



# **CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN**

OBSERVATORIO ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ARQUITECTO  
AUTORA: CATALINA CASAS-CORDERO LEIVA  
PROFESOR GUÍA: CHRISTIAN YUTRONIC VILLALOBOS

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



FOTOGRAFÍA: NATIONAL RADIO ASTRONOMY OBSERVATORY (NRAO)

# **CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN**

OBSERVATORIO ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ARQUIECTO  
AUTORA: CATALINA CASAS-CORDERO LEIVA  
PROFESOR GUÍA: CHRISTIAN YUTRONIC VILLALOBOS

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
PERÍODO ACADÉMICO 2013-2014





*“La astronomía incita al alma a mirar hacia las alturas y nos conduce desde este mundo a otro”.*

**Platón**

### **Agradecimientos**

En primer lugar, a mi profesor guía, prof. Christian Yutronic, por la paciencia, por la disposición, por guiarme siempre de la mejor manera posible.

Como siempre, a mi familia, que una vez más estuvieron conmigo en todo momento, dando apoyo y cariño.

A Valeria Foncea, por ser la principal gestora de mi visita a ALMA, por su disposición y buena voluntad.

A todo el equipo de Safety de ALMA, por recibirme con los brazos abiertos, por tener la mejor disposición en todo momento y sobre todo, por transformar mi visita a ALMA en una experiencia maravillosa.

A todos los que aportaron su granito de arena en mi proyecto, que si los mencionara a todos, no terminaría jamás.

A todos ... GRACIAS!!





## Profesionales asesores consultados

**Alejandro Peredo**

Diseñador Gráfico integral, ALMA

**Valeria Foncea**

Directora de Comunicaciones y Educación,  
ALMA

**Aldo Cerda**

Oficial de Seguridad ALMA

**Raúl Aguilar**

Ingeniero en Seguridad ALMA

**Héctor Alarcón**

Astrónomo ALMA

**Profesor guía: Christian Yutronic**

Arquitecto Universidad de Chile  
Docente FAU  
Lateral Arquitectos

**Sebastián Barahona**

Arquitecto Universidad de Chile  
Lateral Arquitectos

**Rodrigo Chauriye**

Arquitecto Universidad de Chile  
Docente FAU

**Paulina Villalobos**

Arquitecto Universidad de Chile  
Lighting Designer DIAV

**Pamela Padruno**

Arquitecto Universidad de Chile  
Lighting Designer DIAV

**Mirentxu Ulloa**

Arquitecto Universidad de Chile  
Eficiencia energética DIAV



# ÍNDICE

Observatorio La Silla  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

## **I. INTRODUCCIÓN** **8**

---

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1.1 Motivaciones          | 8  |
| 1.2 Tema y problemática   | 8  |
| 1.3 Objetivo general      | 10 |
| 1.4 Objetivos específicos | 10 |

## **II. MARCO TEÓRICO** **11**

---

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 La contaminación lumínica                                  | 11 |
| 2.2 La astronomía                                              | 12 |
| 2.3 Contaminación lumínica y astronomía                        | 13 |
| 2.4 Chile, capital mundial de astronomía, “Los ojos del mundo” | 14 |

## **III. ELECCIÓN DEL LUGAR** **16**

---

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.1 Observatorios de Chile  | 16 |
| 3.2 Posibles emplazamientos | 18 |

## **IV. EMPLAZAMIENTO: ATACAMA LARGE MILIMETER/SUBMILIMETER ARRAY** **San Pedro de Atacama** **21**

---

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 4.1 El observatorio             | 22 |
| 4.1.1 Historia de ALMA          | 22 |
| 4.1.2 Línea de tiempo           | 23 |
| 4.1.3 Sedes de ALMA             | 25 |
| 4.1.4 Elección del terreno      | 26 |
| 4.1.5 Búsqueda del lugar exacto | 28 |



|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>V. CONTEXTO</b>                                                                                                  | <b>34</b> |
| 5.1 Medio biótico                                                                                                   | 35        |
| 5.1.1 Zonación ecológica del área de influencia de ALMA                                                             | 35        |
| 5.1.1.1 Zonas 1 y 2: desierto árido cálido. Zona de potencial inunda<br>cación del Salar de Atacama y zona de dunas | 35        |
| 5.1.1.2 Zona 3: Zona de formación geológica Ignimbrita Chaxas (Ubi<br>cación del OSF)                               | 39        |
| 5.1.1.3 Zona 4: Zona de matorral desértico.                                                                         | 41        |
| 5.1.1.4 Zona 5: Zona de Coirón                                                                                      | 43        |
| 5.1.1.5 Zona 6-A: Zona de alta puna                                                                                 | 44        |
| 5.1.1.6 Zona 6-B: Zona de altas cumbres (Ubicación del AOS)                                                         | 45        |
| 5.1.1.7 Los compromisos de ALMA con el patrimonio natural                                                           | 46        |
| 5.1.2 Áreas protegidas                                                                                              | 46        |
| 5.2 Medio físico                                                                                                    | 48        |
| 5.2.1 Clima                                                                                                         | 48        |
| 5.2.2 Geomorfología                                                                                                 | 49        |
| 5.3 Medio humano                                                                                                    | 51        |
| 5.3.1 Historia                                                                                                      | 51        |
| 5.3.2 Antecedentes sociodemográficos y económicos                                                                   | 52        |
| 5.3.3 Identidad y cultura                                                                                           | 52        |
| 5.3.4 Astronomía atacameña                                                                                          | 54        |
| 5.4 Medio construido                                                                                                | 56        |
| 5.4.1 Contexto                                                                                                      | 56        |
| 5.4.2 Conectividad y vialidad                                                                                       | 56        |
| 5.4.3 Normativa                                                                                                     | 57        |
| <b>VI. PROYECTO</b>                                                                                                 | <b>58</b> |
| 6.1 Propuesta                                                                                                       | 58        |
| 6.1.1 Concepto                                                                                                      | 59        |
| 6.1.2 Usuario                                                                                                       | 59        |
| 6.1.3 Gestión                                                                                                       | 60        |
| 6.1.4 Partido general                                                                                               | 60        |
| 6.1.5 Programa                                                                                                      | 62        |
| 6.1.6 Organización programática                                                                                     | 63        |
| 6.1.7 Sustentabilidad y materialidad                                                                                | 63        |
| 6.2 Proceso de diseño                                                                                               | 65        |
| 6.3 Planimetría                                                                                                     | 73        |
| <b>VII. BIBLIOGRAFÍA</b>                                                                                            | <b>76</b> |





# I. INTRODUCCIÓN

Antenas de ALMA en el AOS  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

*“Situémonos en el planeta tierra, pero hace varios siglos. Si escarbamos en los viejos libros de historia, la civilización se hizo en función de guerras, de tratados de comercio internacionales y de conquistas que tenían por mapa las estrellas del cielo. Eran las brújulas de cada conquistador, su mapa exclusivo dibujado en el cielo.*

*Muchísimos años después, con la invención del automóvil y el desarrollo de la urbe moderna, llegó la luz artificial a tapar las noches estrelladas alrededor del globo. La época del cielo luminoso había llegado a su fin. Y esto solo ocurrió hace cincuenta años”<sup>1</sup>.*

## 1.1 MOTIVACIONES

El proyecto de título, como etapa final de la carrera, debe demostrar todo lo que se ha aprendido durante la carrera, aplicar de manera integral cada una de las disciplinas impartidas en los cuatro años de formación y además incorporar los conocimientos adquiridos durante la práctica profesional y lo investigado durante el seminario de título. Sin embargo, creo que lo más importante es reflejar lo que se espera de uno mismo como profesional, la huella que queremos dejar en la arquitectura, en la ciudad, en el mundo.

Durante mi práctica profesional en la oficina de iluminación Diav, no sólo pude desarrollar proyectos de iluminación y descubrir que aquello era lo que realmente me apasionaba de la arquitectura, también tuve la oportunidad de ser parte del seminario Noche Zero y entender el daño que el crecimiento urbano desmesurado, y por ende de la contaminación lumínica, le provoca nuestro entorno natural.

El crecimiento desproporcionado de las ciudades

junto con una casi nula regulación de la iluminación urbana trae como resultado no sólo una mala calidad de vida para sus habitantes, también provoca un daño invaluable a la flora, la fauna y a uno de los patrimonios más importantes de nuestro país: el cielo estrellado.

El lograr entender la importancia que este patrimonio tiene para nuestro país generó en mí la necesidad de poder mostrarlo y acercarlo a la gente a través de la arquitectura, de hacerle ver no sólo a nuestra población, sino a todo el que visite nuestro país, que Chile es una ventana al universo, que es aquí el lugar perfecto para observar, estudiar y analizar todo lo que el universo tiene para mostrarnos.

## 1.2 PROBLEMÁTICA Y TEMA ARQUITECTÓNICO

Problemática.

El crecimiento urbano es parte inevitable del desarrollo de toda ciudad, sin embargo, la forma es que éste se lleve a cabo es lo que hace la diferencia entre las diferentes ciudades del mundo. El crecimiento urbano depende de muchos factores, por ejemplo, una ciudad puede crecer en expansión territorial, en densidad, puede generar nuevas ciudades, etc. Es conocido que este fenómeno tiene diversos efectos tanto en la población misma como en el entorno natural como la sobrepoblación, la contaminación atmosférica, contaminación auditiva, visual, etc. Pero pocos se percatan de que el crecimiento desproporcionado de las ciudades trae consigo otra tipo de contaminación, muy “silenciosa” pero no por eso me-





Santiago desde el cerro El Roble.  
Fuente: María Cirano

nos dañina, se trata de la contaminación lumínica. Contaminación lumínica y arquitectura.

Illuminación y arquitectura están directamente relacionadas aunque la mayoría de los casos el resultado no es el óptimo. La iluminación es una rama de la arquitectura tan importante como la estructura y la eficiencia energética, por ejemplo, porque, ésta es fundamental en lo que a calidad de vida y confort respecta. Un proyecto de iluminación deficiente puede ser causante de estrés e insomnio e incluso enfermedades ligadas a la reproducción celular. Sin estos efectos son causados a nivel residencial es fácil imaginar cuales son los efectos a nivel urbano.

A una macro escala los efectos son diversos e invaluables y no sólo la flora y fauna se ve afectada. La astronomía necesita de absoluta oscuridad para funcionar a su máxima potencia, cuando el cielo es contaminado lumínicamente, las pérdidas son millonarias y los estudios, deficientes.

Pero, ¿Por qué es esto, importante para nosotros? Pues Chile es potencia mundial en astronomía, el 70% de la información astronómica mundial es obtenida en nuestro país, esto debido a que los cielos del norte de Chile son el escenario perfecto para los estudios astronómicos, tanto por la fal-

ta de contaminación lumínica como por la aridez del aire. Esto significa para el país no solo ingresos millonarios, también atrae miles de turistas al año que visitan Chile especialmente para apreciar el espectáculo que nuestros cielos tienen para ofrecer.

Tema arquitectónico.

Al ser nuestro cielo estrellado, un patrimonio natural tan importante pero tan poco valorado en Chile, se hace necesaria una plataforma en la que el público tanto nacional como extranjero pueda aprender y observar al mismo tiempo. Es importante instruir a la población de una manera teórica, pero más importante es que tenga la oportunidad de entender los fenómenos en vivo y en directo.

Es por esto que se proyectará un espacio pensado tanto para el aprendizaje como para la observación, de manera de poder acercar la astronomía de una manera más amable a la gente.

### 1.3 Objetivo general

Proyectar un espacio que acerque la astronomía a la población tanto nacional como extranjera de una manera más amable y enriquecedora. La intención es que se pueda instruir a las personas de una manera más técnica a través del aprendizaje y al mismo tiempo que la arquitectura permita que la astronomía se muestre por sí misma a través de la observación, de manera de poder adquirir conocimientos a través de la experiencia propia. Se trata de ver a la astronomía de una manera más integral, poder aprenderla como una disciplina pero al mismo tiempo entenderla como un patrimonio natural que nos pertenece.

### 1.4 Objetivos específicos

a.- Proyectar un espacio para la observación astronómica, de manera de entender nuestro cielo estrellado como un patrimonio que debe ser valorado, cuidado y exhibido.

b.- Proyectar un espacio para el aprendizaje de la astronomía, entendiéndola como una disciplina de gran importancia.

c.- Mostrar al observatorio ALMA de una manera más amable, ya que, a diferencia del resto de los observatorios de nuestro país, éste no se trata de un telescopio óptico.

d.- Evidenciar la necesidad de dar más valor al patrimonio natural que poseemos en nuestro país y potenciarlo como atractivo turístico. Como cualquier otro patrimonio natural, éste está en peligro debido al crecimiento urbano y tecnológico, de ahí la necesidad de concientizar a la gente sobre como detener su deterioro.

e.- Dar a conocer tanto a la población nacional como internacional la importancia de Chile como potencia astronómica para poder comprender la importancia que tiene el cielo estrellado para nosotros.

1.-Revista Más Deco, número 487



## II. MARCO TEÓRICO

*Antenas de ALMA en el AOS  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*

### 2.1 La contaminación lumínica

Se define como contaminación lumínica a *“Toda aquella luz que no es aprovechada para iluminar el suelo y las construcciones. Esto puede suceder por dos razones principales: porque el haz luminoso no es dirigido hacia abajo o porque la radiación luminosa es de una longitud de onda que el ojo humano no percibe”*<sup>2</sup>.

La luz que es emitida hacia el hemisferio superior tiene un carácter contaminante debido a que se refleja en las partículas de polvo o agua suspendidas en el aire, lo que genera una capa luminosa que superpone ante la imagen del cielo. La luz que es emitida en una longitud de onda no visible es contaminante,

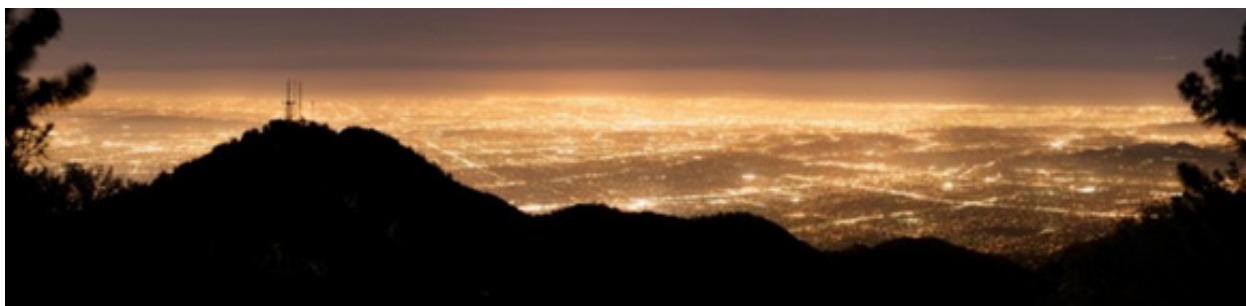
ya que, a pesar de no afectar el ojo humano, si afecta los lentes de los telescopios y genera mayor consumo energético.

La contaminación lumínica, a diferencia de la contaminación atmosférica, no es un tema común en estos días, a pesar de que estudios señalan que es igualmente dañina, ya que a simple vista no parece tener efectos negativos además del gasto monetario. Sin embargo, este último es el daño menos importante que provoca este tipo de contaminación, a pesar de que las cifras son impactantes. Sólo Estados Unidos gasta miles de millones de dólares anuales para iluminar sus ciudades. Basta ver la imagen satelital de la NASA para percibir que las ciudades están utilizando más luz de la que necesitan.



*Mapa de contaminación lumínica mundial. NASA  
Fuente: <http://earthobservatory.nasa.gov>*

<sup>2</sup>-Ex CONAMA, actual Ministerio del Medio Ambiente.



Fotografía de haces de luz propagándose a través de las partículas suspendidas en el aire  
Fuente: [www.jimrichardsonphotography.com](http://www.jimrichardsonphotography.com)

Pero, ¿Por qué es importante hablar de contaminación lumínica?

Los efectos de la contaminación lumínica son diversos y afecta desde el ser humano hasta la astronomía, además del evidente gasto energético y monetario. Es igualmente dañina que la contaminación atmosférica pero sus efectos son a largo plazo y no son fácilmente perceptibles para el ser humano.

En el reino animal, gran parte de la población es nocturna, se estima, por ejemplo, que cerca del 75% de los insectos son nocturnos. La contaminación lumínica de las ciudades hace que los animales de hábitos nocturnos vean alterado su hábitat natural, lo que les impide realizar actividades tan básicas como alimentarse o reproducirse.

En el ser humano los efectos no son tan dramáticos como en el reino animal, ya que el hombre es, por naturaleza, un ser de hábitos diurnos, sin embargo es un tema no menor. El dormir en un ambiente iluminado genera som-



Aves muertas por causa de la contaminación lumínica.  
Fuente: [www.jimrichardsonphotography.com](http://www.jimrichardsonphotography.com)

nolencia, estrés e inhibe la producción de melatonina, que es una hormona producida en la glándula pineal (órgano ubicado al centro del cerebro) encargada de la reproducción celular, entre otros procesos. La ausencia de ésta provocada por la exposición a la luz durante la noche hace más propenso al ser humano a desarrollar distintos tipos de cáncer, enfermedades coronarias, esquizofrenia, diabetes y alzhéimer además del envejecimiento prematuro.

La astronomía es la más afectada con este fenómeno, ya que la contaminación lumínica disminuye la potencia de los telescopios, lo que impide la obtención de información. Se profundizará sobre el tema en el ítem **2.3 Contaminación lumínica y astronomía.**

## 2.2 La astronomía

La astronomía nació casi al mismo tiempo que el ser humano, el hombre desde los tiempos más remotos mostró interés en el espectáculo que el universo entregaba al ponerse el sol. Las civilizaciones más antiguas ya tenían sistemas de obtención de datos astronómicos, algunos no tan precarios. Algunas civilizaciones asociaban la astronomía a sus dioses, y a éstos con los fenómenos naturales, todo era un solo gran ciclo. Muchas civilizaciones hacían arquitectura a micro y macro escala únicamente basados en la astronomía.

