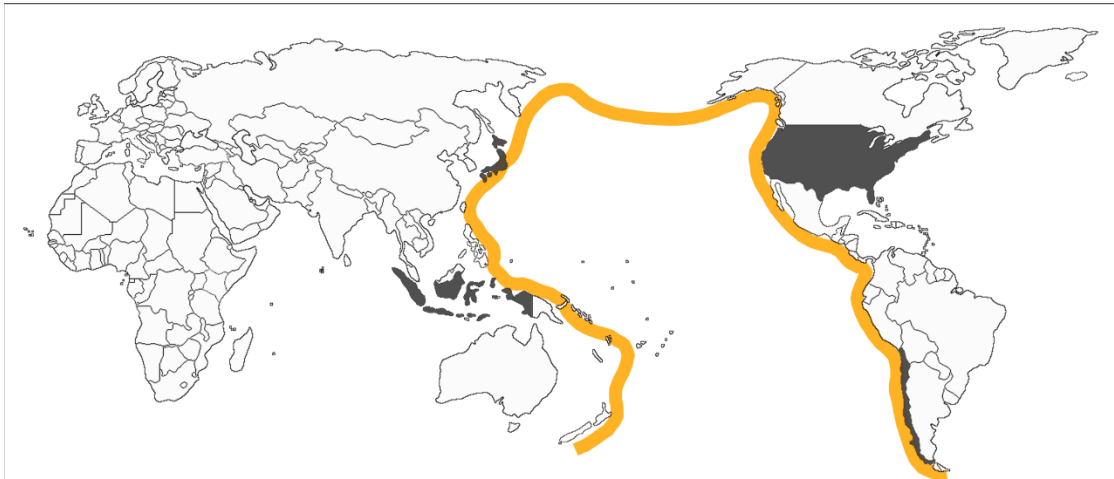


Fig. 5. Cinturón de Fuego del Pacífico. Fuente: Elaboración propia.

Chile es uno de los 5 países con mayor presencia de volcanes en el planeta, con cerca de 2000 volcanes de los cuales 90 se encuentran en estado de actividad, estos están ubicados en el territorio continental e insular principalmente en la cordillera de los Andes. Hoy en día 45 volcanes son monitoreados día a día por la Red Nacional de Vigilancia volcánica. En el territorio Antártico también se puede encontrar la presencia de volcanes identificando al menos 7 ejemplares.

Estos territorios volcánicos presentan grandes peligros por la presencia de estos hitos naturales, transformándolos en territorios hostiles e inhóspito para la habitabilidad del ser humano. Sin embargo, a pesar de todos los riesgos y peligros también existen ventajas y beneficios en su contexto, como lo es la presencia de energía geotérmica debajo de la tierra.

Es por esto por lo que el lugar se propone en el Cordón volcánico de la zona sur del país, específicamente en el Volcán Villarrica, siendo uno de los puntos con mayor oportunidad de

exploración y explotación del país con respecto a beneficios volcánicos, particularmente de energía geotérmica.

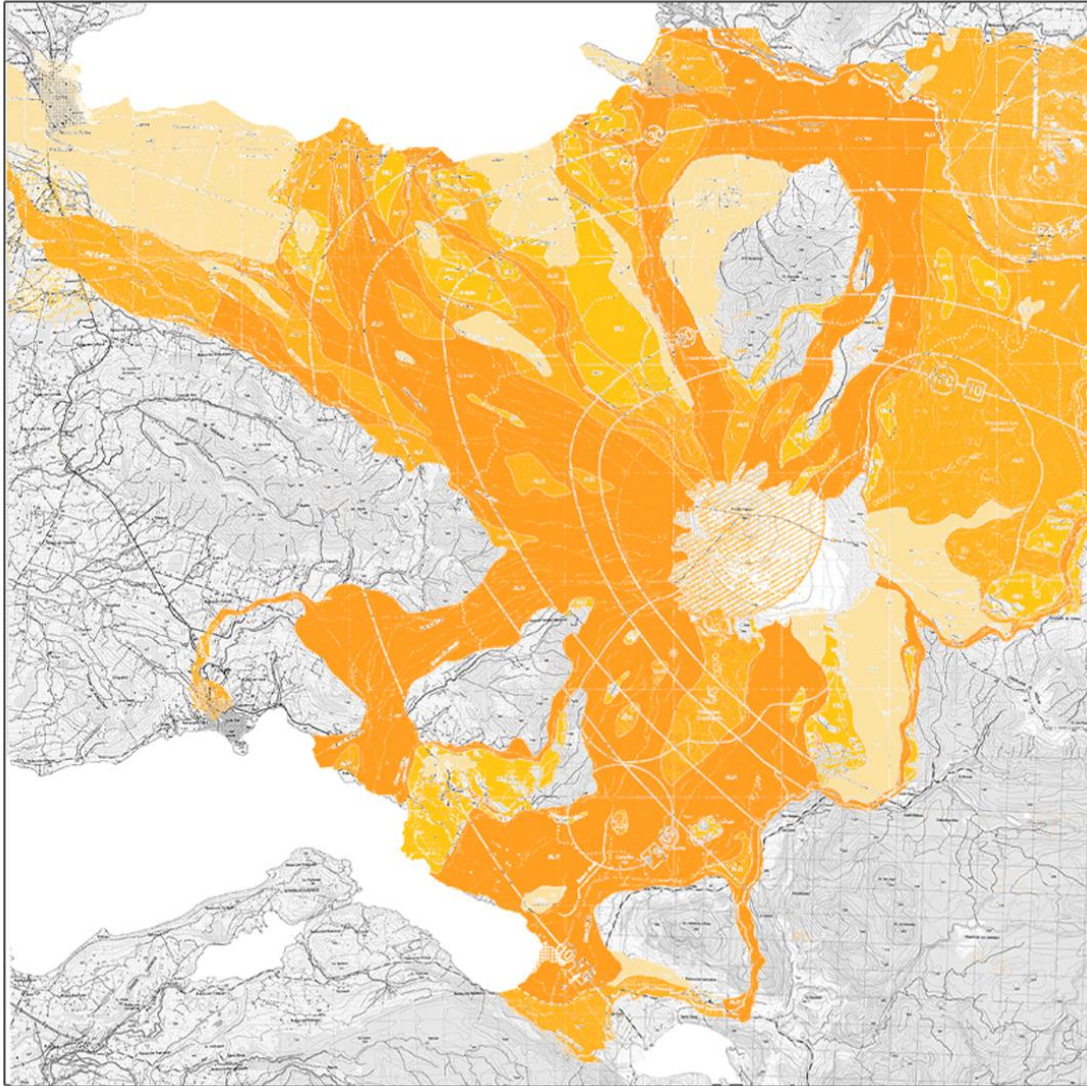


Fig. 6. Plano de riesgo y áreas de peligro volcánico Volcán Villarrica. Fuente: Sernageomin. Elaboración propia.

Finalmente, el lugar se propone como un territorio de exploración el cual, en caso de éxito, el proyecto puede trasladarse a otro territorio similar adaptándose a un tipo de territorio en general.

The background of the page is a dark gray topographic map with white contour lines. A white rectangular border frames the entire page. The text is centered at the bottom.