Algunas de las ciudades astronómicas conocidas son: la ciudad Maya de Tulúm, la ciudad Maya de Chichén Itzá, Stonehedge en Inglaterra, la ciudad Inca de Huano Pampa, entre otras.



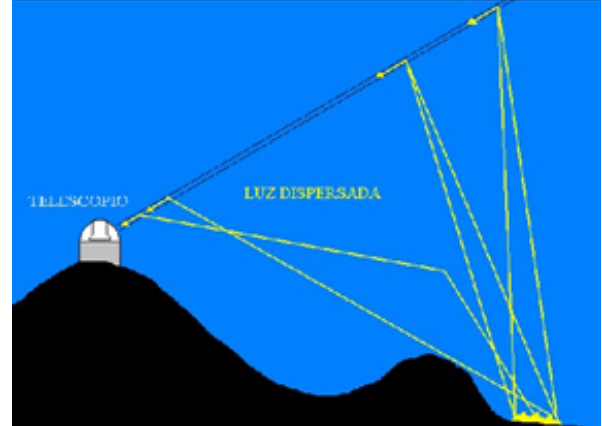
El fuerte interés de la población mundial en la astronomía ha hecho que se desarrolle un tipo de astronomía distinta a la profesional, se trata de la astronomía como potencial turístico. Para ello han sido creados observatorios exclusivamente con ese propósito y además se han adaptado observatorios profesionales para poder albergar al turista. La gran diferencia está en que este tipo de astronomía debe ser enseñada de una manera más amable para poder ser comprendida por todos. Con la creación de observatorios cada vez más desarrollados y sofisticados se hace cada vez más difícil acercar la astronomía a la población ya que son sistemas mucho más complejos y difíciles de comprender, como es el caso de los radiotelescopios, donde no es posible ver la información obtenida como en los telescopios ópticos, debido a que se trabaja con longitudes de onda, para explicarlo de manera sencilla, los observatorios ópticos funcionan como ojos, y los radiotelescopios, como oídos.

### 2.3 Contaminación lumínica y astronomía

La creciente contaminación lumínica de las ciudades provoca una disminución de la visibilidad de las estrellas, lo que no sólo afecta la visión humana, sino también la visión de los telescopios, aun cuando la ciudad contaminante no es visible desde el observatorio, ya que la luz es capaz de viajar por las partículas suspendidas en el aire hasta interferir en el lente del telescopio.

Para entender cómo la contaminación lumínica afecta en el trabajo de los astrónomos, la CONAMA da el siguiente ejemplo:

“Para explicar el fenómeno de contaminación lumínica, podemos asignar a la luminosidad del cielo sin contribución del hombre el valor  $x=1.0$ . Un valor  $x=1.2$  representa un 20% de aumento sobre el entorno natural, y disminuiría la potencia de un telescopio de 8 metros a uno de 7.63 metros. Un nivel de  $x=2.0$  representa la duplicación del entorno lumínico natural del lugar, transformando un telescopio de 8 metros a uno de 5.33 metros. El costo de



*Observatorio Very Large Array, USA. NRAO  
Fuente: [www.nrao.edu](http://www.nrao.edu)*

*Efecto de la contaminación lumínica en un telescopio.  
Fuente: [www.lco.cl](http://www.lco.cl)*

*Observatorio Mount Wilson y la contaminación lumínica de Los Angeles  
Fuente: [www.jimrichardsonphotography.com](http://www.jimrichardsonphotography.com)*

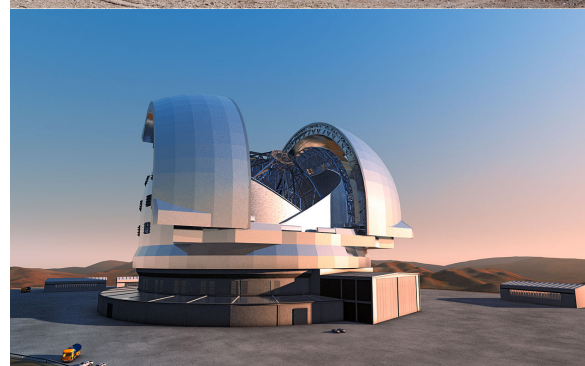
## CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

un telescopio de 8 metros en el año 1995 es de aproximadamente 85 millones de dólares. De este modo, un incremento del 25% de la luminosidad nocturna se transforma en una pérdida de 20 millones de dólares. Un ejemplo concreto de este tipo de fenómeno es el telescopio de 5 metros ubicado en Monte Palomar, California, que desde su término en 1940 y hasta los años 70 fue el telescopio más grande del mundo. Hoy la contaminación nocturna emitida por las ciudades vecinas de San Diego y Los Ángeles han reducido su capacidad a la mitad desde su apertura” (CONAMA, Actual Ministerio del Medio Ambiente, 1999).

### 2.4 Chile, capital mundial de astronomía, “Los ojos del mundo”

Actualmente, nuestro país es catalogado como el mejor territorio del hemisferio sur y uno de los mejores a nivel mundial para la observación del universo, es por eso, que los observatorios más desarrollados se encuentran en el norte de nuestro país, estamos hablando de Very Large Telescope (VLT), en cerro Paranal, el observatorio óptico más grande del mundo y Atacama Large Milimeter/submillimeter Array (ALMA), en el valle de Chajnantor, el observatorio más grande del mundo, aunque se espera que en los próximos años se comience a construir el nuevo telescopio óptico más grande del mundo, el extremely Large Telescope (E-ELT), “el mayor ojo hacia el cielo”

El desierto de Atacama es el más oscuro, seco y transparente del planeta, lo que lo ha transformado en un recurso invaluable a nivel astronómico. Se estima que en la próxima década, Chile acumulará el 70% de la obtención de datos por observación astronómica del mundo. El desierto de Atacama es considerado una de las pocas “ventanas a la oscuridad” que aún existen en el planeta (Saffie, 2013). Según el astrónomo Mario Hamuy, director del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile, Chile es actualmente una potencia en materia de astronomía ya que po-



*Observatorio La Silla, Chile. ESO.*

*Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*

*Observatorio Very Large Telescope, Chile. ESO.*

*Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*

*Observatorio ALMA, Chile. ESO, NRAO, NAOJ.*

*Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*

*Imagen 3D del Observatorio European Extremely*

*Large Telescope, ESO*

*Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*





*Observatorios del mundo y su altitud.  
Fuente: www.nrao.edu*

see un tercio de los telescopios existentes en planeta. Además señala que las condiciones climáticas y geo-gráficas hacen de Chile un lugar óptimo para el desarrollo de la astronomía ya que se pueden instalar observatorios a más de cinco mil metros sobre el nivel del mar.

Otra de las razones por la que Chile es uno de los territorios preferidos a la hora de emplazar un observatorio, es porque al año presenta en promedio 320 noches completamente oscuras y libres de contaminación lumínica (This is Chile, 2010).

Es por estas características que el desierto de Atacama alberga a ALMA, el mayor observatorio astronómico terrestre del mundo, el cual está conformado por 66 antenas y que significó una inversión de alrededor de 1400 millones de dólares.

La astronomía nace en Chile en el siglo XIX, específicamente en el año 1849 con la expedición científica de la armada de los Estados Unidos con el fin de complementar las me-

diciones de la distancia de la tierra al sol. En 1852, el gobierno de Chile compró los documentos, instrumentos y edificios utilizados en aquella expedición para formar el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) dependiendo del Ministerio de Instrucciones Públicas, el cual posteriormente pasa a manos de la Universidad de Chile en 1927. En 1950 es cuando Chile da un gigantesco paso en materia astronómica con la construcción del Observatorio Iberoamericano Cerro Tololo y el Observatorio Europeo Austral en cerro La Silla. Desde entonces Chile captó la atención de todo el mundo en lo que a astronomía respecta y comenzaron a construirse observatorios provenientes de todas partes del mundo.





### III. ELECCIÓN DEL LUGAR

*Observatorio VLT, Cerro Paranal  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)*

La elección del emplazamiento de un espacio para la difusión de la astronomía es clave para éste tenga éxito y logre llegar a la población. El lugar de ser lo suficientemente potente para que logre atraer a un gran número de visitantes, pero además debe contar con infraestructura y equipamiento para lograr enseñar de una manera práctica y no sólo teórica. La idea del proyecto es que no sólo sea un museo o un centro de exposición, la idea es que se trate la astronomía de una forma integral, es decir, que tanto profesionales, aficionados o simples visitantes puedan compartir en un espacio e intercambiar conocimientos. Lo ideal, entonces, es que el proyecto se encuentre adosado a un observatorio astronómico de gran envergadura que pueda atraer a un público significativo, proveer los profesionales pertinentes y al mismo tiempo que sea capaz de financiar el proyecto.

#### **3.1 Observatorios de Chile**

Para escoger el observatorio que albergará el proyecto es necesario reconocer aquellos que cumplan con las características antes mencionadas. De las instituciones que actualmente se encuentran en nuestro país, las que cumplen son European Southern Observatory (ESO), que significa en español Observatorio Europeo Austral, la principal organización astronómica de Europa y el observatorio más productivo del mundo y Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), es decir, la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía (AURA). Una asociación de alrededor de 45 universidades, incluyendo la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile.



Listado de Observatorios científicos, amateur y turísticos de Chile por regiones.

### III Región de Antofagasta

Atacama Large Milimeter/submillimeter Array (ALMA) - ESO, NRAO, NAOJ.  
 Observatorio Científico de Cerro Paranal, Very Large Telescope (VLT) - ESO  
 Experimento Pionero de Atacama, APEX, telescopio de microondas en Chajnantor - ESO  
 Observatorio Chajnantor - Caltech  
 Observatorio de la Universidad de Tokyo Atacama (TAO)  
 The Cornell Caltech Atacama Telescope (CCAT) - Caltech  
 Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE) - NAOJ  
 El Observatorio Cerro Armazones (OCA) - Universidad Católica del Norte  
 Observatorio ahlarkapin  
 Observatorio de arqueo-astronomía paniri caur

### III Región de Atacama

Observatorio Turístico Inca de Oro (CAIO)  
 Observatorio Científico Las Campanas - Caltech

### IV Región de Coquimbo

Observatorio Científico Inter-americano Cerro Tololo - AURA  
 Observatorio Científico La Silla - ESO  
 Observatorio Científico SOAR (Observatorio Sur para la Investigación Astrofísica)  
 Observatorio Científico Gemini Sur - AURA  
 Observatorio Turístico Cerro Mayu  
 Observatorio Turístico Mamalluca  
 Observatorio Cancana Cochiguaz  
 Observatorio Turístico Cruz del Sur  
 Observatorio Turístico Collowara  
 Observatorio Turístico del Pangué

### V Región de Valparaíso

Observatorio Astronómico Pocuro - Valle del Aconcagua  
 Observatorio El Roble - Universidad de Chile

### Región Metropolitana

Observatorio Cerro Pochoco  
 Observatorio Astronómico Andino (OAA)  
 Observatorio Astronómico Nacional, Cerro Calán - Universidad de Chile  
 Observatorio UMCE  
 Observatorio Universidad Católica  
 Observatorio Turístico Roan - Jasé  
 Observatorio Astronómico Melaga

### VI Región de O'Higgins

Observatorio Turístico Cerro Chamán (Viña Santa Cruz)  
 Centro Astronómico Tagua Tagua

### VIII Región del Bío-Bío

Observatorio Turístico Elke  
 Observatorio Astronómico Cielos de Shangril-La  
 Observatorio Astronómico Amateur Antares



Antenas de ALMA en el AOS  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

### ATACAMA LARGE MILIMETER/SUBMILIMETER ARRAY (ALMA)

San Pedro de Atacama  
Segunda Región de Antofagasta  
5.000msnm

Institución a Cargo: European Southern Observatory (ESO)



Observatorio VLT  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

### VERY LARGE TELESCOPE (VLT) PARANAL

Taltal  
Segunda Región de Antofagasta  
2.600msnm

Institución a Cargo: European Southern Observatory (ESO)





Observatorio La Silla  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

### LA SILLA

La Higuera  
Cuarta Región de Coquimbo  
2.400msnm

Institución a Cargo: European Southern Observatory (ESO)



Observatorio Cerro Tololo  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

### CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY

Vicuña  
Cuarta Región de Coquimbo  
2.200msnm

Assosiation of Universities for Research in Astronomy (AURA) en convenio con la Universidad de Chile



Para lograr escoger el emplazamiento que cumpla mejor las necesidades del espacio a proyectar es necesario analizar la situación de cada uno.

a.- La contaminación lumínica por el potencial crecimiento urbano futuro, el proyecto se trata de un espacio para observación, por ende, este es el punto más importante. De las cuatro opciones, tres se encuentran muy cercanas a grandes urbes, que corresponden a La Serena y Antofagasta, ambas reconocidas por el gran flujo lumínico que producen. En este aspecto ALMA cumple de mejor manera ya que el poblado más cercano es San Pedro de Atacama, el cual además de estar protegido por normativa contra la contaminación lumínica, no posee un crecimiento urbano considerable. La idea del proyecto es que la observación sea el centro máximo de atención, por ende, el estar cerca de una ciudad significa el decaimiento del observatorio y también del proyecto, es

necesario asegurar que la funcionalidad del proyecto perdurará en el tiempo.

b.- El financiamiento: de las dos instituciones sólo ESO mostró interés es crear un espacio destinado a la difusión de la astronomía, específicamente para el observatorio ALMA. Por ser éste, el observatorio más grande y desarrollado del mundo, es de interés de ESO darlo a conocer a la población y además lograr enseñarle a la gente sobre la nueva tecnología que son los radio telescopios, ya que, como se mencionó anteriormente no es tan sencillo de entender como la tecnología tradicional. De hecho, ya existen en marcha varios proyectos del tipo intelectual para llevar a ALMA tanto a la población local de San Pedro de Atacama como a la población itinerante, es decir, al turista. Se ha intentado también con estos proyectos trabajar la astronomía de una manera integral para la población local, tomando en consideración su cultura.





## IV. EMPLAZAMIENTO

### ATACAMA LARGE MILIMETER/SUBMILIMETER ARRAY San Pedro de Atacama

Ubicación: Comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa, Segunda Región de Antofagasta, Chile.

Institución: ESO, NRAO, NAOJ.

Superficie: • Edificio OSF: 7.000 m<sup>2</sup>

• Edificio AOS: 1.200 m<sup>2</sup>

• Edificio SCO (Stgo): 6.500 m<sup>2</sup>

• Campamento: 2.500 m<sup>2</sup>

• Residencia (proyecto): 5.500 m<sup>2</sup>

• Obras anexas: 2.000 m<sup>2</sup>

• Camino portería a AOS: 43 Km.

• Caminos Chajnantor: 80 Km.

• Fundaciones radiotelescopios: 192

Horario: 24 horas, todo el año.

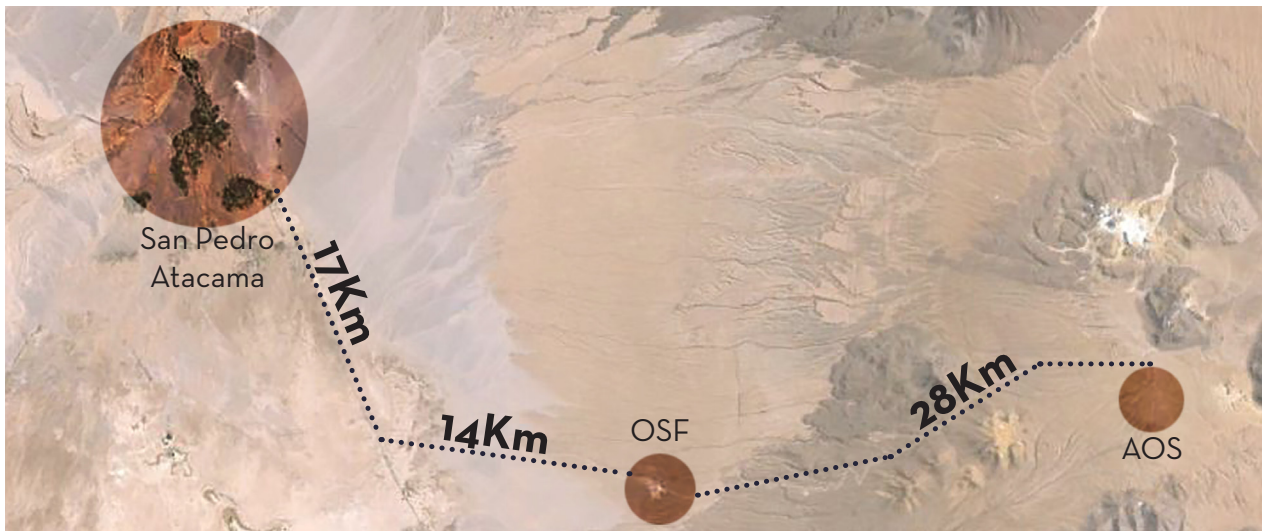
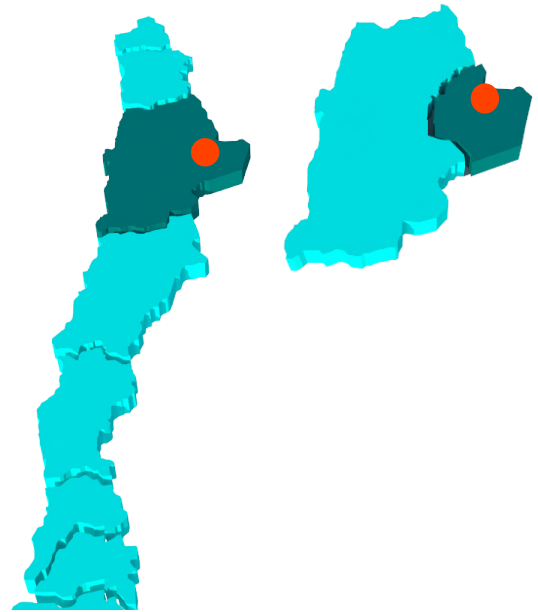
Distancias: San Pedro-entrada ALMA= 17km

Entrada ALMA-OSF= 14km

OSF-AOS= 28km

San Pedro-OSF= 31km

*Antenas de ALMA en el AOS*  
*Fuente: www.eso.org*



#### 4.1 El Observatorio.

El Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), una instalación astronómica internacional, es una asociación entre Europa, Norteamérica y Asia del Este en cooperación con la República de Chile. ALMA es financiado en Europa por la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral (ESO), en Norteamérica por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (NSF por su sigla en inglés) en cooperación con el Consejo Nacional de Investigaciones de Canadá (NRC por su sigla en inglés) y el Consejo Nacional de Ciencia de Taiwán (NSC por su sigla en inglés) y en Asia del Este por los Institutos Nacionales de Ciencias Naturales (NINS por su sigla en inglés) de Japón en cooperación con la Academia Sinica (AS) en Taiwán.