CASO
ARTEFACTOS PARA LA INVESTIGACIÓN DE
ENERGÍA GEOTÉRMICA

CASO

1. Energía Geotérmica.

La Energía Geotérmica, es conocida también como la energía de la tierra, ya que, es un recurso renovable y natural que se puede obtener desde las capas inferiores de nuestro planeta. Este recurso tiene características casi como ningún otro recurso renovable, ya que, es prácticamente inagotable y limpia. Al estar compuesta principalmente por vapores de agua almacenados al interior de la tierra, se podría decir que no genera un mayor impacto ambiental al planeta si es que es debidamente investigada, explorada y extraída. Este recurso tiene dos niveles de extracción las cuales los dos generan distintos resultados, por un lado, existe la Energía Geotérmica de baja entalpia, la cual se encuentra en niveles más bajos tanto de presión como también de temperatura, por lo que su uso es para objetivos más específicos y zonas más pequeñas, por ejemplo, calefacción de un hogar o edificio de tamaño medio, o también para generar temperaturas estables en invernaderos, entre otras. Por otro lado, está la Energía Geotérmica de alta entalpia, la cual se encuentra a grandes niveles de presión y altas temperatura, esta puede ser usada para calefaccionar edificios de mayor tamaño o también uno de los principales usos es su explotación para generar energía eléctrica para grandes zonas.

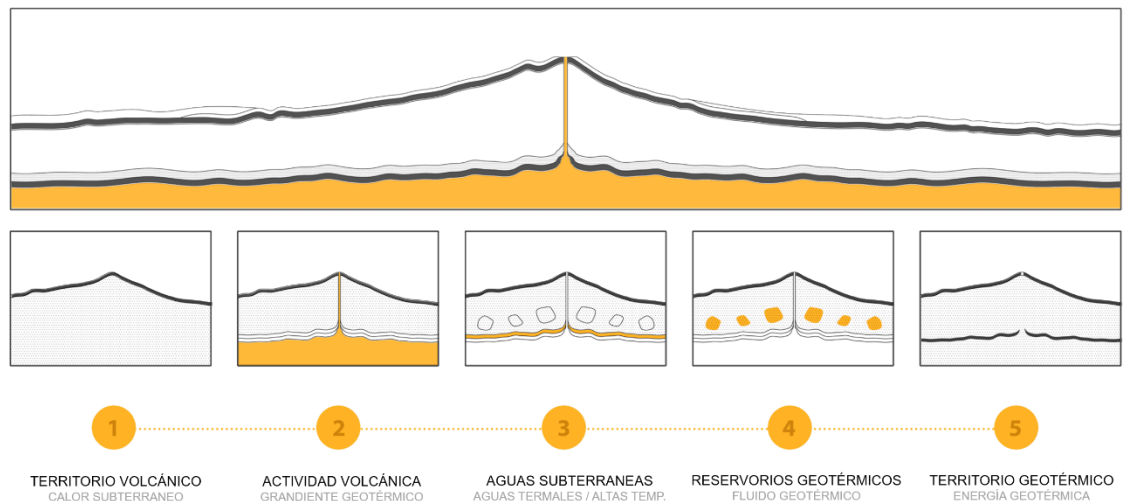


Fig. 7. Factores geotérmicos internos. Fuente: Elaboración propia.

Este recurso natural hoy en día, es uno de los recursos renovables más usados a nivel mundial, grandes países como Estados Unidos, Islandia, Kenia, Rusia, entre otros, ya usan este mismo en varias de sus localidades para abastecer las necesidades de su población. Sin embargo, en

nuestro país aún no existe un nivel considerable de su uso, ya que, solo existe una planta de energía geotérmica y solo algunas personas se ven beneficiadas por este. También hay personas que aprovechan este recurso de manera independiente para calefaccionar sus viviendas. Esto se debe principalmente a que no existen grandes industrias o entidades que se dediquen a la investigación de Energía Geotérmica, ya que, principalmente en nuestro país no existe una base de información definida sobre nuestro territorio, ni tampoco el interés por parte del Estado de aprovecharlo. Por otro lado, también se debe a los costos que genera la investigación de territorios geotérmicos para llegar a resultados positivos que logren entregar los resultados esperados. La investigación de este recurso consta de varias etapas que su avance depende de los resultados que se vayan obteniendo. Este proceso de investigación se denomina Exploración Geotérmica, la cual tiene dos etapas principales denominadas Exploración Superficial y Exploración Profunda.

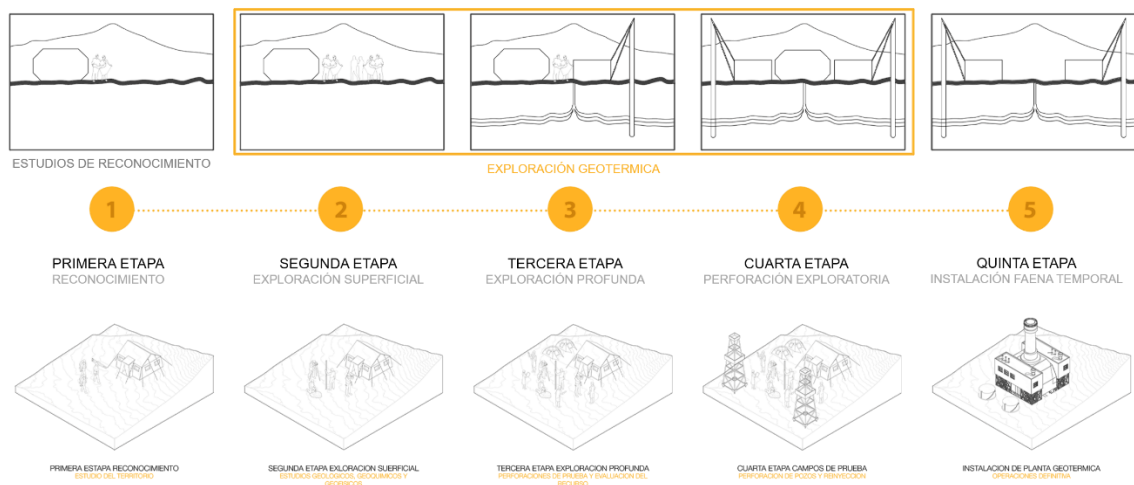


Fig. 8. Etapas y fases Exploración Geotérmica. Fuente: Sega Chile. Elaboración propia.

2. Volcanes: Potenciales Territorios Geotérmicos

Las erupciones volcánicas son una de las catástrofes más poderosas donde la naturaleza se manifiesta, las cuales pueden ser tanto efusivas como también pueden ser explosivas, esto se puede diferenciar a través de la cantidad y el tipo de materiales que expulsan durante estos eventos naturales. Las erupciones efusivas están caracterizadas por emitir principalmente lava de baja explosividad durante la erupción, con un bajo índice de emisión de piroclásticos. Por otro lado, podemos encontrar las erupciones explosivas las cuales están caracterizadas por emitir una cantidad importante de piroclastos y gases, los cuales generan columnas eruptivas que pueden

llegar a alcanzar varios kilómetros de altura sobre los volcanes. La escala que logra establecer los distintos niveles o magnitudes a las que puede llegar una erupción volcánica es el Índice De Explosividad Volcánica del Sernageomin. En esta escala se considera solo el material piroclástico que emite cada erupción, no se considera el volumen de lavas que expulsan los volcanes.

Así mismo, al momento de una erupción volcánica existen áreas que pueden llegar a ser afectadas por los distintos elementos expulsados por un volcán. Esto se puede definir por distintos factores de un volcán, específicamente por factores territoriales y climáticos, es decir, por factores de la geografía de cada territorio, factores climáticos de viento, entre otros. Las distintas áreas y niveles de riesgo de cada zona en un territorio se establecen por los Mapas De Amenaza o Peligro Volcánico del Sernageomin. Un mapa de amenaza o peligro volcánico logra identificar distintas áreas expuestas al efecto directo o indirecto de posibles erupciones volcánicas, a través de distintas formas y escalas de representación, estos distinguen a cada volcán o territorio de los procesos en una erupción volcánica, y proponen una zonificación simplificada e integra. Un mapa de amenaza volcánica es una ayuda para la gestión necesaria para cada erupción. Es decir, una ayuda para la incertidumbre de las erupciones volcánicas y sus impactos, de esta manera puede lograr predecirse a nivel general áreas que pueden ser afectadas para así poder gestionar buenas decisiones al momento de una catástrofe o poder gestionar soluciones anticipadas.