La construcción y operaciones de ALMA son conducidas a nombre de Europa por ESO, a nombre de Norteamérica por el Observatorio Radio Astronómico Nacional (NRAO), que es operado por Associated Universities, Inc. (AUI) y a nombre de Asia del Este por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ). El Joint ALMA Observatory (JAO) tiene a su cargo la dirección general y la gestión de la construcción, como también la puesta en marcha y las operaciones de ALMA.

##### 4.1.1 La historia de ALMA

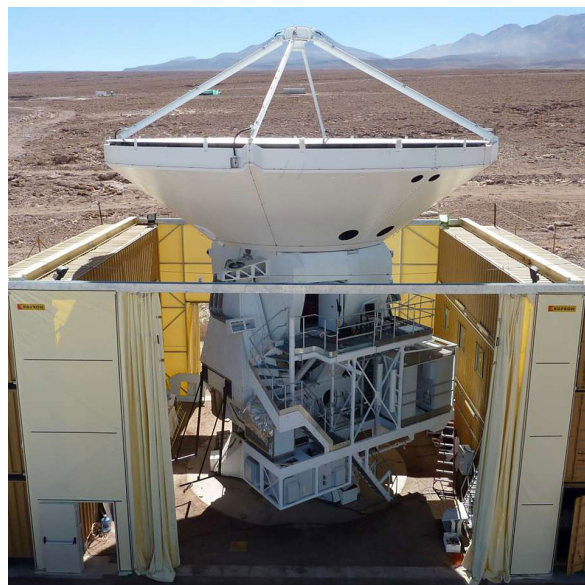
El origen de ALMA se remonta al final del siglo pasado. Astrónomos europeos, norteamericanos y japoneses estudiaron la posibilidad de construir grandes conjuntos de radiotelescopios milimétricos/submilimétricos y discutieron los distintos observatorios posibles. Después de investigaciones minuciosas, se hizo evidente que los ambiciosos proyectos de todos estos estudios difícilmente podrían ser realizados por una sola comunidad.

Por consiguiente, la comunidad norteamericana, representada a través de la NSF (Fundación Nacional para la Ciencia) y la comunidad europea, representada a través de la

ESO (Organización europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Austral) firmaron un primer Memorándum en 1999, seguido en 2002 por un acuerdo para construir ALMA en un altiplano en Chile.

Posteriormente, Japón, a través del NAOJ (Observatorio Astronómico Nacional de Japón), trabajó con los otros socios para definir y formular su participación en el proyecto ALMA. Un acuerdo oficial trilateral entre la ESO, la NSF y los Institutos Nacionales para las Ciencias Naturales (NINS, Japón) referente a la construcción del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array ampliado se firmó en septiembre de 2004. Este acuerdo fue enmendado en julio de 2006.

NAOJ proveerá cuatro antenas de 12 metros de diámetro y doce antenas de 7 metros de diámetro para el conjunto compacto (ACA por su sigla en inglés), el correlacionador del ACA y tres bandas de los receptores. Con la inclusión de los socios asiáticos, ALMA se ha convertido en una instalación astronómica verdaderamente global, implicando a científicos de cuatro continentes diferentes.



Primera antena Europea  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)



#### 4.1.2 Línea de tiempo.

1995

Prueba de sitio conjunta de NRAO/ESO/NAOJ con Chile

1999

Junio, Memorándum estadounidense/europeo de entendimiento del diseño y desarrollo.

2001

Abril, Resolución para ALMA entre Europa, Norteamérica y Japón.

2003

Febrero, Acuerdo bilateral norteamericano/europeo de ALMA. Este acuerdo fue enmendado en febrero de 2007.

Abril, Prueba de la primera antena prototipo comienza en el sitio de la Base de Prueba de ALMA (ATF, por su sigla en inglés) en Nuevo México.

Noviembre, Ceremonia de colocación de la primera piedra en el sitio de ALMA.

2004

Acuerdo referente a la construcción del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array ampliado, entre ESO, NSF y NINS. Este acuerdo fue enmendado posteriormente en julio de 2006.

2005

Enero, Contrato japonés para la producción de las antenas del ACA.

Julio, Contrato norteamericano por la producción de hasta 32 antenas para ALMA.

Diciembre, Contrato europeo por la producción de hasta 32 antenas para ALMA.

2007

Marzo, "Primeras franjas" detectadas por dos antenas conectadas en el ALMA Test Facility (ATF) en Nuevo México.

Abril, Llegada de la primera antena a Chile.

2008

Febrero, Llegada a Chile de los dos transportadores de ALMA.

Julio, Primer traslado de antena con un transportador.

Octubre, Instalación de un Front End de fabricación norteamericana en una de las antenas japonesas.

Diciembre, Entrega de la primera antena de ALMA.

2009

Mayo, Primera interferometría con dos antenas en el Centro de Operaciones (OSF - 2.900 metros de altitud).

Septiembre, Primer transporte de una antena de ALMA a Chajnantor (5.000 metros de altitud).

Noviembre, Cierre de fase con tres antenas en Chajnantor.



Primera antena Europea siendo armada  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)



## CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

2010

Noviembre, Nueva Oficina Central de ALMA en Santiago.

Noviembre, Primeras imágenes de prueba con ALMA en preparación de la Ciencia Inicial (Early Science).

2011

Marzo, ALMA llama a presentar propuestas para etapa de Observación de Ciencia Inicial.

Julio, Casi mil propuestas enviadas a ALMA para iniciar observaciones científicas.

Julio, Antena Europea ALMA eleva el total de antenas a 16 en Chajnantor.

Agosto, La primera antena de 7 metros llega a Chajnantor.

Septiembre, Camión de aprovisionamiento criogénico llega al Observatorio ALMA.

Octubre, ALMA abre los ojos.

Diciembre, Firman contrato por el hotel residencial de ALMA.

2012

Mayo, A mitad de camino: ALMA ya tiene 33 antenas en Chajnantor.

Mayo, ALMA invita a presentar propuestas para un nuevo ciclo de observaciones.

Mayo, ALMA pone la mirada en Centauro A.

2013

Marzo, Inauguración de ALMA.



Primer transporte de una antena de ALMA a Chajnantor, Septiembre de 2009

Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)



#### 4.1.3 Sedes de ALMA

El Observatorio ALMA tiene tres ubicaciones principales: el Centro de Operaciones (OSF por su sigla en inglés), el Sitio de Operaciones del Conjunto de Antenas (AOS por su sigla en inglés) y Sede Central en Santiago (SCO por su sigla en inglés).

##### Centro de Operaciones (OSF):

El OSF, ubicado en el desierto de Atacama, a 3000msnm aprox., es el centro de actividades de ALMA. Es aquí donde trabaja la mayoría del personal y se procesa la mayor parte de la información obtenida por las antenas. Posee una capacidad máxima para albergar a 500 trabajadores.

En el OSF además, se realiza todo el Ensamblaje-Integración-Verificación (AIV) de antenas, en tres áreas diferentes según la institución a cargo (ESO, NRAO, NAOJ), las cuales serán posteriormente sometidas a una aprobación preliminar y finalmente trasladadas al AOS.

El OSF alberga también el lugar donde se realiza la mantención y reparación de las piezas de las antenas.



OSF

Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

##### Sitio de Operaciones del Conjunto de Antenas (AOS):

El AOS se encuentra a 5000msnm aprox., y está ubicado en el valle de Chajnantor, a 28km del OSF.

La construcción del Edificio Técnico del AOS comenzó en Octubre de 2005 y el almacén exterior fue terminado a mediados de 2006. El trabajo de construcción interior fue terminado en el verano de 2007. Las operaciones humanas en el AOS serán limitadas a un mínimo absoluto, debido a la gran altitud. El Edificio Técnico del AOS es donde se ubica el correlacionador, es decir, el cerebro de ALMA, es el aparato encargado de procesar las longitudes de onda captadas por las antenas y convertirlas en información astronómica para posteriormente ser transmitidas a las instalaciones del OSF.



AOS en construcción  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

##### Sede central en Santiago (SCO):

La nueva oficina central de ALMA en Santiago, ubicada en la comuna de Vitacura, alberga la oficina del Director y las unidades ejecutivas asociadas, así como las oficinas de los astrónomos y del personal técnico y administrativo. La nueva oficina central también alberga los archivos de ALMA.



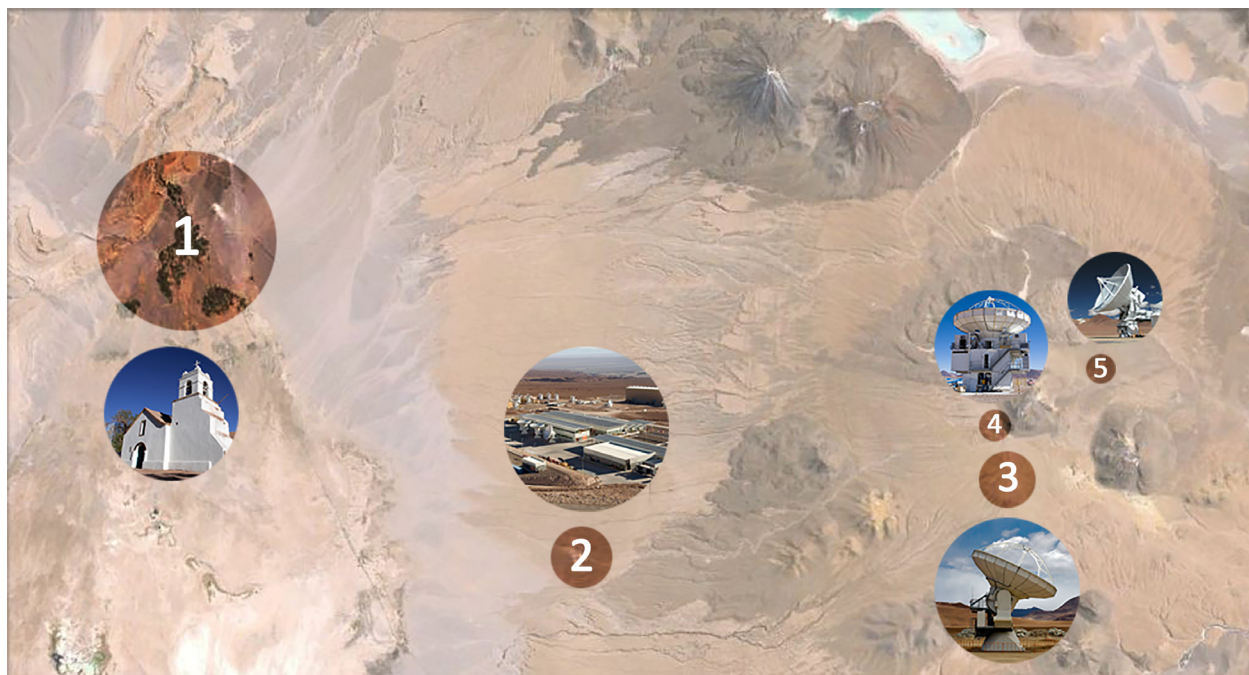
SCO

Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

## CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

En la comuna de San Pedro de Atacama se encuentran, además del OSF y el AOS de ALMA, el observatorio APEX, de ESO y el observatorio ASTE, de NAOJ, ambos en el valle de Chajnantor.

Todos emplazados en este lugar debido a las condiciones de climáticas y de terreno, ideales para la instalación de radiotelescopios.



Vista aérea de la comuna de San Pedro

Fuente: Google Earth

Elaboración propia

- 1.- San Pedro de Atacama
- 2.- ALMA OSF
- 3.- ALMA AOS

- 4.- APEX
- 5.- ASTE

### 4.1.4 Elección del terreno

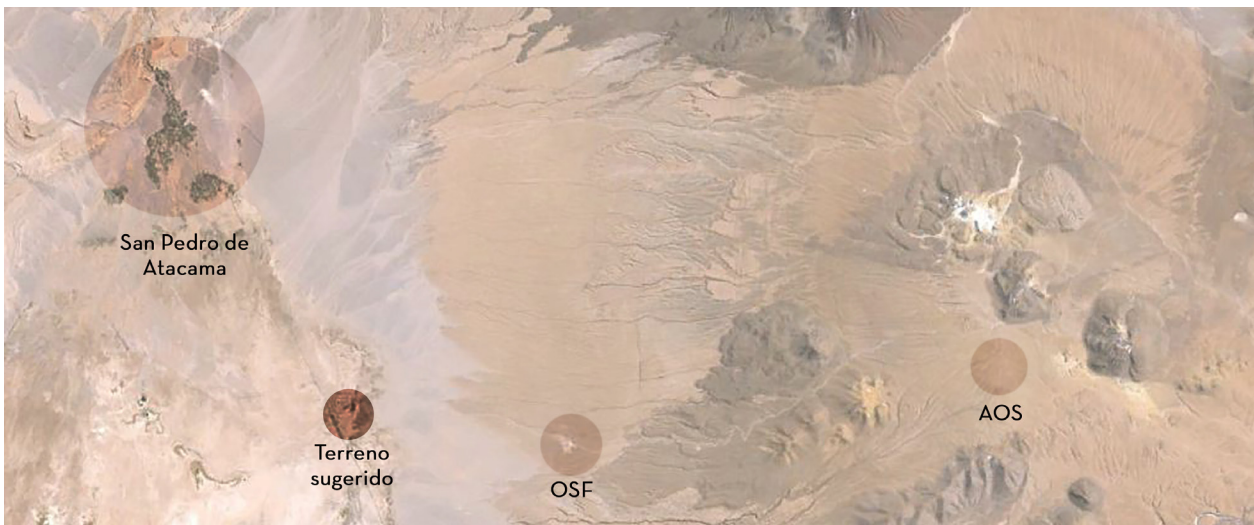
Escoger un terreno óptimo en una explanada de miles de kilómetros cuadrados es una tarea un tanto difícil. Es necesario analizar ciertos factores hasta encontrar el lugar que satisfaga todas las necesidades que el proyecto requiere.

Accesibilidad: Si bien ALMA pertenece a la comuna de San Pedro de Atacama (OSF y AOS), se encuentra muy alejado del poblado mismo, lo que lo hace un lugar de difícil acceso. En este caso, sería ideal encontrar un lugar cercano a la carretera, donde la población pueda acceder al lugar sin ninguna dificultad. El camino hacia las lagunas altiplánicas (uno de los tours más requeridos de San Pedro) es

el mismo que lleva hacia ALMA, de hecho, en un tramo del recorrido es posible ver el OSF desde el bus de turismo, lo que quiere decir que es completamente factible crear una zona de interés turístico en esta zona.

Preferencias de ALMA: en un primer encuentro, personal de ALMA manifestó interés en crear un centro de visitantes en el inicio del camino hacia el OSF, es decir, en la intersección entre la carretera y el camino a ALMA, frente a la caseta de control.





Vista aérea de la comuna de San Pedro  
Fuente: Google Earth  
Elaboración propia

Factibilidad: de manera inapelable, el AOS queda descartado, ya que la altura (5.000msnm) hace que la mayoría del público no esté apto para subir, y aquellos que lo estén, corren igualmente el riesgo de descompensarse por la falta de oxígeno, fenómeno que es conocido como “apunamiento”. Además, el sector de las antenas es altamente delicado, cualquier contacto del público con las antenas puede significar la falla de alguna de ellas, recordemos que cada antena tiene una precisión submilimétrica, por lo que cualquier falla significa detener las investigaciones y calibrar la antena nuevamente, sin considerar el costo monetario que aquello puede conllevar. Finalmente es inviable proyectar en este lugar debido a que cada automóvil que desee subir debe pasar por un control físico, y posteriormente un control por radio cada cierta cantidad de kilómetros recorridos. Por lo tanto es peligroso para los pasajeros, para la investigación, es poco accesible y altamente complejo.