Sin embargo, la protección y resguardo, ante erupciones volcánicas, no siempre solo consiste en una evacuación, sino también, el resguardo necesario para zonas territoriales donde la evacuación no es posible o donde asume un riesgo por su geografía y dificultad de acceso. La geografía de los territorios naturales en algunos casos puede llegar a ser una ventaja o una solución para poder definir zonas de refugio y resguardo ante ciertas catástrofes volcánicas. No obstante, los volcanes que presentan nieve en su territorio, es decir, la mayoría de los volcanes de la zona sur del país, en particular el Volcán Villarrica, puede llegar a producir daños de mayor peligro y severidad. Estos daños además de tener un mayor peligro a su vez tienen un mayor alcance en distancia y volumen, por lo que puede alcanzar a localidades habitadas y un mayor daño en su ecosistema natural. Los refugios y la implementación de zonas que aíslen el peligro y daño de la actividad volcánica, ya que, generan espacios de protección y resguardo, además de una efectiva evacuación ante posibles catástrofes naturales. A lo largo del tiempo se han presenciado grandes erupciones volcánicas, que han perjudicado y dañado a localidades y poblaciones, además de territorios naturales del país y no ha habido refugios donde poder resguardarse y protegerse del peligro inminente.

3. Artefactos para la Investigación de Energía Geotérmica

Para la investigación de la Energía Geotérmica, se requieren distintos tipos de estudios e investigaciones que están divididas en distintas fases o etapas. Cada una de estas etapas tiene un número definido de usuarios requeridos que puedan cumplir con las necesidades de la investigación. Además, cada una de estas fases requiere un proceso distinto de investigación. De esta manera se puede entender la investigación requiere un proceso dependiendo de la fase en la que este.



Fig. 9. Programas de Exploración Geotérmica. Fuente: Elaboración Propia.

Hoy en día no existen métodos específicos que faciliten la investigación de este recurso en territorios complejos que logren mitigar distintas dificultades territoriales que se presenta en el lugar. Además, la metodología de exploración hoy en día consiste en llevar a cabo estas etapas durante un corto periodo para luego llevar las muestras y resultados devuelta a la ciudad donde logren ser investigadas con rigurosidad, ya que, es ahí donde se pueden encontrar los programas y sus instalaciones necesarias.

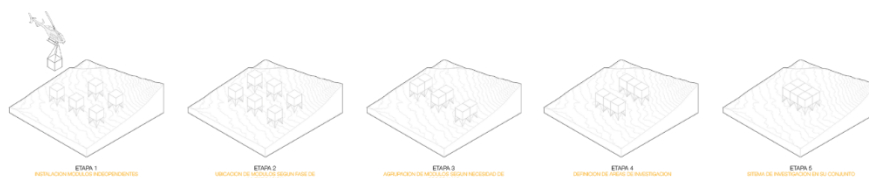


Fig. 10. Lógica módulo respecto a las etapas de exploración. Fuente: Elaboración propia.

Es por esto por lo que el proyecto en específico propone artefactos modulares que puedan cumplir con las necesidades específicas de cada etapa de la investigación durante la Exploración Geotérmica. Estos artefactos proponen espacios programáticos específicos para cada etapa de la investigación, como así también, todas las instalaciones necesarias tanto para su estudio como también para la habitabilidad del usuario.

ESTRATEGIAS PROYECTUALES

- 1.Estrategias Territoriales
- 2.Estrategias Formales Generales
- 3.Estrategias Formales Módulo
- 4.Estrategias Formales Apoyo
- 5.Estrategias Emplazamiento y Evacuación
- 6.Estrategias Modulación y Organizacion

ESTRATEGIAS PROYECTUALES

Las Estrategias Proyectuales en primer lugar se desarrollan en base a los peligros y riesgos territoriales del territorio natural hostil e inhóspito como lo es un volcán, específicamente el Volcán Villarrica. De acuerdo con lo expuesto anteriormente es un territorio en el cual se dificulta su habitabilidad, ya sea, por los riesgos volcánicos o por los factores territoriales y climatológicos.

Hoy en día no existen estrategias particulares que solucionen las necesidades del resguardo de lava o materiales volcánicos expulsados en una erupción. Sin embargo, es de extrema necesidad que exista algún plan de contingencia en caso de que los planes de evacuación ante erupciones volcánicas no funcionen correctamente, es decir, buscar la estrategia de saber sobrellevar una erupción de la manera correcta al refugiarse de esta. Sobre los peligros durante una erupción volcánica, en el caso de las cenizas volcánicas no calientes, es recomendable resguardarse dentro de un lugar seguro y cerrado evitando tener contacto directo con estos restos arrojados. Por otro lado, en el caso de ser cenizas con gases calientes o de restos de lava que alcancen ciertas zonas es recomendable la evacuación inmediata para evitar completamente el contacto directo.

En segundo lugar, se desarrollan estrategias proyectuales desde el artefacto, es decir, desde el módulo para que cumpla con las distintas necesidades que requiere todo el proceso de exploración de Energía Geotérmica. El diseño de estas comienza por lograr incorporar todas las herramientas necesarias para la investigación sin tener la necesidad de llevar las muestras y estudios tomados en el lugar, con el fin de lograr un resultado positivo sin tener mayores gastos económico y lograr optimizar el tiempo de trabajo.

De acuerdo con esto las Estrategias Proyectuales buscan generar una conexión entre los riesgos y peligros volcánicos con las necesidades específicas que requiere una Exploración de Energía Geotérmica. Sin embargo, las estrategias buscan a su vez generar el diseño de un artefacto que le dé al proyecto la cualidad de ser una propuesta de múltiples en emplazamientos y usos, es decir, que este mismo al lograr un resultado positivo en su objetivo sea desacoplado, desarmado y transportado a un nuevo territorio donde se pueda comenzar con otra investigación. Es importante declarar que el proyecto no es estático sino un artefacto con un objetivo específico que logra mitigar distintas condiciones territoriales y geográficas estableciendo un espacio habitable en un lugar inhabitable para el ser humano en su normalidad.

1. Estrategias Territoriales

Los territorios volcánicos se pueden definir como un lugar inhóspito y hostil, ya que, se desarrollan distintos eventos naturales tanto climatológicos como también territoriales. Estos eventos se traducen en bajas temperaturas en algunos casos extremas, nevazones las cuales dependiendo de la altura y el lugar específico pueden llegar a alcanzar grandes alturas. Y en el caso de eventos territoriales se traducen principalmente en erupciones o actividades volcánicas, esto quiere decir que se pueden presentar caídas de lava, lahares, piroclastos y cenizas. Además, podrían presentarse catástrofes causadas por la presencia de estos eventos en conjunto con factores climatológicos, como por ejemplo aluviones producidos por el derretimiento de nieve y/o glaciares debido a las altas temperaturas presentes de los elementos volcánicos.

Es por esto por lo que una de las principales estrategias territoriales se basa en el estudio y zonificación del territorio volcánico, con el fin de poder determinar el riesgo y tipo de peligro al cual se enfrenta el proyecto dependiendo del punto exacto en el cual debe ser emplazado. También esta estrategia se enfoca en determinar y definir zonas que debido a su morfología territorial no presentan peligro volcánico las cuales si se presentaran las condiciones adecuadas para el desarrollo del proyecto serían ideales para un futuro emplazamiento.

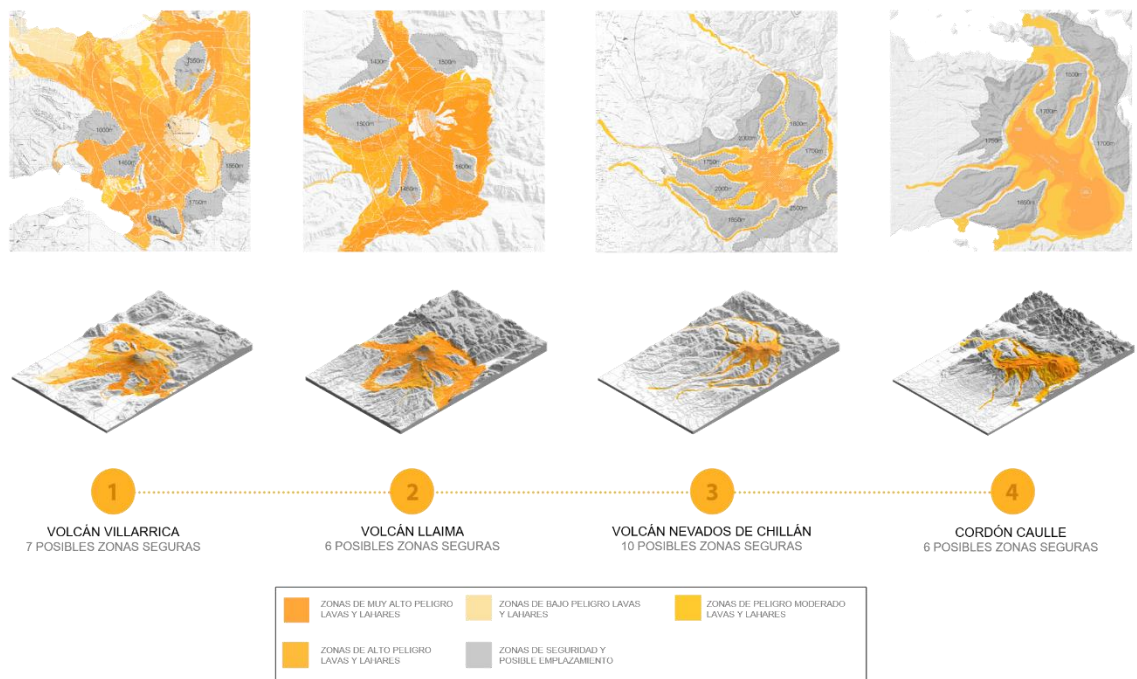


Fig. 11. Estrategias territoriales respecto a zonas de riesgo volcánico. Fuente: elaboración propia

2. Estrategia Formales Generales

Como se menciona anteriormente las condiciones tanto climatológicas como también territoriales, generan un territorio hostil e inhóspito, por lo que la morfología del proyecto se basa en un diseño orientado en la mitigación de estas condiciones. En primer lugar, se define el diseño de un soporte el cual sea adaptativo, ya que, en el territorio se presentación distintas pendientes y morfologías que lo definen como un terreno irregular.

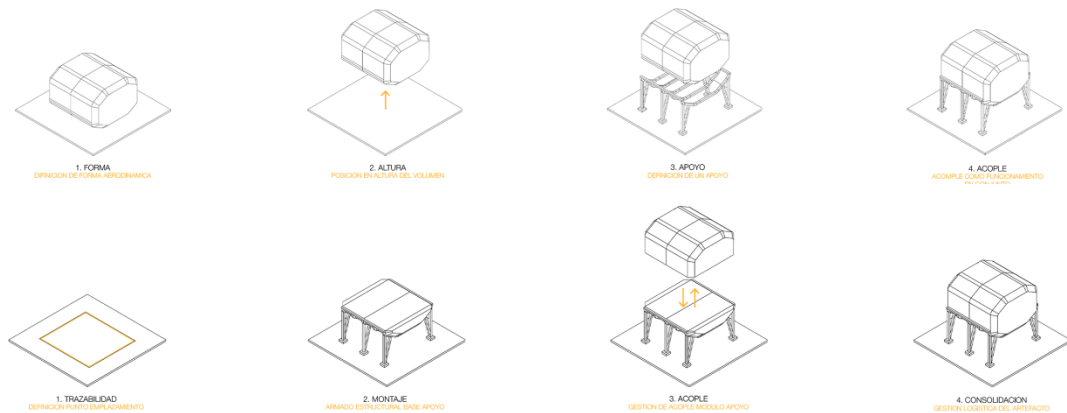


Fig. 12. Estrategias formales de proyecto. Fuente: elaboración propia

En segundo lugar, se define desarrollar una estructura envolvente protectora capaz de mitigar y soportar los factores climatológicos como grandes caídas de nieve o lluvias, además de proteger de las caídas de piroclastos y cenizas volcánicas los cuales podrían causar grandes daños en su infraestructura o el desarrollo de actividades programáticas del proyecto. En tercer lugar, se busca desarrollar una capa aislante y protectora de los desechos mínimos expulsados en una actividad volcánica como también de los gases que se emiten en estas actividades, los cuales deben ser aislados del interior del proyecto para evitar daños a los usuarios de este. Finalmente se desarrolla un diseño el cual sea transportable y modulable, con el fin de que su emplazamiento, configuración y armado sea rápido y eficaz. Pero principalmente, se piensa de esta manera para que en caso de una erupción volcánica de alto peligro se logre una rápida evacuación con el fin de proteger principalmente a los habitantes de proyecto y también a el material y muestras de la investigación.

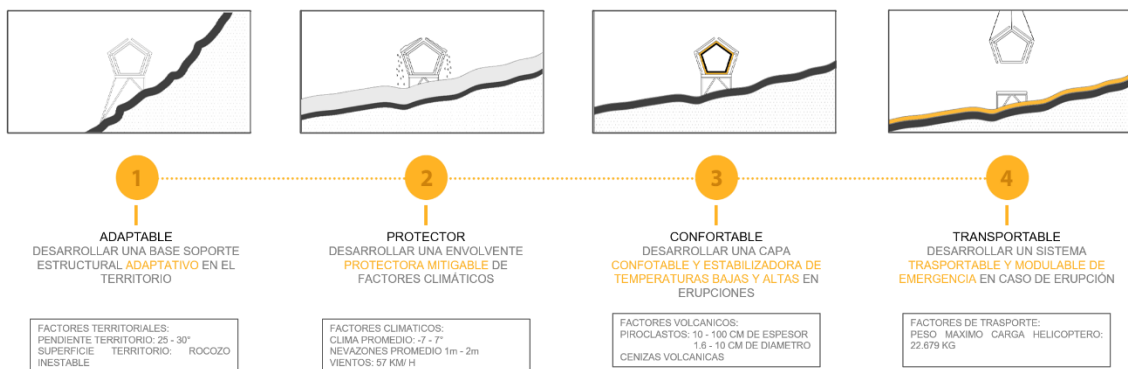


Fig. 13. Estrategias formales de proyecto. Fuente: elaboración propia

3. Estrategias Formales Módulo

Las estrategias formales de módulo están pensadas de acuerdo con los distintos programas y actividades a desarrollar en cada uno de estos. Además de definir cuál será el programa de cada uno también se designa una morfología e importancia de cada uno. Esto último hace referencia en el caso de una erupción volcánica cuales son los módulos más importantes para su evacuación, es decir, el orden en el cual serán retirados del lugar. En primer lugar, se desarrolla un módulo habitable científico, el cual cumple la función programática de contener los laboratorios y espacios específicos para la investigación y el desarrollo de distintos estudios. En segundo lugar, se desarrolla un módulo extra habitable el cual está diseñado con la intención de desarrollar un espacio para las actividades diarias y cotidianas de los usuarios, es decir, con el fin de satisfacer las necesidades importantes de los habitantes del proyecto. En tercer lugar, se desarrolla el módulo habitacional, el cual está pensado para desarrollar las actividades privadas de los usuarios, específicamente dormir y descansar. Finalmente se desarrolla un módulo de maquinaria o instalaciones, el cual cumple con la función de contener toda la infra estructura y maquinaria necesaria para el desarrollo de la investigación y transporte del proyecto, específicamente perforadoras y helipuerto.