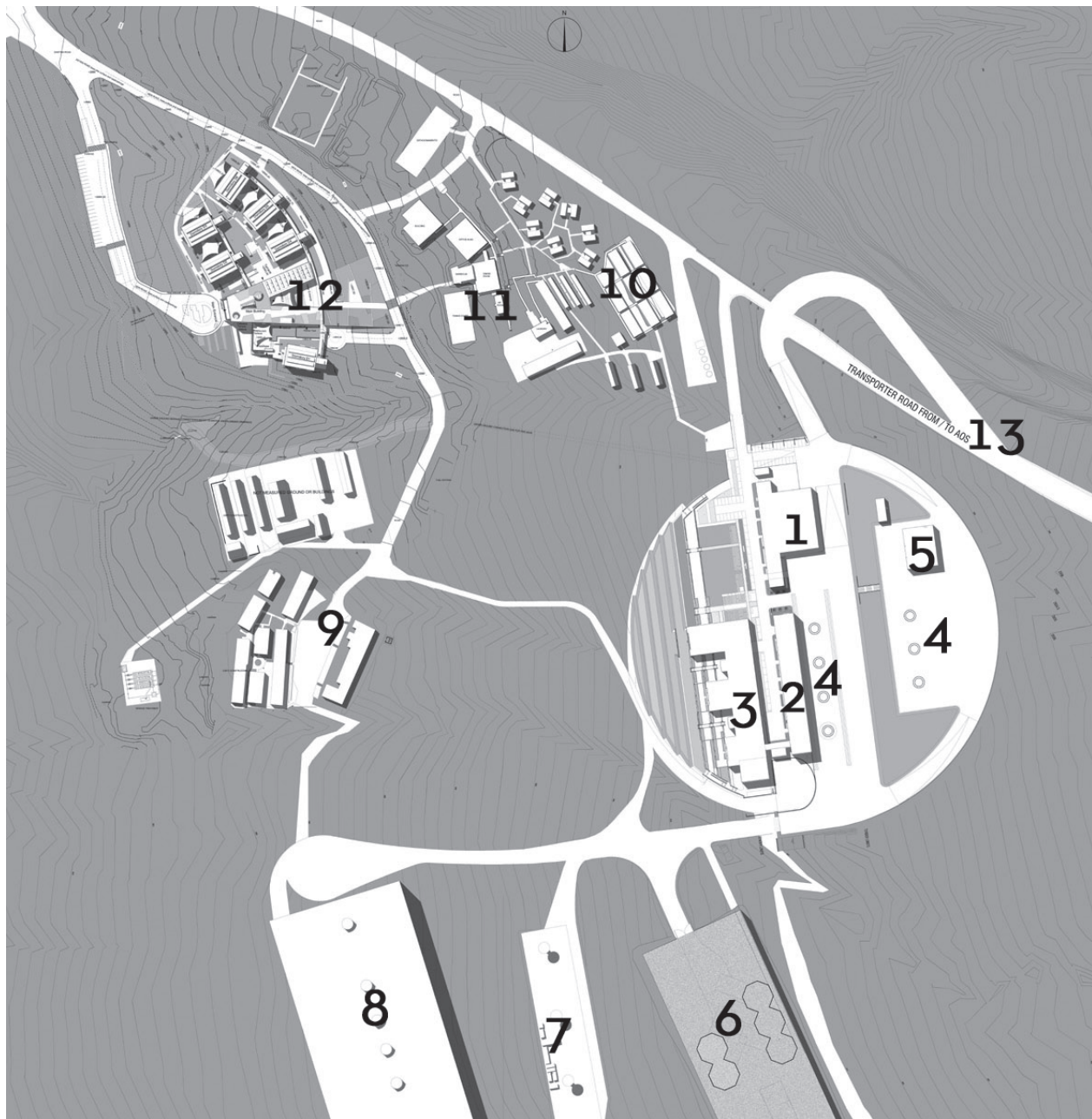
Luego de una investigación en terreno (en ALMA), se descartó el acceso a ALMA como un posible emplazamiento ya que el terreno no pertenece a ALMA, es decir, el camino corresponde a una servidumbre de paso. La caseta se construyó con un permiso extraor-

dinario ya que era una superficie menor y era indispensable para restringir el paso hacia el observatorio.

Se concluye entonces, que el único terreno factible es dentro del OSF ya que es accesible, factible y posee un gran atractivo turístico. Es aquí donde se procesa la información, donde se realiza en ensamblaje y reparación de antenas y además existen ocho plataformas para instalar antenas, aunque actualmente están instaladas sólo 6. Por ende, es posible observar todos los procesos realizados en ALMA sólo en el OSF lo que lo hace un lugar óptimo para albergar el proyecto.

Sin embargo la superficie del OSF es bastante extensa y los posibles terrenos son muchos, será necesario realizar un análisis de cada una de las actividades para encontrar un lugar preciso.

#### 4.1.5 Búsqueda del lugar exacto



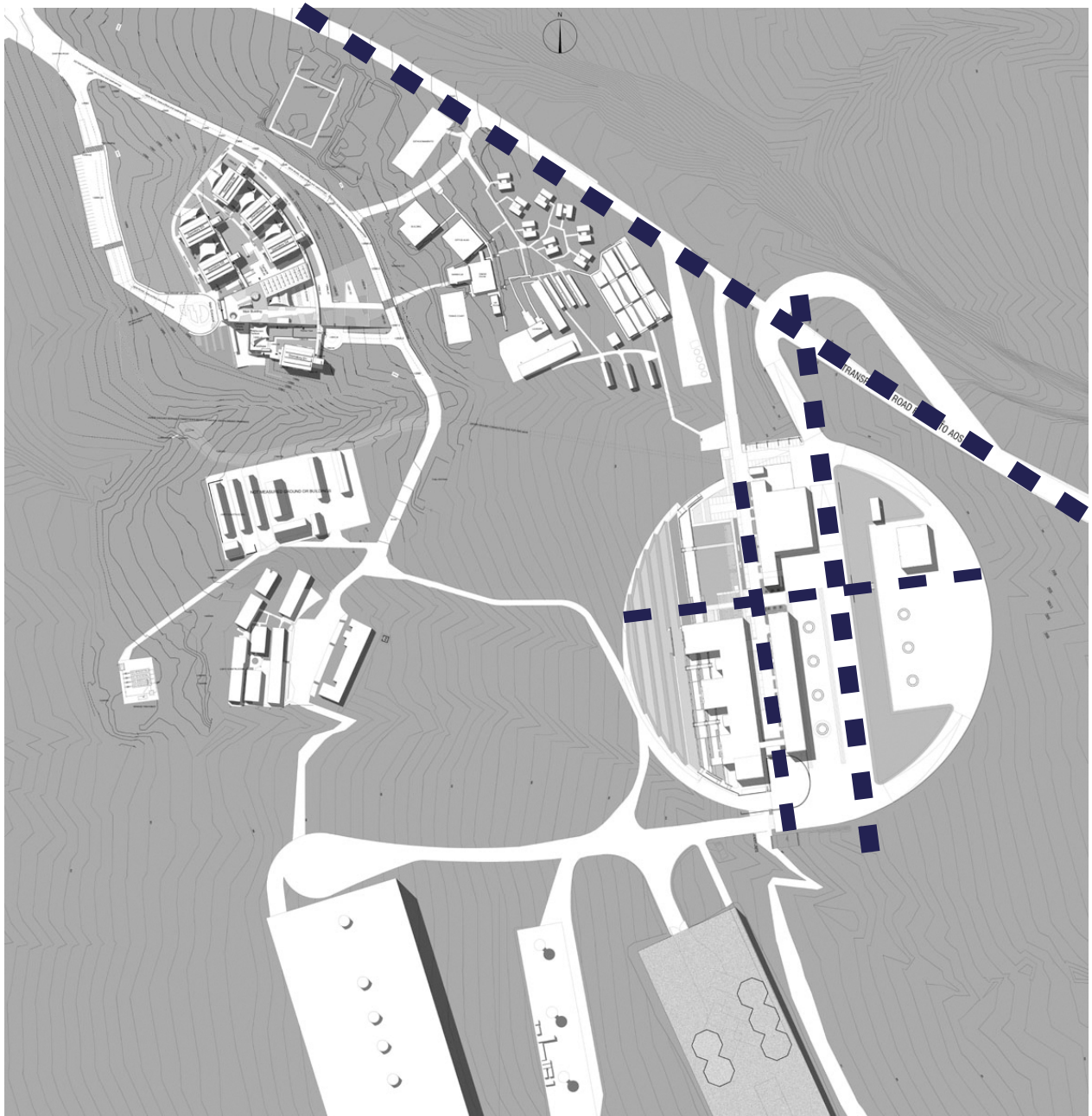
Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia

#### EL OSF

- 1.- Edificio de almacenaje y talleres
- 2.- Planta de montaje de antenas
- 3.- Edificio técnico
- 4.- Antenas
- 5.- Trans portadores
- 6.- Ensamblaje de antenas ESO
- 7.- Ensamblaje de antenas NAOJ

- 8.- Ensamblaje de antenas NRAO
- 9.- Instalaciones de faena
- 10.- Zona de alojamiento
- 11.- Zona de servicios
- 12.- Proyecto de hotel residencial
- 13.- Camino al AOS





Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia

### Los ejes

El OSF posee cuatro ejes principales, dos norte-sur, uno oriente-poniente y uno norponiente-suroriente.

El eje norponiente-suroriente es el camino que va desde la carretera hasta el AOS, pasando por el OSF sin ingresar a él, es decir, es sólo un eje tangencial. Es un eje exclusivamente vehicular desde el cual es posible ver todas las instalaciones del OSF

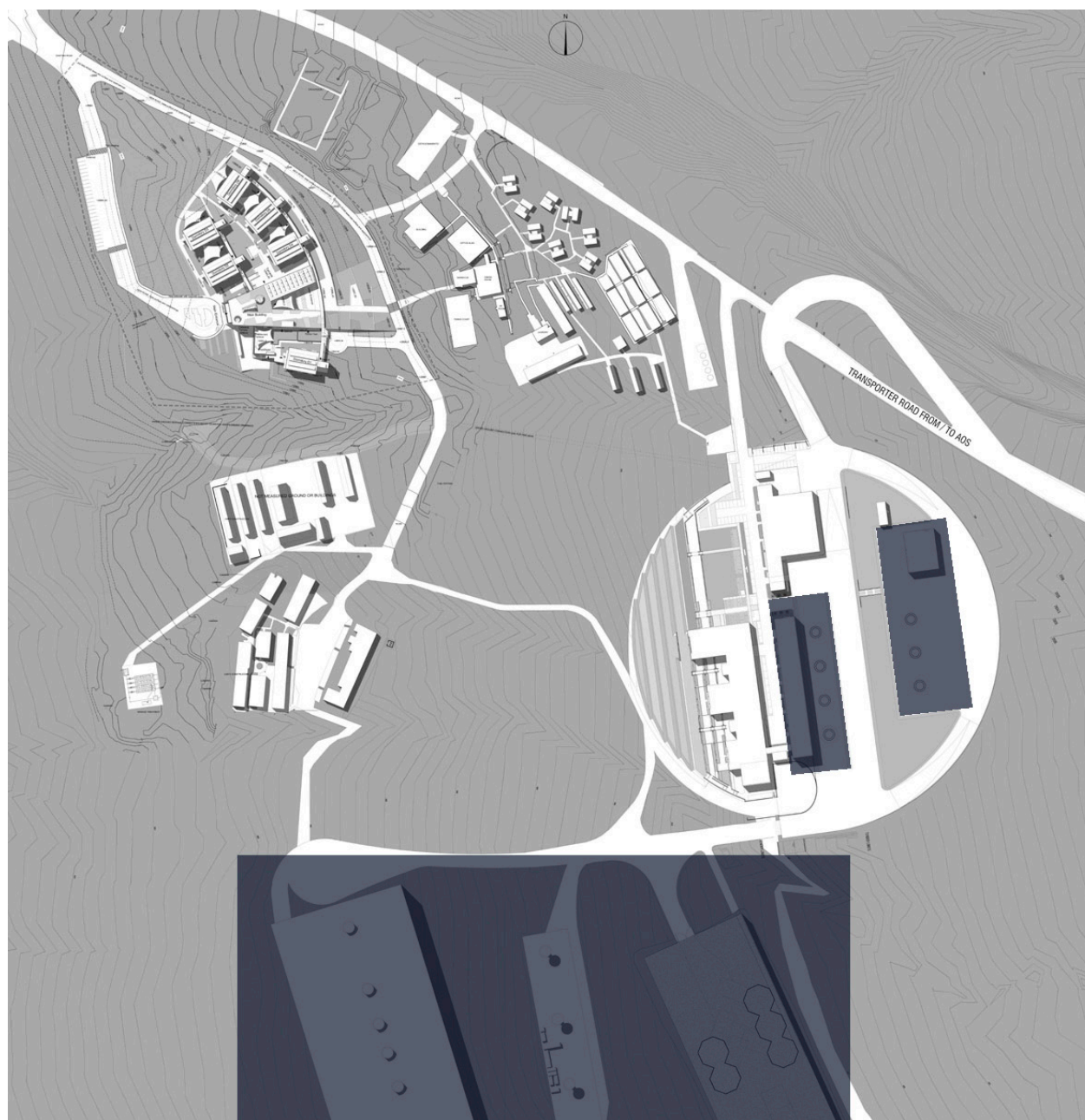
El eje oriente-poniente es un eje que recorre

todo el centro de operaciones, pasando por el edificio técnico, la planta de montaje de antenas, el edificio de almacenaje y talleres, el primer grupo de antenas para finalmente rematar en el segundo grupo de antenas y los transportadores. Es un eje exclusivamente peatonal, compuesto principalmente por escaleras y descansos, lo que, debido a la altura (3.000msnm) no es un eje fácil de recorrer.

## CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

El eje norte sur que se encuentra hacia el poniente es un eje tanto vehicular como peatonal que pasa por el edificio de almacenaje y talleres, la planta de montaje de antenas y el edificio técnico. Este eje no recorre el centro de operaciones completo ya que tiene como remate la unión entre el edificio técnico y la planta de montaje de antenas.

Finalmente el eje norte-sur que se encuentra hacia el oriente es el eje principal que cruza el OSF, es tanto vehicular como peatonal, pero, a diferencia del que se encuentra hacia el poniente, por este eje ocasionalmente circulan también los transportadores debido a las antenas que allí se encuentran. Este eje luego de cruzar todo el OSF remata en el camino que lleva a la zona de ensamblaje de antenas.



Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia

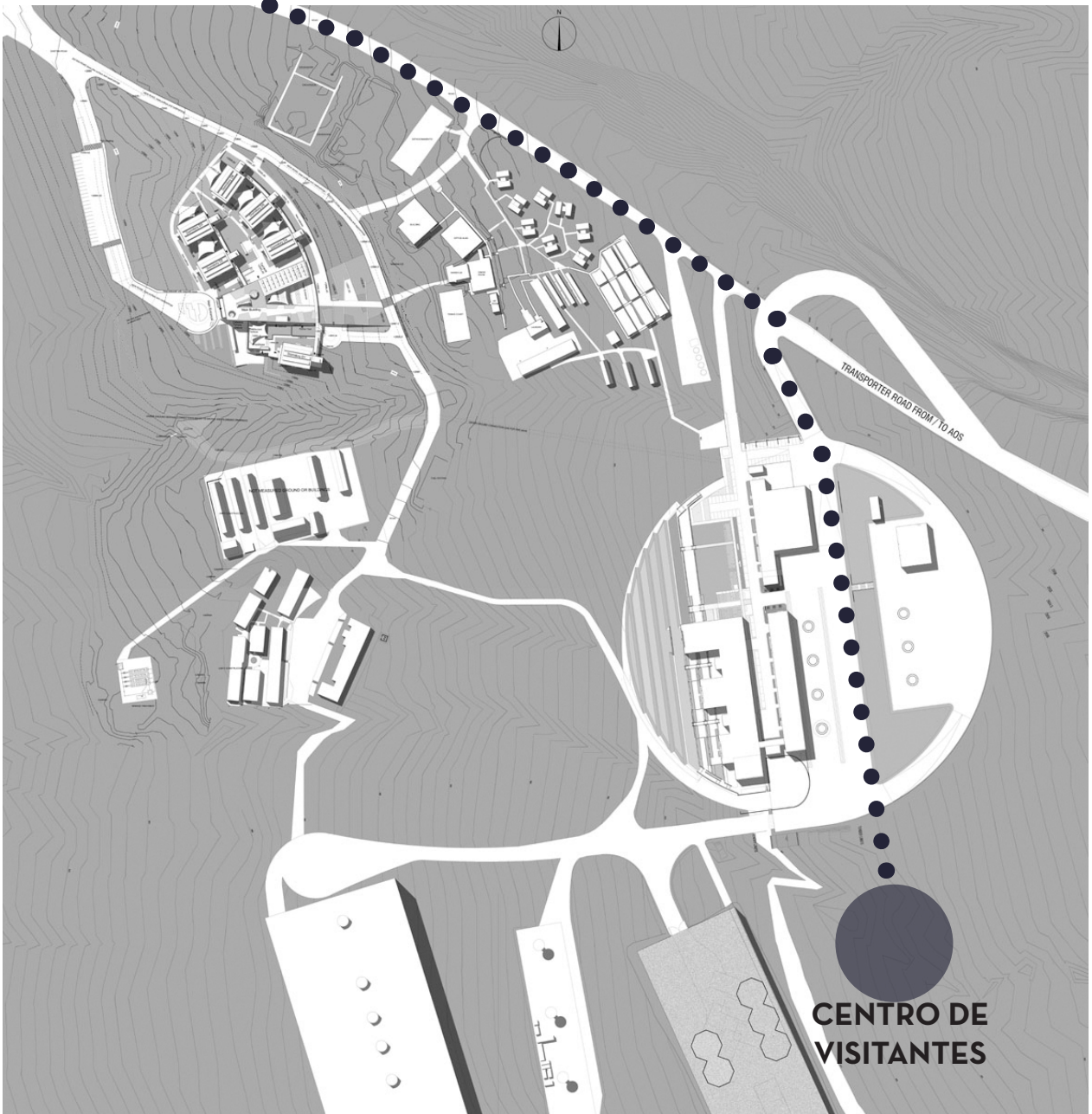


**Lugares de interés en el OSF**

El OSF alberga una gran cantidad de programas, sin embargo aquellos que son atractivos para el público exterior son los relacionados directamente con las antenas, es decir, las antenas mismas, la zona de ensamblaje de antenas, los transportadores y el edificio de montaje de antenas.

Par lograr un recorrido atractivo, se debe considerar el OSF en su totalidad como vista, pero introducirse sólo en los programas de mayor interés. Es por esto, que se decidió

considerar en el recorrido sólo los dos ejes más importantes, es decir, el eje norponiente-suroriente, por la accesibilidad y porque ofrece una vista panorámica del recinto y el eje principal, o sea, el norte-sur que se encuentra hacia el oriente, ya que es el único que recorre los programas elegidos y tiene dimensiones suficiente para recibir a los futuros visitantes. Una vez terminado el recorrido, el eje principal tendrá como remate el **centro de visitantes para el aprendizaje y la observación.**



Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia

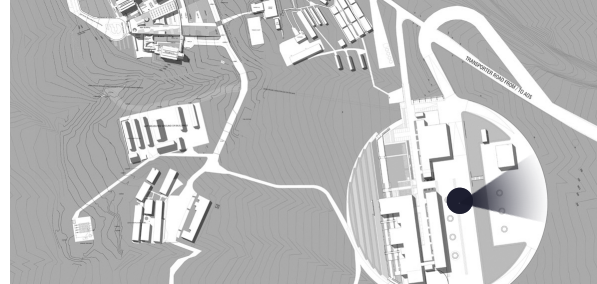
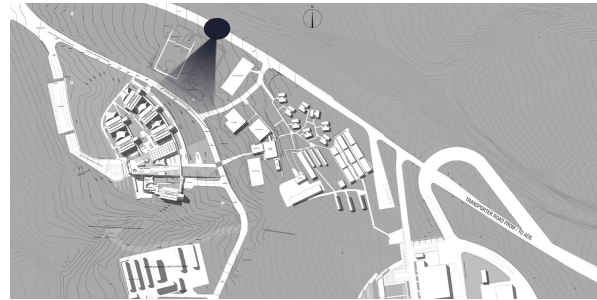


# CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

## El recorrido



Imágenes del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Archivo personal



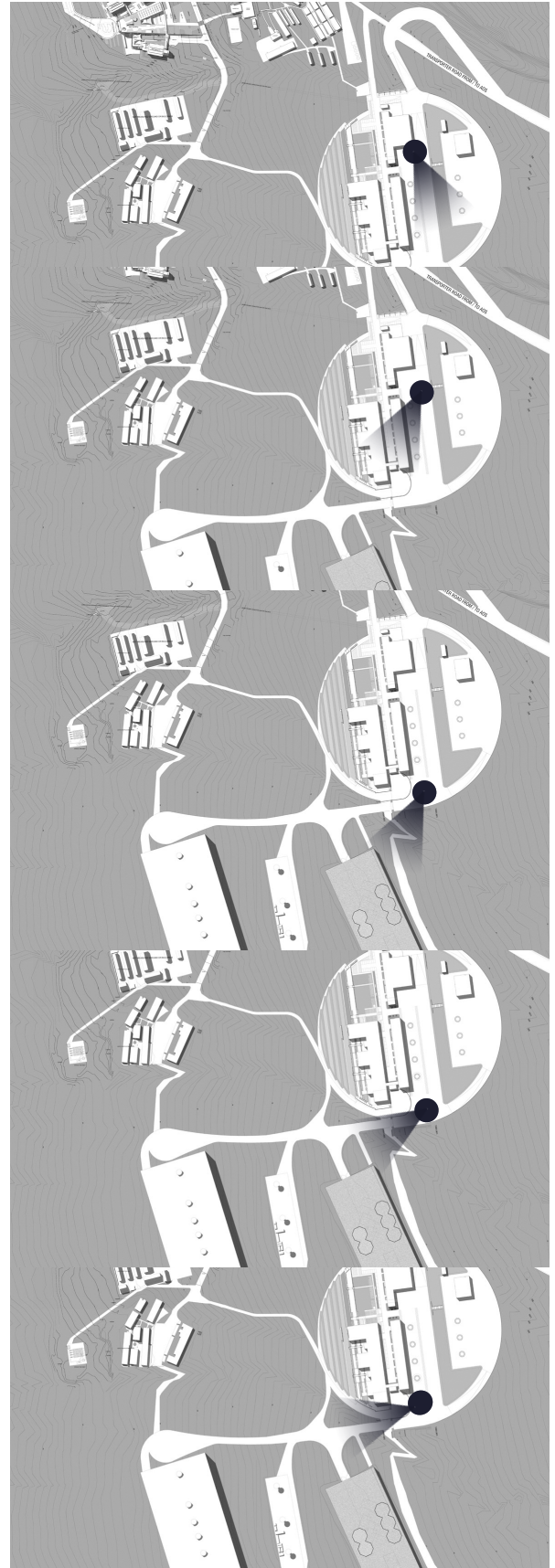
Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia



IV. EMPLAZAMIENTO: ATACAMA LARGE MILIMETER/SUBMILIMETER ARRAY  
San Pedro de Atacama



Imágenes del OSF  
Fuente: Archivo personal

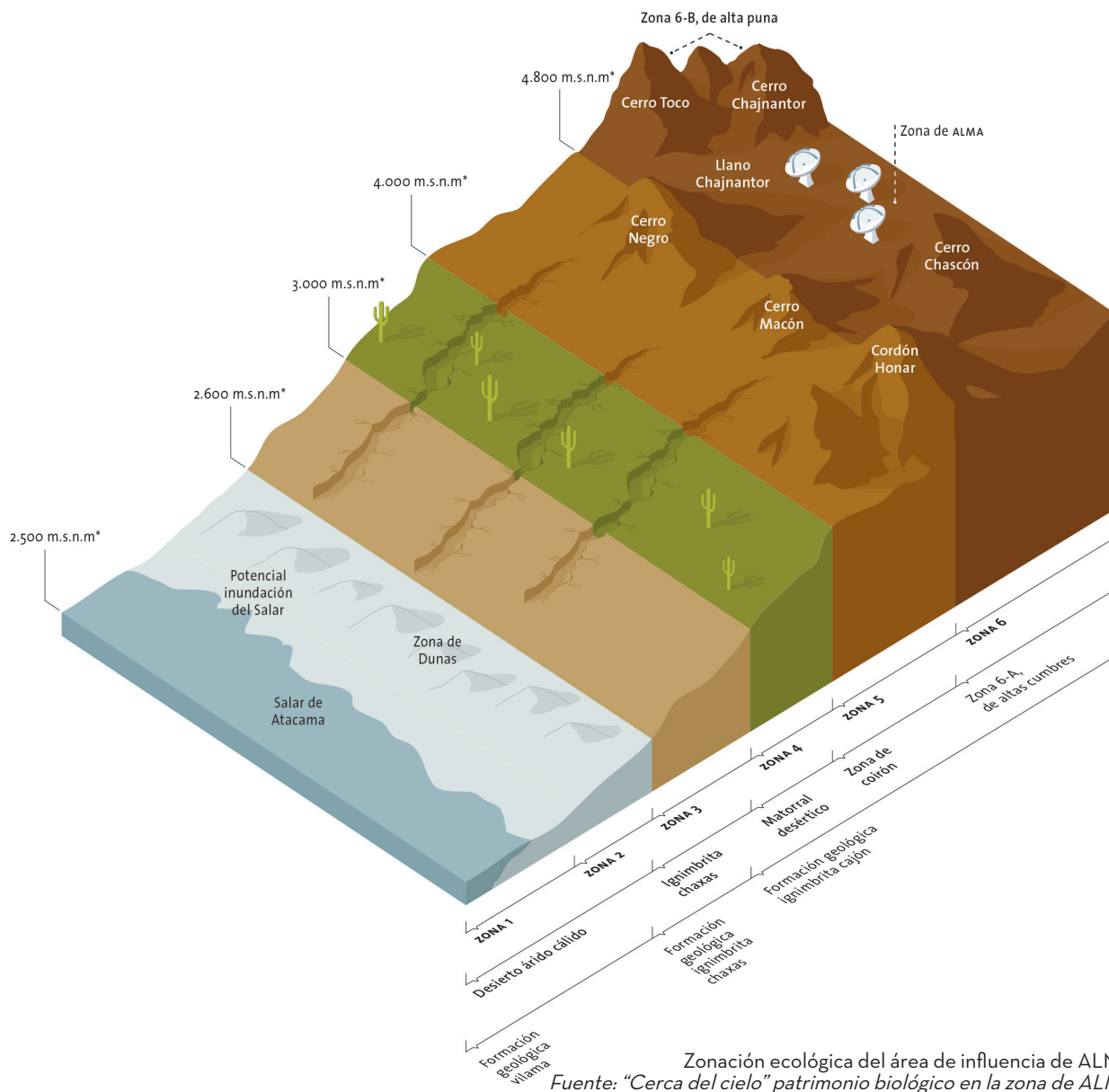


Planta del OSF  
Fuente: [www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)  
Elaboración propia



## V. CONTEXTO

Vicuña en los Geysers del Tatio  
Fuente: Archivo personal



Zonación ecológica del área de influencia de ALMA  
Fuente: "Cerca del cielo" patrimonio biológico en la zona de ALMA

## 5.1 Medio biótico

El Llano Chajnantor fue seleccionado como el sitio ideal para la construcción de alma luego de varios años de estudios atmosféricos y meteorológicos. Su gran altura, estabilidad atmosférica y baja humedad lo convierten en uno de los mejores lugares del mundo para la Radio Astronomía. Para proteger las privilegiadas condiciones de Chajnantor, el gobierno de Chile ha declarado una gran parte de esta zona como reserva científica.

Por ello, ALMA ha creado un libro llamado “Cerca del cielo” el cual es el resultado de una ardua investigación del patrimonio natural que rodea a ALMA. En él se da a conocer ALMA paso a paso, comenzando por algunos conceptos básicos sobre Radio Astronomía, lo que permite entender la importancia del trabajo que allí se realiza para ampliar el conocimiento actual del Universo. Este libro contiene las observaciones de flora y fauna efectuadas en terreno por expertos que fueron comisionados para investigarla y recomendar las claves para su protección.

### 5.1.1 Zonación ecológica del área de influencia de ALMA

#### 5.1.1.1 Zonas 1 y 2: desierto árido cálido. Zona de potencial inundación del Salar de Atacama y zona de dunas

Estos pisos ecológicos corresponden a una altura geográfica de alrededor de 2.300 mts. a 2.500 mts. sobre el nivel del mar.

Los faldeos occidentales de la Cordillera de Los Andes drenan, entre el Volcán Licancabur y el Volcán Lascar, hacia la gran depresión del Salar de Atacama.

Debido al clima árido, estos aportes hídricos de la Cordillera se han evaporado y han dado paso a la formación del Salar de Atacama.

El Salar de Atacama tiene una superficie aproximada de 3 mil kilómetros cuadrados, que forma parte de una cuenca hidrográfica de 12 mil kilómetros cuadrados.

Dentro del Salar hay una gran variedad de formas salinas: existen costras lisas y secas,



Formaciones salinas del Salar de Atacama  
Ejemplar de un Tamarugo  
Flamencos andinos en el Salar de Atacama  
Chorlo de la Puna

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA



Pollito de mar tricolor

Gaviota Andina

Playero de Baird

Caití

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA

otras que forman verdaderas esculturas salinas o placas, según los tipos de sales y humedad reinante en cada sector del Salar.

Aquí se han formado salmueras saturadas de cloruro de sodio, que también contienen potasio, litio, magnesio, sulfatos y boratos. Es decir, son fuentes de una gran riqueza mineral.

El Salar de Atacama es el yacimiento de litio más importante del mundo, alcanzando un 25% de abastecimiento del mercado mundial. El litio es un metal ligero, blando, de color plateado, que se oxida fácilmente en contacto con el agua y el aire. Es usado para confeccionar baterías eléctricas, en la aleación de conductores de calor y en el tratamiento psiquiátrico de ciertas formas de depresión.

El aporte de agua de la Cordillera de los Andes permite la existencia de lagunas de poca profundidad en el Salar. Son lagunas de alta salinidad y poseen una extraordinaria fauna y microflora, que permitió que el área del salar se convirtiera en un verdadero paraíso para un conjunto de aves muy adaptado a estas condiciones áridas y salinas.

ALMA no tiene en su área de influencia lagunas o salmueras del Salar de Atacama, pero los terrenos más bajos, por donde pasa el camino de acceso al observatorio, se encuentran en sectores que forman parte de áreas de potencial inundación del Salar. Estos terrenos tienen aguas subterráneas a poca profundidad y son salinos.

### Flora y fauna:

Por tal motivo, existe una flora bastante tolerante a la salinidad, con especies como Pingo-pingo, Rica-rica, Brea, Grama brava y Atriplex.

La cobertura de suelo es escasa. En las dunas que forman la parte más alta de estos terrenos salinos, se encuentra fauna como el Tuco-tuco (*Ctenomys fulvus*). El Tuco-tuco es un roedor fosario, lo que significa que vive en túneles o cavernas (fosas) bajo tierra. También es posible divisar al lagarto *Liolaemus paulinae*, de un llamativo color naranja.

¿Y qué pasa con la presencia del hombre en

esta zona? Desde tiempos precolombinos, los terrenos de este piso ecológico han sido usados para el pastoreo de llamas y alpacas, especialmente durante la estación de invierno, cuando el frío y la nieve impiden llevar el ganado a praderas de mayor altura. Actualmente existen, en este mismo sector, actividades de pastoreo de llamas, alpacas, burros, caprinos y ovinos.

El camino de acceso a ALMA pasa en sus primeros 3 kilómetros por el sector Tambillo, que forma parte de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Este sector fue declarado reserva para proteger una reforestación con Tamarugos (*Prosopis tamarugo*), árbol endémico del norte de Chile y eminentemente adaptado para sobrevivir en el desierto. Este árbol soporta temperaturas muy extremas, fuertes vientos y la ausencia de precipitaciones, abasteciéndose, con sus largas raíces, de napas o capas de agua subterráneas de hasta más de 60 metros de profundidad, tolerando altos impactos salinos.

El tamarugo es usado por los pastores como forraje para animales domésticos que consumen tanto su fruto, una dura vaina, como sus partes verdes. El fruto es, además, actualmente utilizado para fabricar artesanías que son vendidas a turistas.

Esta formación geológica, Vilama, está compuesta por depósitos sedimentarios continentales. Incluye areniscas limonitas, que son rocas sedimentarias, constituidas por arenas finas cementadas por limo (lodo), cenizas y conglomerados, fragmentos redondeados de diversas rocas o sustancias minerales, no consolidadas.

Su espesor alcanza los 60 metros, aflorando en ambos flancos de la Cordillera de la Sal y en el extremo nororiental de la cuenca del Salar de Atacama. Se encuentra cubierta por materiales permeables provenientes de aluviones (arrastres de grandes masas de materiales).

Flamencos y otras aves del salar de atacama  
De las pocas especies de flamencos (Parinas)



Flamenco Andino  
Flamenco de James  
Flamenco Chileno

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA



que existen en el mundo, Chile tiene 3 y éstas se encuentran en el Salar de Atacama:

**Parina grande** (*Phoenicoparrus andinus*): Es el más grande de los flamencos chilenos, que llega a medir hasta un metro y 20 centímetros. Su plumaje es más blanquecino y menos rosado. Su población no sobrepasa los 40 mil ejemplares. En el Salar de Atacama se registran en verano alrededor de 1.700 a 1.800 ejemplares. Además se encuentra en los Salares de Pujsa, Huasco y Surire, entre otros.

**Parina chica** (*Phoenicoparrus jamesii*): La especie más pequeña de los flamencos chilenos. Su población en la puna (palabra quechua que alude a la tierra alta, próxima a la Cordillera de los Andes) es de alrededor de 60 mil ejemplares. Es un típico habitante de salares ubicados a gran altura. Al Salar de Atacama baja solamente en los inviernos, cuando las lagunas sobre los 4 mil metros de altura se encuentran congeladas. Se registran hasta 1.700 ejemplares en el Salar de Atacama.

**El Flamenco Chileno** (*Phoenicopterus chilensis*): Mientras las otras 2 especies de flamencos en Chile se encuentran exclusivamente en la zona altiplánica, ésta se distribuye sobre todo en el cono sur del continente americano. Su población en la puna es de 100 mil ejemplares. En Chile nidifica en el Salar de Atacama donde alcanza alrededor de mil ejemplares. También se encuentra en el Salar de Pujsa, mientras que su sitio de reproducción más importante es el Salar de Po-opo, en Bolivia.

Otras aves típicas del Salar de Atacama:

- Caití (*Recurvirostra andina*).
- Gaviota andina (*Larus serranus*).
- Playero de Baird (*Calidris bairdii*).
- Pollito de Mar Tricolor (*Phalaropus tricolor*).
- Chorlo de la puna (*Charadrius alticola*).

Bosque de Tamarugo y Volcán Licancabur  
Salar de Atacama  
Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA

### 5.1.1.2 Zona 3: Zona de formación geológica Ignimbrita Chaxas (Ubicación del OSF)

La ignimbrita es una roca volcánica silíceo formada por partículas volcánicas de tamaño fino y abundancia de vidrio, que son expulsadas en fumarolas del interior de la Tierra y depositadas en la superficie en estratos gruesos y masivos, cubriendo grandes extensiones de terreno.

Esta zona está caracterizada por alturas entre 2.600 a 3.000 metros sobre el nivel del mar y por la formación geológica Ignimbrita chaxas (períodos Plioceno superior a Pleistoceno inferior).

Un color gris-rosáceo identifica, desde una gran distancia, la franja que ocupa esta zona ecológica. Los terrenos son de origen volcánico y contienen depósitos piroclásticos, es decir, sedimentos correspondientes a fragmentos expulsados por la actividad explosiva de los volcanes. Estos fragmentos suavizan la superficie del terreno con mantos de caída de ceniza volcánica de espesor variable.