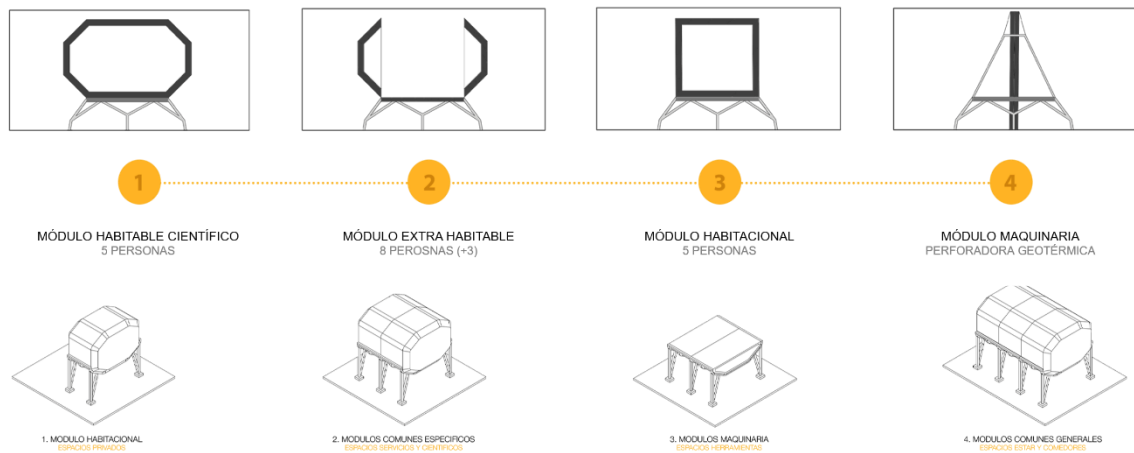


Fig. 14. Estrategias formales de módulo. Fuente: elaboración propia

4. Estrategias Formales Soporte

Las estrategias formales de soporte están pensadas en el diseño de la base o soporte de los módulos los cuales se desarrollan basados en las distintas morfologías y tipos de territorios del lugar de emplazamiento. En primer lugar, se desarrolla una tipología de apoyo reticulable, el cual tiene la función de ser adaptable a un territorio en pendiente, sin embargo, tiene la característica de ser rígido por lo cual está definido para un tipo de pendiente definido y establecido en un mismo lugar. En segundo lugar, se desarrolla un apoyo hidráulico recto el cual cumple con la función de adaptarse a un territorio irregular pero además cumple con la función de poder cambiar su configuración en cualquier momento, ya sea, por el cambio de lugar del módulo o el cambio de la morfología del territorio. En tercer lugar, se desarrolló un apoyo reticulado hidráulico el cual cumple con la función de ser adaptativo para cualquier superficie de terreno, específicamente para los terrenos con mayor pendiente o los terrenos que presenten mayor irregularidad en su morfología, cumpliendo con la función de adaptarse a cualquier tipo de cambio o imprevisto en cualquier momento. Finalmente se desarrolla un apoyo recto azocalado, el cual está diseñado para territorios regulares y sin mayor presencia de pendiente, caracterizado también por ser un apoyo fijo.

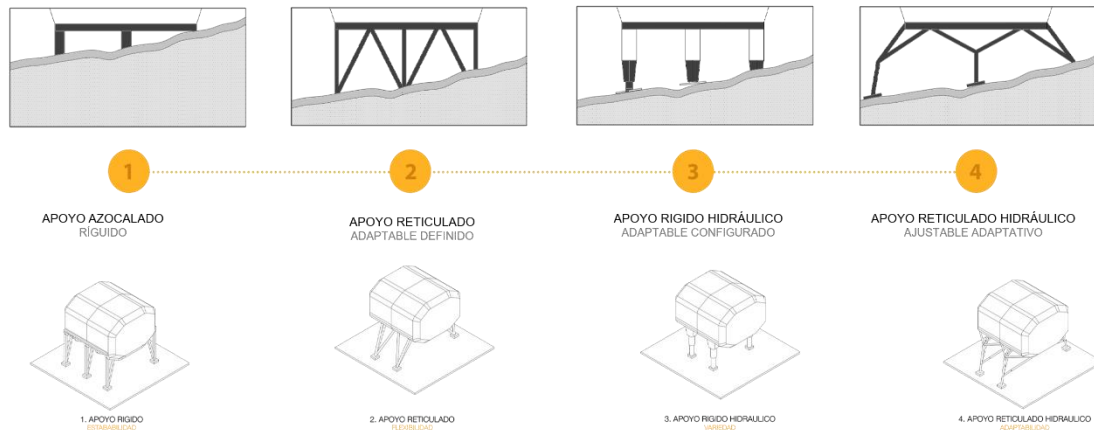


Fig. 15. Estrategias formales de apoyo. Fuente: Elaboración propia.

5. Estrategias de Emplazamiento y Evacuación

Las estrategias de emplazamiento y evacuación están dadas a la accesibilidad de estos territorios dado que están ubicados en territorios naturales los cuales en su mayoría no hay acceso terrestre a estos. Es por esto por lo que se desarrolla una estrategia de diseño de módulos transportables de manera aérea específicamente con helicópteros con capacidad de grandes cargas. Además, la modulación de estos distintos artefactos permite una instalación rápida y segura al momento de la llegada. De esta misma manera el diseño de cada módulo permite un retiro fácil y eficiente tanto en tiempo, como también, en gestión para la evacuación de estos, ya sea, por alguna eventualidad de emergencia volcánica o por el término de las actividades destinadas para la investigación.

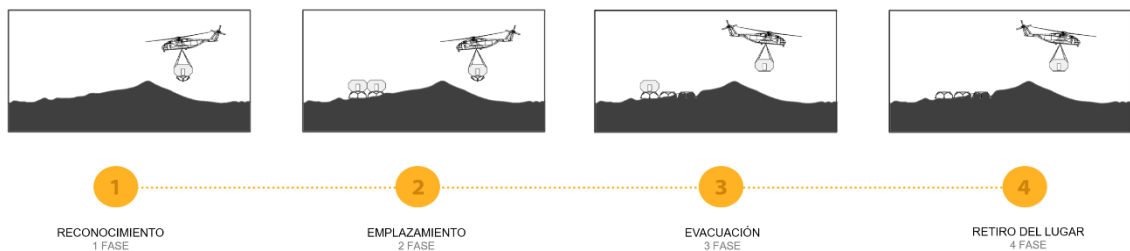


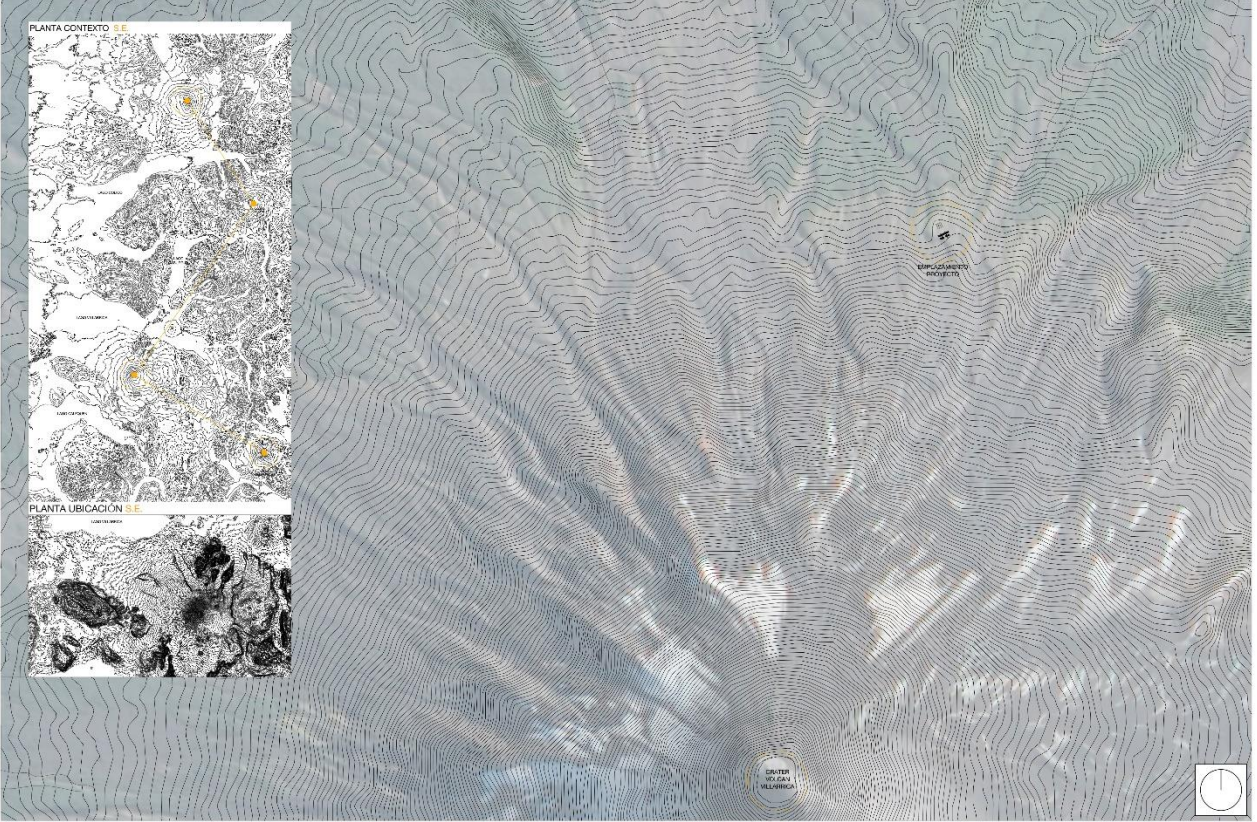
Fig. 16. Estrategias de emplazamiento y evacuación. Fuente: Elaboración propia.



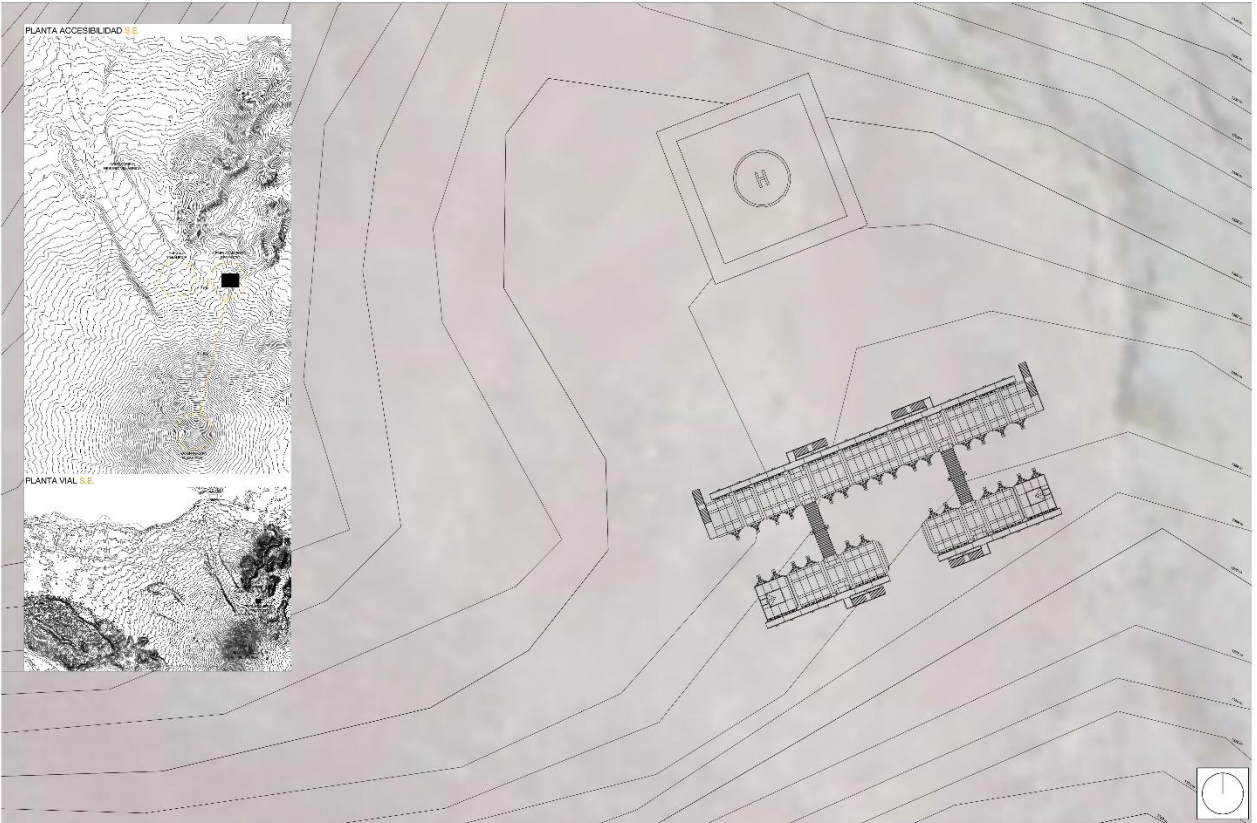
DESARROLLO PROYECTUAL

1. PLANTAS EMPLAZAMIENTO Y CONTEXTO
2. PLANTAS ARQUITECTURA Y CUBIERTA
3. CORTES ARQUITECTONICOS
4. ELEVACIONES ARQUITECTONICAS