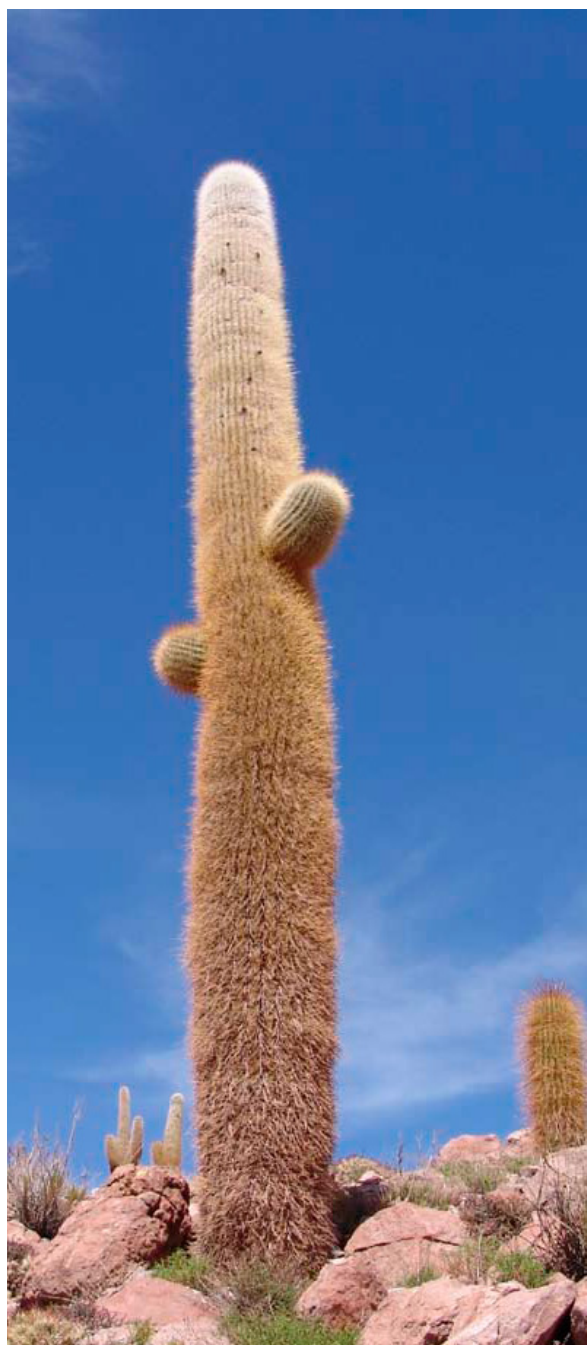
#### Flora y fauna:

Los terrenos muestran un muy escaso o nulo desarrollo de suelos. Y además son impermeables. Estos hechos explican la casi total ausencia de vegetación. La cobertura de suelo es prácticamente nula, existiendo solamente aislados ejemplares de:

- Pingo-pingo (*Ephedra andina*).
- *Atriplex microphylla*.
- Jala-Jala o Puskayo (*Opuntia ignescens*).

Como consecuencia de la poca vegetación en estas zonas, también escasea la fauna. Es común observar grandes quebradas, que bajan desde las alturas hasta el Salar de Atacama, formando impresionantes cajones de enorme profundidad. Dentro de ellos se puede apreciar un notable aumento en la presencia de vegetación. Esto, debido a que sus fondos tienen material de arrastre que sirve de sustrato para pequeños arbustos y las ya mencionadas *Opuntias*.

En ocasiones las quebradas cuentan con altas paredes de rocas sanas, que, cada vez con mayor frecuencia, son utilizadas para la prác-



*Echinopsis atacamensis*

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA





*Echinopsis atacamensis* en flor

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA

*Echinopsis atacamensis* camino al AOS

LAgartija de Fabián en el OSF

Fuente: Archivo personal

tica de la escalada en roca. Las paredes más famosas se encuentran en la quebrada Nacimiento, cercana al pueblo de Socaire; no obstante, dentro del área de influencia de alma también se cuenta con algunas paredes aptas para este deporte de montaña.

Dentro de esta zona, entre los 2.800 a 3.000 metros de altura, comienza a irrumpir lentamente una franja donde sutilmente se fusionan y contrastan la escasez de flora antes descrita y el paulatino matorral desértico, correspondiente a la formación geológica Iginimbrita cajón.

En esta franja comienzan a existir áreas de mayor desarrollo de suelos, aumentando la vegetación, pero sin llegar todavía a las altas coberturas de suelo y a la gran diversidad de la Zona del Matorral Desértico o Zona 4.

En esta franja de transición empieza el reino de una cactácea bastante particular: la *Echinopsis atacamensis*, denominada comúnmente como “Cardón Grande” o “Cavul”. El fruto comestible es nombrado “pasakana”. Esta cactácea es de impresionantes dimensiones, puede alcanzar hasta 7 metros de altura, y otorga al ambiente un extraordinario valor paisajístico. Esta especie tiene serios problemas de conservación y está declarada “vulnerable” debido a la excesiva explotación de su “esqueleto” de madera, que es usado en la construcción de techos (por ejemplo, en la Iglesia de San Pedro de Atacama), marcos de puertas y ventanas, pero también para la confección de artesanías, todas actividades económicas que han llevado a la especie a una crítica situación de conservación.

Todavía existe lamentablemente en San Pedro de Atacama un próspero comercio de artesanías de la cactácea, dirigido a los turistas que visitan el sector.

Por su alto valor paisajístico y las amenazas que presenta su conservación, la población del Cardón Grande ha sido objeto de especial preocupación dentro de la gestión ambiental de ALMA, especialmente en la fase de la construcción del camino de acceso.



### 5.1.1.3 Zona 4: Zona de matorral desértico

Este estrato ecológico está ubicado entre 3 mil y 4 mil metros sobre el nivel del mar aproximadamente y corresponde a la formación geológica llamada Ignimbrita cajón, que data del período Pleistoceno. Es un área de aproximadamente mil kilómetros cuadrados de extensión, cubriendo toda la zona precordillerana, desde la latitud de San Pedro de Atacama hasta Toconao.

Esta formación geológica alcanza un grosor de hasta 250 metros y está compuesta por flujos de cenizas de colores gris (blanquecinos y pardo) amarillentos claros.

#### Flora y fauna:

Esta área, conocida como Matorral Desértico, muestra un adecuado desarrollo de suelos para una diversa vegetación y una densa cobertura, lo cual se traduce también en abundante presencia de fauna, constituyendo así la zona ecológica con mayor riqueza biológica dentro del área de influencia de ALMA.

En la flora destacan las cactáceas, con presencia del enorme Cardón Grande y las Opuntias ignescens y conoidea, esta última también declarada como especie vulnerable. Dentro de la gestión ambiental de alma se ha puesto énfasis desde un comienzo en la protección y conservación de estas cactáceas, especialmente aquellas que están amenazadas.

En la cobertura de suelo, dominan las siguientes especies:

- Atriplex microphylla.
- Chilca (Bacharis sp).
- Malvilla (Cristaria andicola).
- Varilla brava (Adesmia sp).
- Chachacoma (Senecio sp).
- Paja amarilla (Stipia frígida).
- Pingo-pingo (Ephedra andina).

Primeros asentamientos humanos

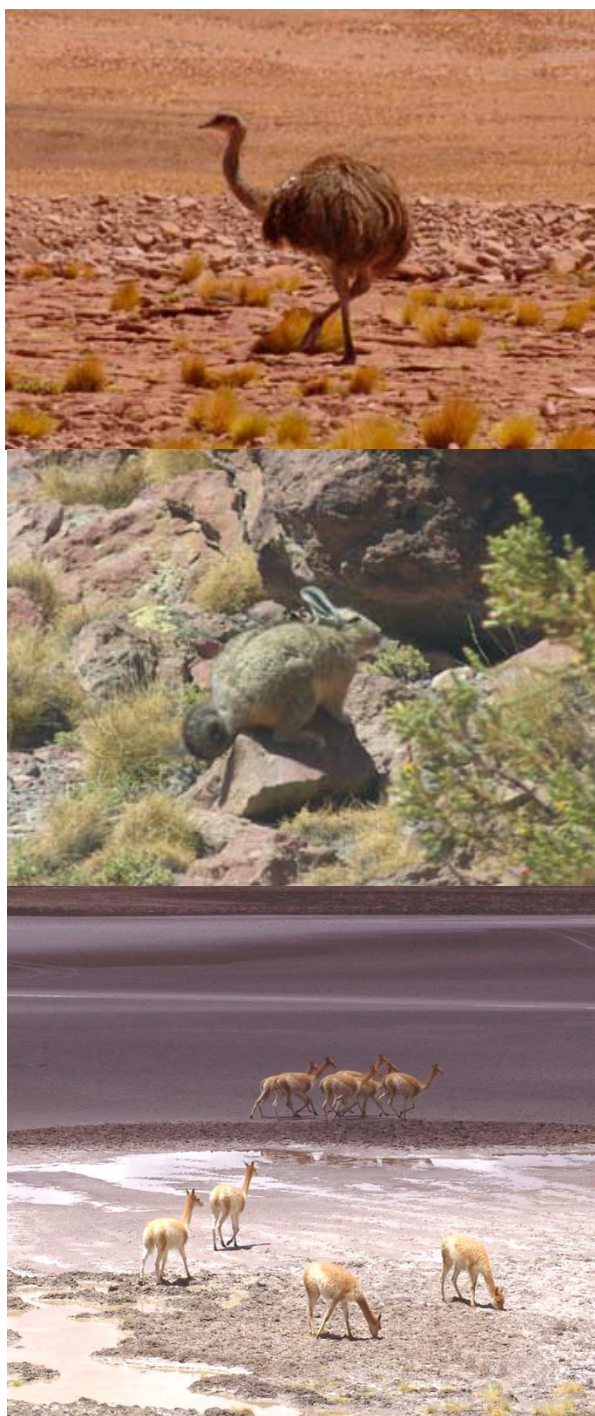
La zona ecológica del Matorral Desértico ha tenido desde tiempos prehistóricos un importante uso para beneficio del hombre, principalmente para pastoreo de llamas y alpacas, y posteriormente también de caprinos y burros. De estos últimos, quedan todavía



Feria artesanal en San Pedro de Atacama con venta de artesanía hecha en madera de Echinopsis atacamensis.

Presencia de animales domésticos en área de ALMA  
Lagartija de Fabián

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA



Ñandú o Suris en el área de influencia de alma.

Vizcacha en hábitat.

Tránsito de Vicuñas.

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA

importantes manadas en el área de influencia del observatorio ALMA. Como mudos testigos de la actividad de pastoreo en tiempos antiguos, quedan varios sitios, consistentes en refugios y majadas. Majada es un término popular, muy usado en el norte de Chile, empleado para describir el conjunto de corrales de animales, con viviendas bastante rudimentarias, precarias y muchas veces parecidas a refugios provisorios de montaña, utilizados en el pastoreo temporal.

Otra actividad importante en este piso ecológico ha sido la recolección de hierbas medicinales y aromáticas, tales como:

- Chachacoma, usada para combatir el mal de la puna.
- Pingo-pingo, hierba medicinal diurética, depurativa y antiinflamatoria.
- Bailahuén, empleada para problemas estomacales, entre otros.

Fauna silvestre

Una extensa variedad de especies de fauna, que hasta ahora veían amenazada en gran medida su conservación, constituyen el orgullo del observatorio astronómico ALMA, debido a los enormes esfuerzos que se han invertido en propiciar las condiciones más favorables para su preservación.

En la Zona 4 se encuentran las siguientes especies de fauna silvestre:

- Vicuña (*Vicugna vicugna*), en peligro de extinción.
- Ñandú o Suri (*Pternocnemis pennata*), en peligro de extinción.
- Vizcacha (*Lagidium viscacia*), en peligro de extinción.
- Perdiz de la puna (*Tinamotis pentlandii*), vulnerable.
- Ratón Chinchilla (*Abrocoma cinerea*), inadecuadamente conocido.
- Zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*), inadecuadamente conocido.
- Puma (*Puma concolor*), en peligro de extinción.
- Carancho cordillerano (*Phalacrocorax megalopterus*). Esta ave no presenta, hasta ahora, problemas de conservación.



- Lorito Perico cordillerano (*Bolborhynchus aurifrons*), en peligro de extinción.
- Lagartija de Fabián (*Liolaemus fabiani*), especie rara.

#### 5.1.1.4 Zona 5: Zona de Coirón

Este estrato ecológico se ubica en una altura entre 4 mil y 4.800 metros sobre el nivel del mar. Geológicamente pertenece también a la formación Ignimbrita cajón.

Mirando el faldeo occidental de Los Andes desde el Salar de Atacama, se distingue perfectamente este piso ecológico por el intenso color amarillo que le proporcionan las grandes praderas naturales del coirón, lo que da al paisaje un particular atractivo.

#### Flora y fauna:

Este estrato ecológico tiene menos diversidad de flora, dado que está dominado casi por completo por el coirón. Sin embargo, en los aspectos relativos a la fauna, es el piso que sustenta la más alta densidad en las poblaciones de vicuñas, ñandúes y colonias de vizcachas. Mientras que las vicuñas y ñandúes usan las grandes planicies de las praderas de coirón, las colonias de vizcachas están concentradas en las profundas quebradas, con afloramiento de rocas que forman altas paredes, lo que proporciona un natural recurso de protección a estos roedores.

Dentro del área de influencia de ALMA se encuentran colonias de vizcachas que han sido moni-toreadas en forma anual respecto de su abundancia. Adicionalmente se han realizado inspecciones mensuales, donde se ha verificado su vigencia y controlado que no existan perturbaciones por las actividades del observatorio astronómico.

La Zona de Coirón, desde tiempos ancestrales, también forma parte de las áreas andinas del pastoreo de animales domésticos. Aquí se pueden apreciar restos de refugios, corrales y majadas.

Antiguamente existió en esta zona una intensa explotación de la Llareta (*Azorella compacta*), planta altiplánica de un lentísimo crecimiento (menos de un milímetro por año),



Viscacha  
Llareta

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de  
ALMA

Vicuña camino al AOS  
Fuente: Archivo personal



Laguna Amarga  
Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA  
Vicuña en el Valle de Chajnantor  
Fuente: Archivo personal

que ha sido usada como combustible, especialmente en la minería.

Debido a la exagerada explotación y a su lento crecimiento, quedan ejemplares muy pequeños de esta planta, declarada como vulnerable en su estado de conservación. ALMA protege esta especie, con el objetivo de lograr su crecimiento y propagación en el tiempo.

#### 5.1.1.5 Zona 6-A: Zona de alta puna

Este piso ecológico está formado por las terrazas altiplánicas más altas, entre los 4.800 y 5 mil metros sobre el nivel del mar. Por el rigor del clima en estas alturas, casi no hay vegetación. Solamente es posible encontrar líquenes (que son vegetales bastante primitivos que surgen de una simbiosis de hongos con algas) o algunas plantas vasculares muy aisladas, protegidas en las grietas de las rocas, tales como *Viola* sp, *Nastanthus caespitosus* y *Calandrinia* sp.

El clima y la falta de vegetación no permiten sustentar fauna en forma permanente. Sin embargo, se observan frecuentemente pequeñas manadas de vicuñas y en raras ocasiones de ñandúes, que cruzan bajo la protección de los faldeos de los grandes cerros, hacia una laguna, llamada Laguna Amarga, que se encuentra en las cercanías del área del Llano de Chajnantor, donde están instaladas las antenas de ALMA.

Lagunas y salares son típicos en esta Zona de la Alta Puna. El altiplano de la comuna de San Pedro cuenta con más de una decena de ellos. Son los únicos lugares en estas alturas que concentran fauna en forma permanente, debido a los bofedales que se forman en el entorno de lagunas y salares.

#### Flora y Fauna:

Aquí es frecuente encontrar conjuntos de fauna como: Flamencos, Piuquenes (*Chloephaga melanoptera*), Pato puna (*Anas puna*), Pato juarjual (*Lophonetta specularioides*), entre otros. Además visitan estas lagunas las vicuñas, ñandúes, zorros y pumas. En el caso de Laguna Amarga, aledaña al área de influencia de alma, no se observa una gran cantidad

de fauna, pero sí frecuentes visitas de los ya nombrados mamíferos y ñandúes, aun considerando la salinidad y acidez de sus aguas. El observatorio ALMA ha tomado medidas especiales para proteger los pasos de vicuñas y ñandúes en su área de influencia, incluyendo también el sector de Laguna Amarga. En este sentido, se restringió la velocidad de circulación de vehículos a 30 kilómetros por hora, se instaló letreros de advertencia, se prohibió el tránsito del personal hacia la laguna y se monitorean los pasos de los animales.

#### 5.1.1.6 Zona 6-B: Zona de altas cumbres (Ubicación del AOS)

Esta zona es prácticamente incompatible con la vida y, por lo tanto, constituye un ambiente casi abiótico. Sin embargo, otorga un gran atractivo paisajístico al entorno de ALMA. Las altas cumbres, especialmente en épocas de nevazones, son de una magnífica belleza; fría, monumental y arisca.

El Llano de Chajnantor se encuentra en los faldeos de las cumbres Chajnantor (5.639 metros) y Chascón (5.703 metros), cuyas estructuras lo limitan.

Desde el Llano de Chajnantor (5 mil metros de altura), que constituye el sector donde se encuentran instaladas las antenas de radioastronomía de ALMA, se puede observar la cumbre del Volcán Licancabur (5.930 metros de altura), que tiene un cono perfecto y que cuenta con varias plataformas rituales. El volcán es un importante santuario de las culturas indígenas y además uno de los más altos sitios arqueológicos del país.

Las cumbres de los grandes volcanes que se concentran en el área sur de la Segunda Región de Antofagasta constituyen un atractivo paisajístico especial. Los más importantes son: el Lascar, el Chilliques, el Licancabur, el Socompa y el Llullayllaco, todos ellos observables desde el camino de acceso de ALMA.



Zona de altas cumbres

Zona de alta puna

Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA



Zona de alta puna con cumbres nevadas  
Equipo inter disciplinario de ALMA  
Fuente: Cerca del Cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA

### 5.1.1.7 Los compromisos de ALMA con el patrimonio natural

En el marco de la evaluación ambiental, ALMA adquirió varios compromisos. Los más importantes son:

- Monitoreo de las colonias de vizcachas ubicadas a menos de un kilómetro del trazado del camino.
- Reubicación de cactáceas con problemas de conservación fuera del área del camino de acceso.
- Monitoreo de pasos de vicuñas y ñandúes.
- Reforestación con especies nativas y recuperación de suelos afectados por intervenciones humanas o por sucesos naturales, como la erosión.
- Protección del patrimonio cultural existente en el área.
- Disminución de velocidad de tránsito e instalación de letreros de protección de la fauna silvestre.
- Prohibición de la caza de animales y de la extracción de flora de todo tipo en el área.

#### Capacitación al personal

Dentro de los compromisos ambientales, se fijaron también las capacitaciones al personal. ALMA ha realizado varios ciclos de estas charlas, en temas como legislación ambiental vigente, obligaciones ambientales del proyecto, flora, fauna y conservación de suelos.