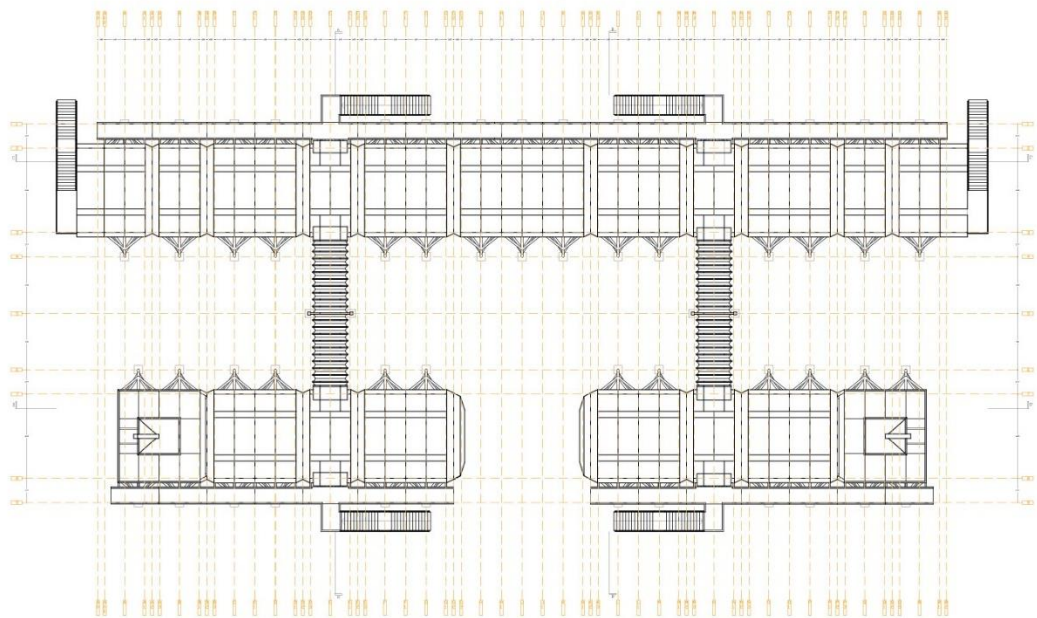
PLANTA DE EMPLAZAMIENTO VOLCÁN VILLARRICA ESC. 1:5000



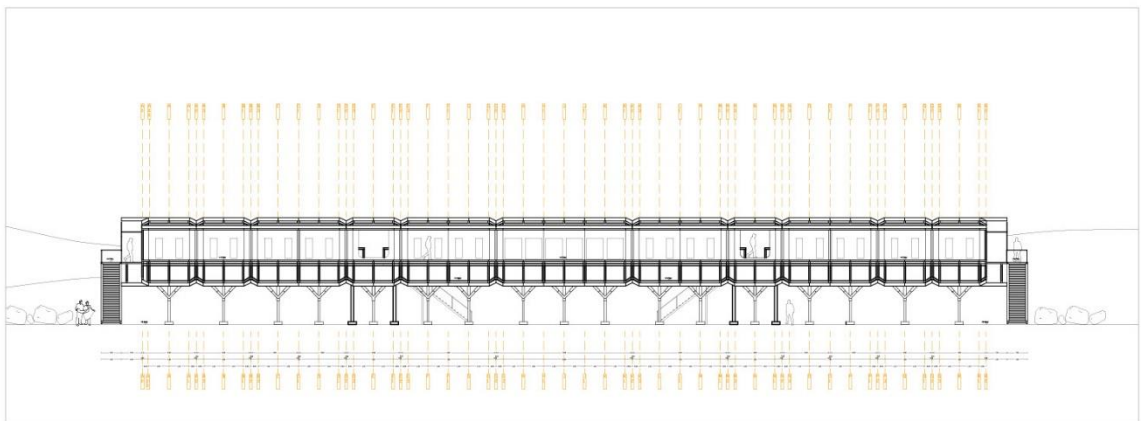
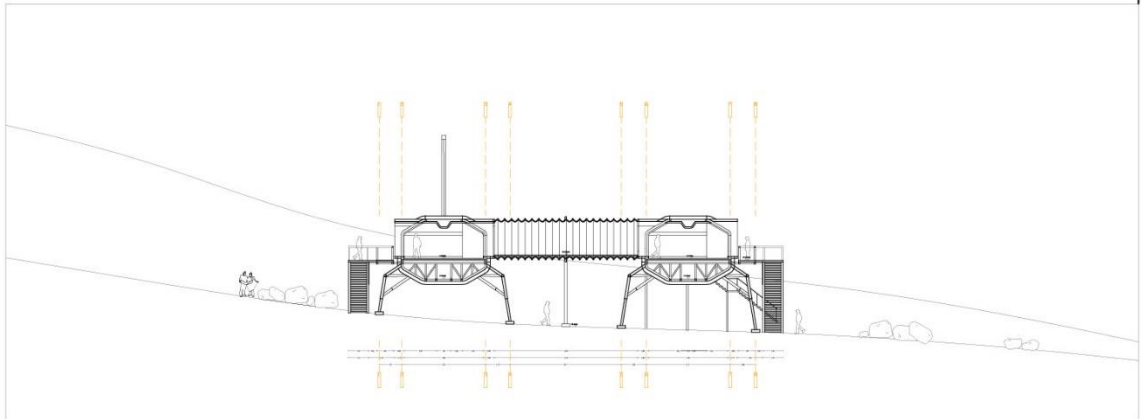
PLANTA DE EMPLAZAMIENTO VOLCÁN VILLARRICA ESC. 1:500

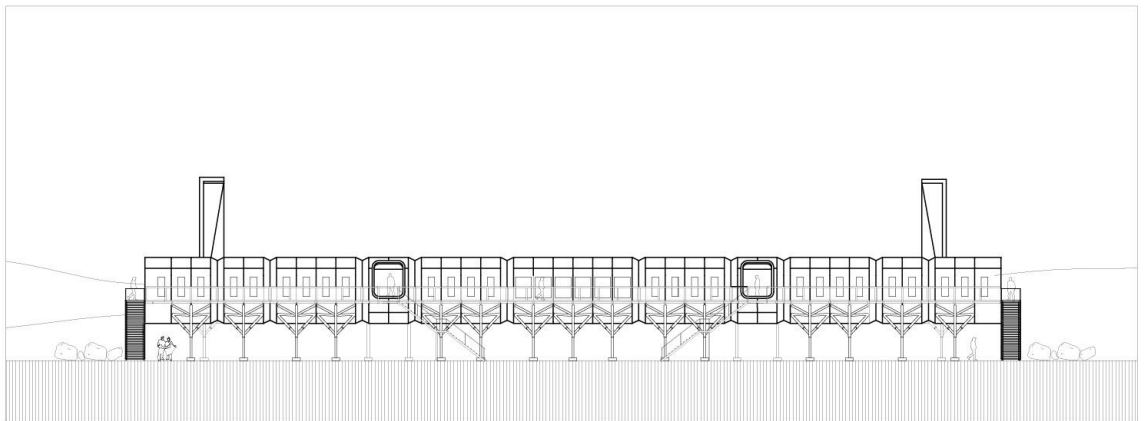
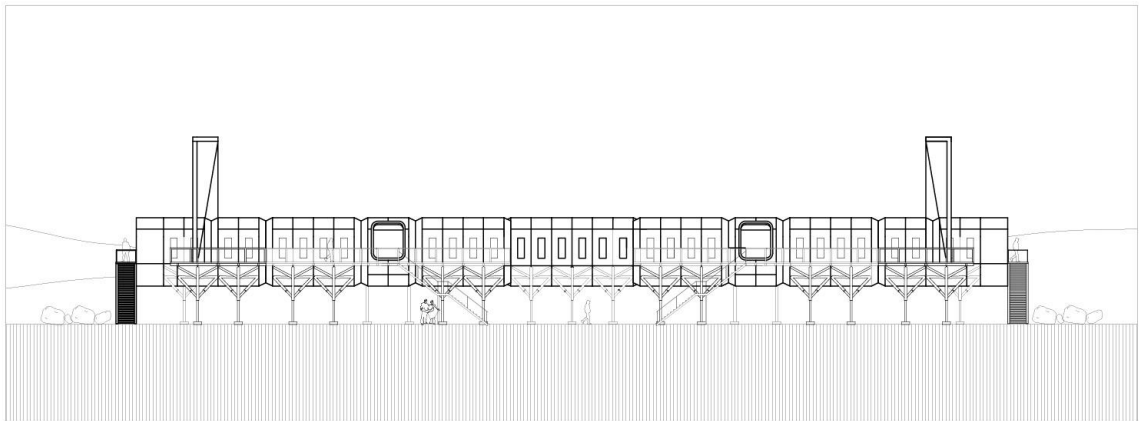
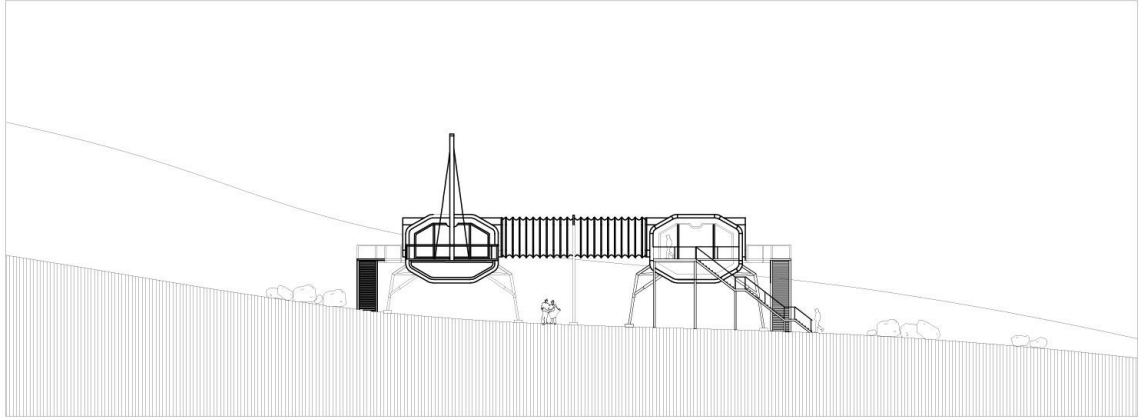
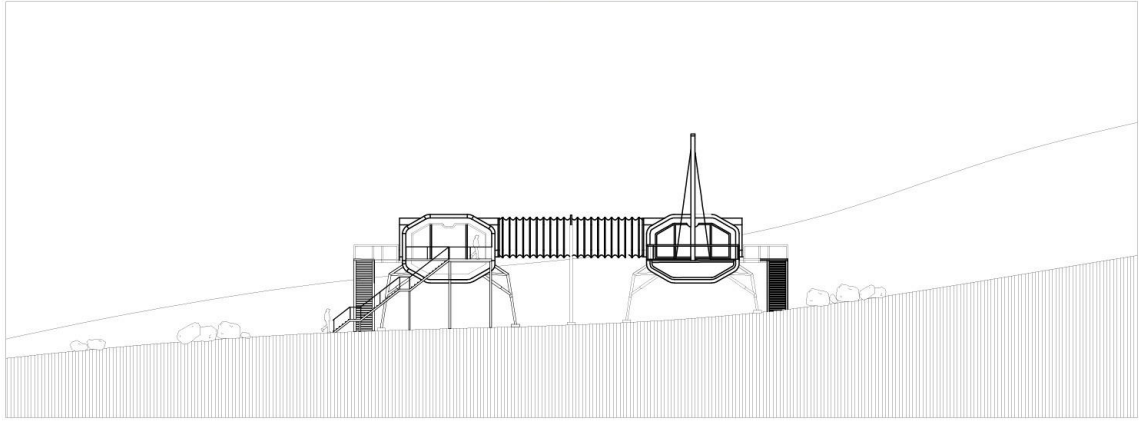


PLANIMETRÍAS PROYECTUALES
PLANTA ARQUITECTURA Y CUBIERTA ESC. 1:300



PLANIMETRÍAS PROYECTUALES
CORTES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES
ESC. 1:300





BIBLIOGRAFIA

Almeida, E. (1984). vulcanología aplicada a la exploración geotérmica. *Revista energética*, 1-110 pág.
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000281.pdf>

Corum, J; Gillis, J. (agosto, 2017). En el interior de la base McMurdo, el centro de investigación. Recuperado de <https://www.nytimes.com/es/2017/08/01/en-el-interior-de-la-basemcmurdo-el-centro-de-investigacion-mas-ambicioso-de-la-antartida/>

Guzmán, J. S., & Sanz López, L. (2011, marzo). EVALUACION DEL POTENCIAL DE ENERGIA GEOTERMICA. IDAE. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf

Gehring, Magnus; Loksha, Víctor. 2012. Manual de Geotermia: Como Planificar y Financiar la Generación de Electricidad. Informe técnico ESMAP 002/12. Banco Mundial, Washington, DC. © Banco Mundial. Licencia: CC BY 3.0 IGO. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23712>

IDAE. (2011, marzo). Evaluación del potencial de energía geotérmica. TECNOLOGÍA Y RECURSOS DE LA TIERRA, S.A.: José Sánchez Guzmán, Laura Sanz López, Luis Ocaña Robles.
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf

Palacio-Villa, María Alejandra, Blessent, Daniela, López-Sánchez, Jacqueline, & Moreno, David. (2020). Sistemas geotérmicos mejorados: revisión y análisis de casos de estudio. *Boletín de Geología*, 42(1), 101-118. Epub enero 22, 2020. <https://dx.doi.org/10.18273/revbol.v42n1-2020006>

Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético. (2012, junio). Manual de Geotermia: Como Planificar y Financiar la generación de Electricidad. Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético Banco Mundial. <https://www.esmap.org/file-download/24797/67882>

Sigurdsson, I. T. G. S. O. O. H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J. (2015). The Encyclopedia of Volcanoes (2nd Revised ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00175-7>

SERNAGEOMIN. 2018. Chile: territorio volcánico. Servicio Nacional de Geología y Minería: 139 p. Santiago. https://www.sernageomin.cl/pdf/LIBROdevolcanes_SERNAGEOMIN.pdf

Torres, V., V. Arellano, R. M. Barragán, E. González, J. J. Herrera, E. Santoyo y S. Venegas (1993), Geotermia en México, México, Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM, 161 p.

ANTECEDENTES ACADEMICOS

Año de ingreso a la carrera de Arquitectura: marzo 2016

- 1. 2016: Diseño Arquitectónico I**
Profesores: Pablo Campano y Nicole Neumann
Ayudante: Diego Aravena
- 2. 2017: Diseño Arquitectónico II**
Profesores: Eduardo Hevia y Catalina Millán
Javier Basualdo y Catalina Millán
Ayudante: Santiago Aguirre
Juan Andrés Manasevich
- 3. 2018: Diseño Arquitectónico III**
Profesores: Álvaro Parraguez y Sebastián Ortueta
Ayudante: Marco Muñoz
*Practica profesional 1: VKO Arquitectos
- 4. 2019-1: Diseño Arquitectónico IV**
Profesores: Santiago Beckdorf y Claudia Oñate
Ayudante: Ignacia Martínez
*Practica profesional 2: Arquitecto Álvaro Parraguez
*Workshop: "Thinking Lab: Barcelona, la ciudad del futuro" LaSalle Barcelona, España.
- 5. 2019-2: Diseño Arquitectónico V**
Profesores: Félix De Amesti y Alex Nohra
Ayudante: Josefina Jahn
- 6. 2020-1: Diseño Arquitectónico VI**
Profesores: René García y Felipe Bengoa
Ayudante: Francisca Feliú
- 7. 2020-2: Anteproyecto de Titulo _ Mención Diseño Sustentable**
Profesor Mención: Lucas Vásquez
Profesor Guía: Rene García
- 8. 2021-1: Proyecto de Titulo _ Mención Diseño Sustentable**
Profesor Guía: Rene García

Año de egreso de la carrera de Arquitectura: 2021