Estos cursos han sido dirigidos a todo el personal del proyecto. Sin embargo, se puso mayor énfasis en el personal de terreno como, por ejemplo, los operadores de maquinaria pesada.

### 5.1.2 Áreas protegidas

#### Reserva Nacional “Los Flamencos”

Fecha de creación de decreto: 17 de Octubre de 1990

Localización: Comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa

Superficie: 73.987há

Valor ecológico y/o patrimonial: Está subdividida en siete sectores. Los sectores que componen esta reserva son: Salar de Tara, Salar

de Aguas Calientes y Salar de Pujsa, ubicados en el Altiplano; Lagunas Miscanti, Miñiques, Valle de La Luna y Tambillo, en el sector del Salar de Atacama.

### **Santuario de la naturaleza “Valle de la Luna”**

Fecha de creación de decreto: 7 de Enero de 1982

Localización: Comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa

Superficie: 13.200há

Valor ecológico y/o patrimonial: Las características geomorfológicas y paisajistas del área le otorgan la calidad de lugar de interés científico y turístico. En este sector el rasgo geomorfológico más importante es el bloque plegado, conocido localmente como cordillera de la Sal, que presenta una altitud media de 2.550 metros, y está constituido por rocas sedimentarias con intercalaciones de sal pertenecientes a las formaciones San Pedro y Vilama.

### **Salar de Tara**

Fecha de creación de decreto: 2 de Diciembre de 1996

Localización: Comuna de San Pedro de Atacama, Provincia de El Loa

Superficie: 5.443há

Valor ecológico y/o patrimonial: Se caracteriza por la vegetación de vegas y bofedales asociadas a cuerpos de aguas permanentes y estacionales. Además, es el principal lugar de nidificación de la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*). Los tres principales hábitat son las lagunas altamente saladas, los pantanos con afluencias de agua dulce y las estepas secas y pastosas.



Laguna Miscanti (Reserva “Los Flamencos”)

Fuente: Archivo personal

Valle de la Luna

Fuente: [www.explore-atacama.cl](http://www.explore-atacama.cl)

Salar de Tara

Fuente: Carlos Urzúa



## 5.2 Medio físico

### 5.2.1 Clima

El clima de San Pedro de Atacama se denomina desértico marginal de altura, esto significa que durante todo el año existe una la oscilación térmica muy grande entre la sombra y la luz directa, o bien, entre el día y la noche; esto se debe principalmente a su ubicación sobre los 2000msnm y a que posee características propias de un desierto de altura.

Sin embargo San Pedro de Atacama se caracteriza por tener dos estaciones, una fría y caliente, la fría es de mayo a septiembre, en donde junio y julio son los meses con más bajas temperaturas. La caliente es de octubre a abril, donde los meses de mayor temperatura son enero y febrero, en estos meses también hay presencia de lluvias ocasionales.

San Pedro de Atacama posee una singular posición geográfica, donde recibe dos corrientes atmosféricas, por el Oeste la alta presión del desierto de Atacama y por el Este la baja presión del altiplano de la cordillera de los Andes; la alta presión es calurosa y permite los cielos despejados y la baja presión es fría. Durante el 90% del año se pueden encontrar el cielo azul y despejado, el 8% un cielo parcialmente nublado y un 2% lluvias ocasionales y nieve en la cordillera.

### El invierno altiplánico

En los meses de enero y febrero se presenta un fenómeno atmosférico llamado “El invierno altiplánico”, esto se refiere a lluvias que se producen en las alturas de la cordillera de los andes, provenientes del amazonas; lo que ocasiona algunas lluvias pasajeras pero intensas en el salar de Atacama, además de que las temperaturas descienden, creando un clima de estepa, principalmente frío en lo alto de la cordillera. En esta temporada es posible que se corten algunos caminos en la cordillera debido a la cantidad de lluvias en esta área. La precipitación media anual registrada en la estación San Pedro de Atacama es de 27,8 mm.

El desierto de Atacama es considerado el más seco del mundo, a diferencia de otros desiertos ubicados en estas latitudes, por la presencia de un nuevo factor natural al fenómeno natural ya mencionado. La existencia de la Cordillera de la Costa con una altura considerable de 2.500 metros lo que hace imposible la entrada de humedad a continente.



### 5.2.2 Geomorfología

#### Rasgos Geomorfológicos Importantes.

El área que comprende el Proyecto ALMA está ubicada en el pediplano<sup>1</sup> occidental del altiplano de la Región de Antofagasta, en el Norte de Chile, 40km al sur-oeste de la localidad de San Pedro de Atacama.

Esta región tiene como límite occidental a la cordillera principal, Andes Centrales, que se compone de conos volcánicos emplazados sobre el basamento correspondiente al altiplano Chileno - Argentino - Boliviano.

Así, la roca constituyente del área de estudio se encuentra formada por ignimbritas y depósitos de flujos piroclásticos<sup>2</sup>, asociados a los procesos eruptivos de los conos volcánicos. Éstos incluyen de Norte a Sur, el Licancabur (5916 m.s.n.m), Juriques (5433 m.s.n.m), Cerro Toco (5608 m.s.n.m), Cerro Chajnan-

tor (5639 m.s.n.m), Chascón (5688 m.s.n.m), Cerro Negro (5046 m.s.n.m), y como parte del Cordón Honar, el Cerro Purico (5375 m.s.n.m).

El límite oriental está marcado por la Cuenca del Salar de Atacama (2500m.s.n.m). Sobresalen un conjunto de quebradas que nacen de las cumbres que dominan este relieve con dirección este-oeste, desde el Llano de Chajnantor hacia el poniente.

El llano de Chajnantor, junto con Pampa La Bola y Pampa El Vallecito, conforman una planicie elevada (del orden de 5000 m.s.n.m) a los pies de diversos centros volcánicos recientes.

En particular, el Llano de Chajnantor, se emplaza a los pies del Cerro Chajnantor, por el Norte, y del Cerro Chascón por el Este. Se ha estimado que la pendiente del Llano oscila entre 3° y 5°. Hacia el Sur, colinda con el extremo nororiental del Cordón Honar (5200 m.s.n.m).

Desde el Llano se desarrollan amplias y numerosas quebradas en sentido radial; una de las más importantes, con dirección al oeste, atraviesa la depresión entre el Volcán Puri-

1.- Pediplano: Área extensa caracterizada por un relieve suavemente ondulado producido por la coalescencia de pedimentos adyacentes.

2.- Flujos piroclásticos: Mezcla de gases volcánicos calientes, materiales sólidos calientes y aire atrapado, que se mueve a nivel del suelo y resulta de ciertos tipos de erupciones volcánicas.

co (Cerro Toco) y el Cerro Negro. Hacia el sur-oeste, la Quebrada Zapar, atraviesa el Cordón Honar y los Cerros de Macón.

### **Geología Regional.**

Regionalmente, el área de interés del Proyecto ALMA se sitúa en la precordillera y en la cordillera principal.

En este sentido es relevante tener en cuenta las unidades geológicas siguientes, en orden cronológico, según la escala temporal geológica, desde la más antigua a la más reciente.

Escala temporal geológica:

Cenozoico:

- Terciario, 65 a 1,8 millones de años atrás
- Paleoceno 65 a 54,8 millones de años atrás
- Eoceno 54,8 a 33,7 millones de años atrás
- Oligoceno 33,7 a 23,8 millones de años atrás
- Mioceno 23,8 a 5,3 millones de años atrás
- Plioceno 5,3 a 1,8 millones de años atrás
- Cuaternario 1,8 millones de años atrás hasta la actualidad
- Pleistoceno 1,6 a 0,01 millones de años atrás
- Holoceno 10.000 años atrás hasta la actualidad

- Formación San Pedro (Oligoceno - Mioceno Inferior).
- Conjunto de Volcanes I (Mioceno Inferior - Plioceno Inferior).
- Ignimbrita Chaxas (Ubicación del OSF) (Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior). Aflora extensamente al nor-este de San Pedro de Atacama y en cuerpos más pequeños al Este de la misma localidad, alcanzando un potencia media de 60m. Es un producto de un domo resurgente de composición dacítica<sup>3</sup> que formó tobas<sup>4</sup> de lapilli y bloques de pó-

---

3.- Derivado del término dacita que corresponde a una roca magmática, volcánica. Se forma a causa del enfriamiento rápido del magma dando tiempo aun de que se consoliden algunos minerales como el cuarzo.

4.- Toba: es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

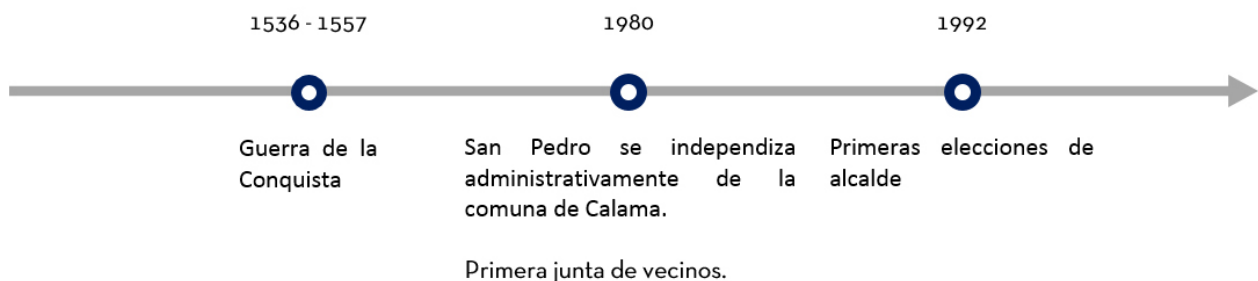
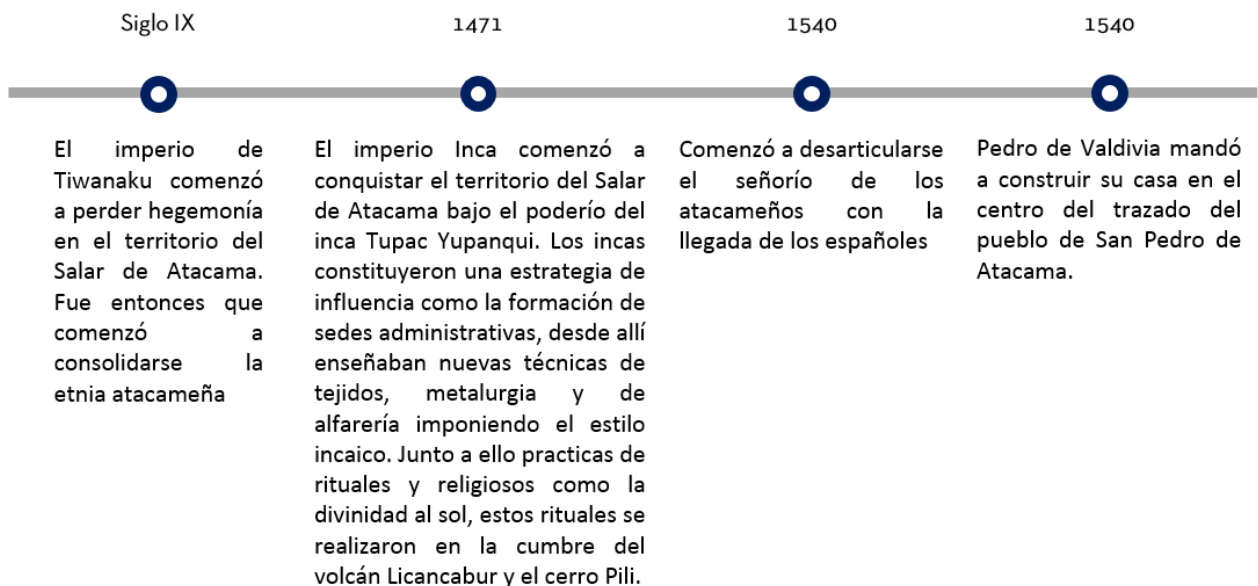
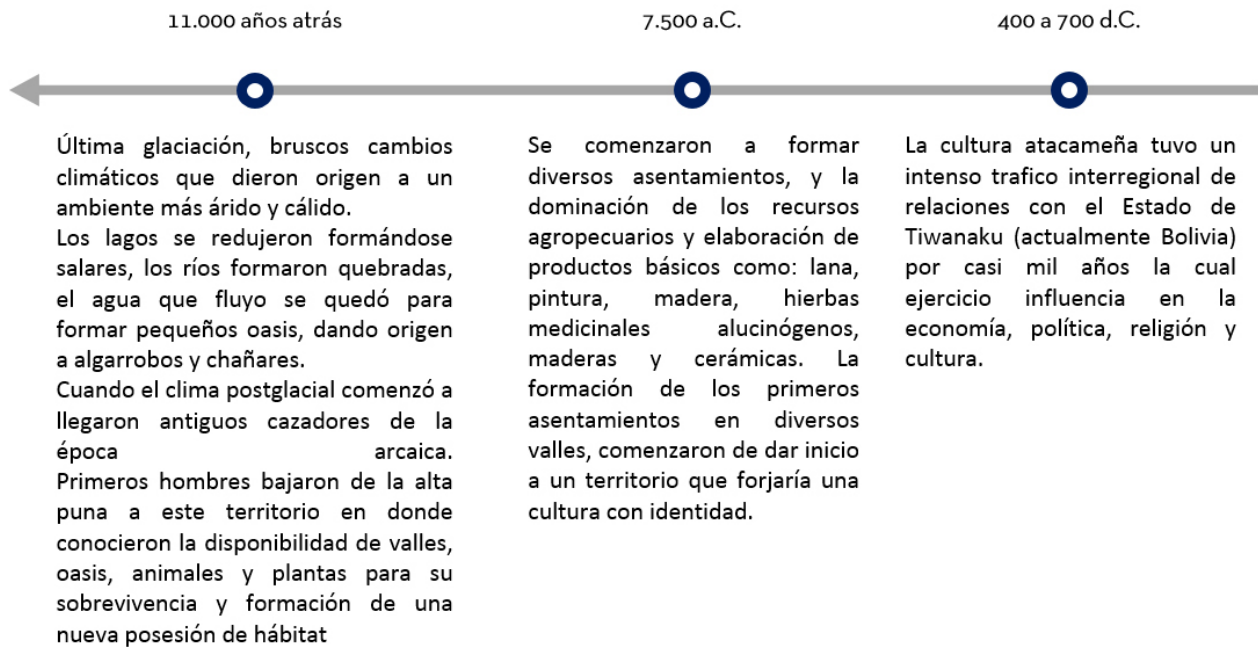
mez con escasos cristales, moderadamente soldada, y de color gris-rosáceo.

- Conjunto de Volcanes II (Plioceno Inferior - Pleistoceno Inferior).
- Formación Vilama (Pleistoceno)
- Ignimbrita Cajón (Pleistoceno).
- Conjunto de Volcanes III (Pleistoceno - Holoceno).
- Depósitos no consolidados.

### 5.3 Medio humano

#### 5.3.1 Historia

##### Línea de tiempo



### 5.3.2 Antecedentes sociodemográficos y económicos

La comuna de San Pedro de Atacama pertenece a la Provincia de El Loa, que a su vez pertenece a la Segunda Región de Antofagasta. La comuna se divide en tres distritos: San Pedro de Atacama, Toconao y Socaire.

La población proyectada para el año 2012 en base al censo del 2002 para la comuna es de 10.300 habitantes, lo que representa el 1,7% de la población proyectada para la región y el 0,1% del país. El año 2011, se estima que el 8,1% de la población comunal se encontraba en situación de pobreza, tasa que no difiere significativamente, desde un punto de vista estadístico, de la registrada a nivel regional (7,5%) y nacional (14,4%).

En lo referente a la educación, en la comuna el 100% de la matrícula escolar del año 2012 corresponde a establecimientos municipalizados. Los resultados promedio obtenidos por los alumnos que estudian en la comuna, en las pruebas SIMCE 2012, son inferiores a los observados en la región y el país en las pruebas de Lectura 4° básico e Historia 4° básico. En el caso de las pruebas de Lectura 2° básico y II medio, Matemáticas 4° básico y II medio e Inglés de II medio, no se observa diferencia, desde un punto de vista estadístico, entre los valores de la comuna y la región.<sup>5</sup>

El Ministerio de Desarrollo Social, en la encuesta CASEN 2006 registró para la comuna de San Pedro de Atacama un 11,4% de la población de 15 y más años en condición de analfabetismo, porcentaje muy superior al registrado a nivel regional el que alcanza al 1,4% y que el porcentaje nacional que solo corresponde al 3,9%.<sup>6</sup>

5.-Reporte comunal, San Pedro de Atacama, Segunda Región de Antofagasta, Ministerio de Desarrollo Social, 7 de Febrero de 2014.

6.- Región de Antofagasta, Provincia de El Loa, Comuna de San Pedro de Atacama, capítulo 2: Características sociales y económicas, Ministerio de Agricultura.

### 5.3.3 Identidad y cultura Antecedentes Culturales

En la época prehispánica, el hombre debía explotar todo aquello que el entorno podía ofrecer para subsistir, en este caso la Puna Atacameña poseía variados recursos. Los primeros cazadores-recolectores de la época, desconocían la vida aldeana y agraria, se movilizaban constantemente entre la alta puna y el salar de Atacama debido a la variedad en la flora y fauna entre un lugar y otro debido a la diferencia de altura. Los atacameños se caracterizaron por la cría de camélidos, los que eran trasladados a través de las quebradas en distintas épocas del año, escapando de las temperaturas extremas.

Hacia el 2000 a.C. comenzaron a desarrollarse los primeros poblados de carácter semi-sedentario y con ellos, los primeros cementerios. En ellos queda demostrado la importancia de la vida después de la muerte debido a la complejidad de sus ofrendas, y de los rituales o ceremonias que se festejaban.

En esta misma época fueron registrados los primeros petroglifos con imágenes de camélidos en movimiento.

Los primeros pastores y agricultores datan del 500 a.C.

En las zonas de las desembocaduras de los ríos que bajan al Salar, como es el caso más representativo del río San Pedro, se reunieron varias comunidades agroganaderas que sirvieron de base para un particular desarrollo cultural adaptado al ámbito circumpuneño. Aun es difícil saber cómo se gestó esta cultura, pero los pueblos anteriores están demostrando que proviene en parte de las experiencias locales derivadas de un largo proceso de esfuerzo y dominio sobre el medio atacameño.

Ahora los asentamientos humanos giran en torno a las obras de regadío. Los oasis fueron transformados en áreas de cultivos ya que los trabajos hidráulicos fueron capaces de canalizar los ríos y regar la tierra previamente arreglada, logrando éxitos considerables. La bondad del clima en los oasis junto al alto



nivel de organización social colectiva, y la adecuada conducción de las autoridades iniciales, crearon las bases locales para establecer las primeras aldeas agrarias en los sectores de los oasis. Este espacio productivo (maíz, porotos, zapallos, calabazas, ají, algarrobales, chañares, papa, quinua, etc.) atrajo a diversos pueblos distantes, desde las frías tierras del altiplano meridional, valles cercanos del noroeste argentino y aun de asentamientos lejanos de la foresta tropical y bosques occidentales del noroeste de Argentina.

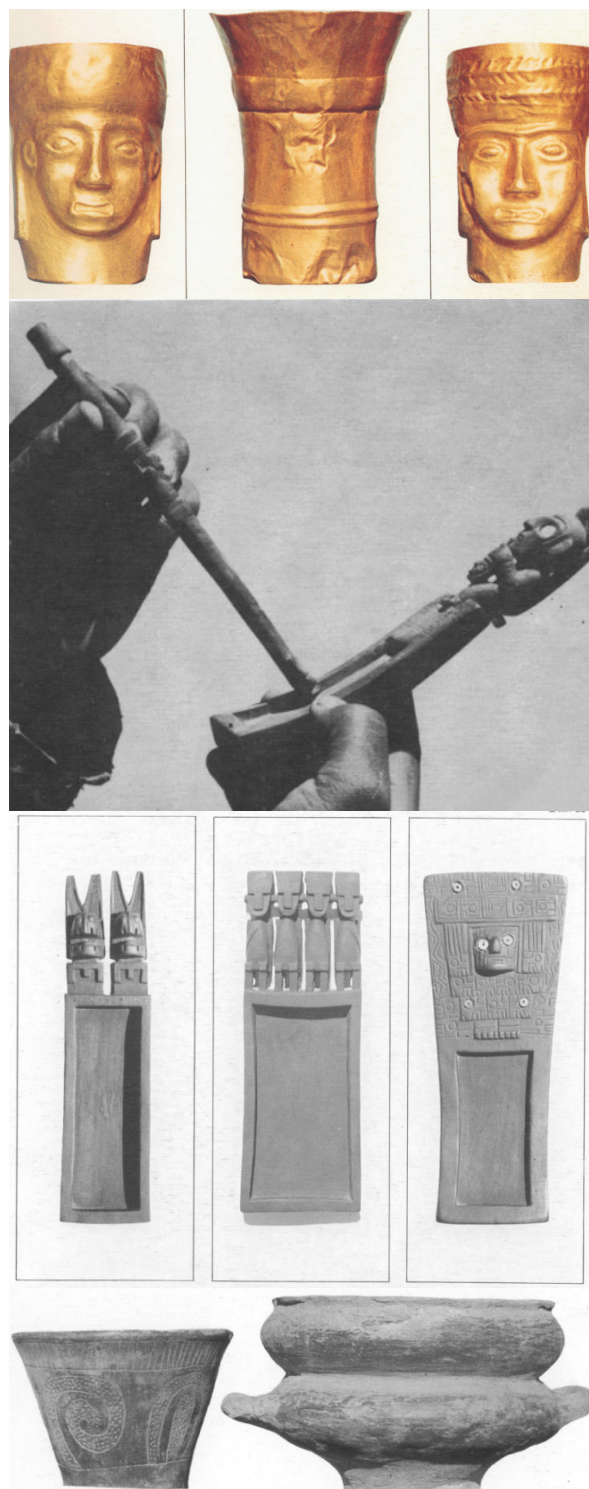
La suma de estos y otros aportes tempranos conformó junto a 10s pueblos locales predominantes, el estímulo decisivo para un riguroso ímpetu cultural que floreció recién hacia los 500 años a.C. a los 300 años d.C., a través de la llamada cultura inicial de San Pedro, cuyos componentes culturales más típicos se presentan en la cerámica negra y roja pulida elaborada antes y durante la llegada de las caravanas y gentes de la cultura del centro urbano-ceremonial de Tiwanaku.

Junto con la llegada de la cultura Tiwanaku, se logró un mayor desarrollo en la artesanía tanto en cerámica como en oro. Además, aparece un tipo de artesanía muy particular relacionada al consumo de alucinógenos en sus rituales llamadas “complejo de rapé”.

### Vivienda y arquitectura

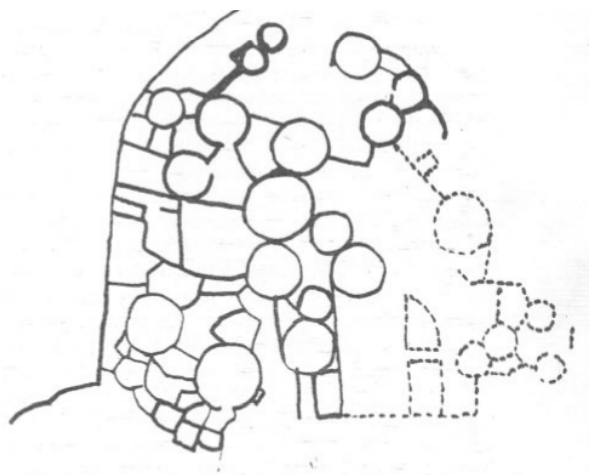
Las actividades cotidianas y ceremoniales se centraban en sus aldeas, caracterizadas por aglutinamientos de viviendas en cuyos bordes acumulaban los desperdicios con fragmentos de cerámica negra pulida. Uno de estos pueblos es Tulo, cercano al oasis de San Pedro, tiene cimientos de viviendas circulares, las que aparentemente, eran circundadas en parte por un muro. Otro asentamiento del florecimiento cultural se determinó en Tchapuchayna, también cerca de San Pedro de Atacama, caracterizado por tener tres zonas de ocupación: un cementerio en túmulos, una zona de campos de cultivo y las viviendas propiamente tales.

Los artefactos encontrados en esta ocupa-



Vasos de oro  
Tubo y tableta para insulfar alucinógenos  
Tabletas para insulfar alucinógenos  
Artesanía de cerámica grabadas

Fuente: Cultura Atacameña” Serie El patrimonio cultural chileno. Colección culturas aborígenes.



Vaso de madera con tallado serpentiforme  
Poblado de Tular  
Fuente: Cultura Atacameña” Serie El patrimonio cultural  
chileno. Colección culturas aborígenes.

ción demuestran la presencia de piedras para moler, hachas y azadones de piedra, martillos, restos de vasijas y pipas de cerámica. Otros artefactos corresponden a objetos de metal (alfileres y hachas), collares de conchas marinas y de agua dulce, de turquesas y malaquitas, cestería, instrumentos para tejer e hilar y tembetas de piedra. A éstos se agregan un gran número de huesos de auquénidos, por cuanto habían avanzado considerablemente en el cuidado de los rebaños de llamas.

Junto con los asentamientos y la configuración del territorio atacameño, comenzó el enriquecimiento y definición de sus expresiones culturales y lingüísticas. Se consagra el Kunza como dialecto oficial. Posteriormente, los atacameños fueron conquistados por el imperio Inca, sin embargo esto no afectó su cultura y su estilo de vida ya que la conquista tenía fines políticos y no culturales, sólo se anexaron nuevos rituales y ceremonias propios de la cultura Inca.

El fin del idioma Kunza llegó junto con los españoles, los cuales prohibieron cualquiera dialecto distinto al español. El imperio Inca de desintegró y con ello, toda su estructura política, económica y religiosa.

#### 5.3.4 Astronomía atacameña Cosmovisión Atacameña

Las culturas prehispánicas del territorio atacameño poseían una capacidad expresiva muy grande, lo que les permitió involucrar su propia cosmovisión en sus obras artísticas. Hallazgos arqueológicos demuestran la importancia de la astronomía en la cultura atacameña ya que sus dioses tutelares eran precisamente astros.

Además, identificaron numerosos objetos celestes en las demarcaciones de entornos naturales, las cuales aparente mente pretendían indicar fechas cruciales para el calendario agrícola. Con ello, la observación astronómica se consideró un instrumento de gran importancia para los habitantes del territorio atacameño.



La cultura incaica tuvo gran influencia en la astronomía atacameña, ya que, muchas de sus creencias fueron adoptadas dentro de su propia cosmovisión. Se puede apreciar en ciertas representaciones gráficas la presencia de Viracocha (autor de la creación del mundo según la cultura Inca) en el centro y el sol y la luna a cada lado de éste, en representación de lo femenino y lo masculino.

El ushnu es una herencia incaica a la cultura atacameña. Corresponde a una construcción, que además de servir a ofrendas, era utilizado para realizar observaciones astronómicas, el cual en algunas ciudades Incas como Huánuco Pampa presentan características de un observatorio astronómico complejo.

### Constelaciones atacameñas

A diferencia de las constelaciones que conocemos hoy en día, que son distintas figuras formadas por la unione de varias estrellas, en la cultura atacameña las constelaciones son los espacios oscuros dejados por las nubes de estrellas que componen la vía láctea. Estas constelaciones eran, a los ojos de los pastores atacameños, diferentes animales, donde el principal era la Llama.

Las constelaciones atacameñas son:

- Yacana: la llama y su cría.
- Hanpatu: el Sapo
- Machacuay: la Serpiente
- Atoq: el Zorro
- Yutu: la perdiz.



Constelaciones atacameñas  
Fuente: [www.tierraatacama.com](http://www.tierraatacama.com)  
Fuente: [www.labellaecoaldea.org](http://www.labellaecoaldea.org)

### La Yacana, la constelación de la Llama.

La Yacana es la constelación más importante de los atacameños. Dice el mito que cada noche la Yacana deambula por el río en el centro del cielo (la vía láctea) y baja a tierra a beber agua de los manantiales cuando no corre el riesgo de ser vista. Si la Yacana no bebe del agua, el mundo entero corre el riesgo de inundarse. Además si algún hombre era afortunado de recibir la visita de la Yacana durante la noche, recibía abundante lana de todos colores.





Poblados cercanos y carreteras  
Fuente: Google Earth  
Elaboración propia

- 1.- San Pedro de Atacama
- 2.- Toconao
- 3.- Socaire
- Ruta 23-CH
- Camino ALMA

## 5.4 Medio construido

### 5.4.1 Contexto

En la comuna de San Pedro de Atacama está formado por tres distritos que corresponden a San Pedro de Atacama (poblado), Toconao, y Socaire. Distanciados por 37 y 50km, respectivamente.

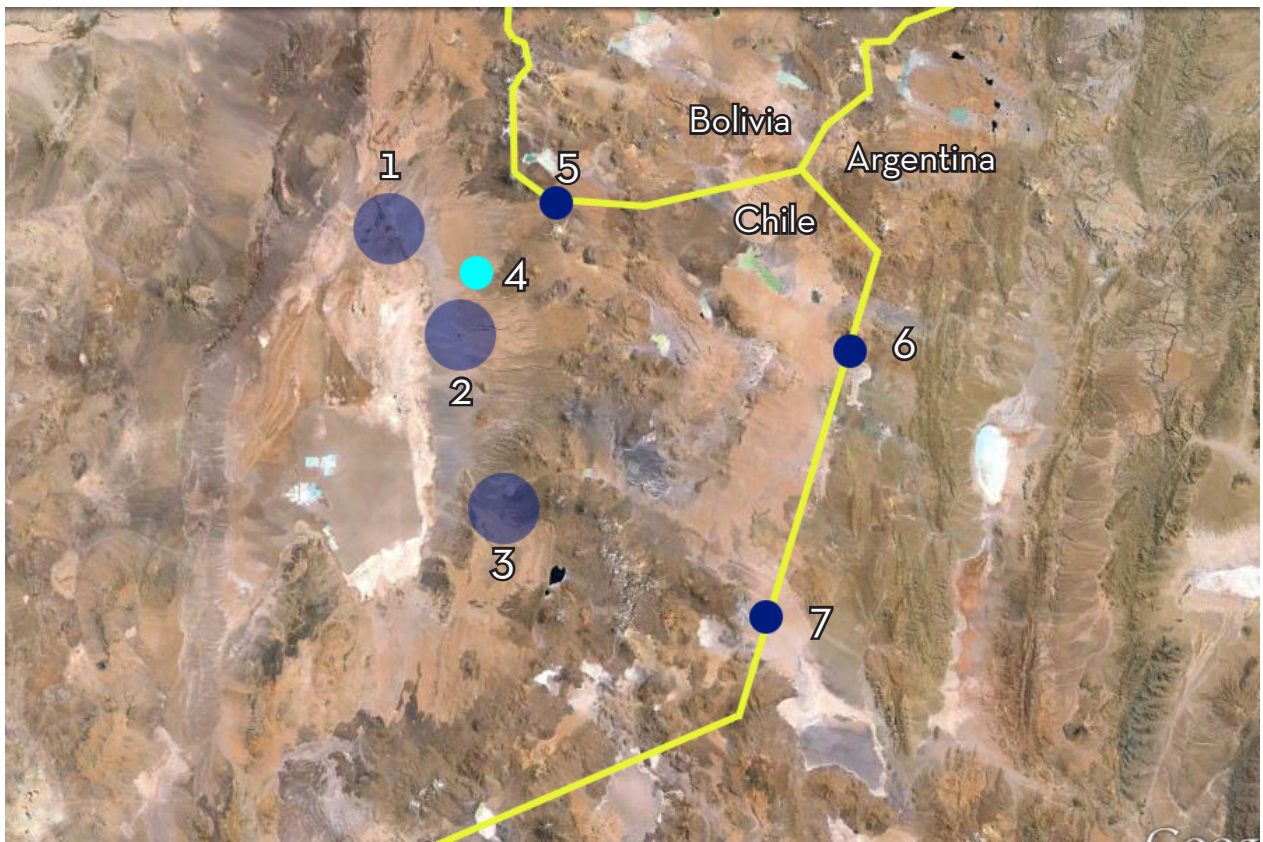
A 98km se encuentra la capital regional, Calama, donde se encuentra el aeropuerto más cercano.

San Pedro de Atacama se encuentra muy cercano a la frontera con Argentina, a 164km del paso de Jama a 4.200msnm y a 194km del paso Sico a 4.092msnm; y a la frontera con Bolivia, a través del Hito Cajón a 50km de San Pedro.

### 5.4.2 Conectividad y vialidad

Los tres distritos que conforman la comuna de San Pedro de Atacama se encuentran unidas

entre sí y además con la ciudad de Calama a través de la ruta 23-CH, completamente asfaltada desde Calama hasta Socaire. El AOS y el OSF se unen a esta ruta directamente a través de un camino perteneciente a ALMA, el cual corresponde a una servidumbre de paso. El OSF se encuentra a 14km del cruce entre ambos caminos.



1.- San Pedro de Atacama

2.- Toconao

3.- Socaire

4.- OSF

5.- Hito Cajón

6.- Paso Jama

7.- Paso Sico

■ Frontera internacional

Poblados cercanos y pasos fronterizos

Fuente: Google Earth

Elaboración propia

### 5.4.3 Normativa

ALMA, por encontrarse en medio del desierto de Atacama no está considerado en el plan regulador comunal, si embargo, se rige, además de la normativa universal, bajo las siguientes normas:

- Normas Chilenas NCh 409 para agua potable
- NCh 1333 para aguas de regadío
- NCh 433 de 1996 de diseño sísmico de edificios
- D.S N°686/98. Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica.

- Normativa de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles



## VI. PROYECTO

*Antenas de ALMA en el AOS*  
*Fuente: Archivo personal*

### 6.1 Propuesta

A partir de lo analizado anteriormente, se propone brindar un espacio para que la población se reencuentre con un patrimonio natural en peligro de extinción: el cielo estrellado. se trata de generar un espacio donde la arquitectura misma sea la que muestre el universo y que ésta sea capaz de incluirlo como parte del proyecto. La idea es integrar la astronomía a la población de una manera más amable y darle importancia que ésta merece. Se propone este espacio como punto de encuentro ente turistas, aficionados y profesionales de la astronomía, estudiantes, etc., la idea es que se comparta entres quienes puedan enseñar y quienes quieran aprender.

El centro de visitantes pretende convertir en una plataforma, por ejemplo,

para que se realicen encuentros nacionales e internacionales de astronomía, como lo fue Noche Zero, en 2012. Noche Zero fue un seminario que se realizó en el hotel Kunza de San Pedro de Atacama, cuya temática era la contaminación lumínica mundial y como ella afectaba distintas áreas, ente ellas incluida la astronomía. En el seminario se incluyó una visita al OSF para mostrarle al mundo lo que Chile tiene para ofrecer en materia astronómica, la idea es que para los próximos seminarios de esta y otras índoles no sea necesario ver a ALMA como una visita sino que el encuentro sea aquí mismo, en el observatorio astronómica más desarrollado del mundo.

El proyecto es ubica en un lugar privilegiado, en medio del desierto más árido y que posee los mejores cielos del mundo para la observación astronómica y dentro del observatorio más desarrollado que se haya construido hasta ahora.



### 6.1.1 Concepto

A partir de la astronomía atacameña, la cual define sus constelaciones a través del vacío que dejan los conjuntos de estrellas a diferencia de nuestras constelaciones que se forman por el conjunto mismo, es que se formula el principio base del proyecto, es decir, la prioridad del vacío frente al lleno. La idea es que lo que se distinga no es la construcción en sí, sino el vacío que ésta deja en el terreno.

El objetivo es combinar el aprendizaje con la experiencia de la observación, por ende, el espacio se dividirá en dos grandes áreas, una de aprendizaje, que será la construcción misma; y la observación que serán los vacíos que dejará la construcción, es decir, los espacios al aire libre.

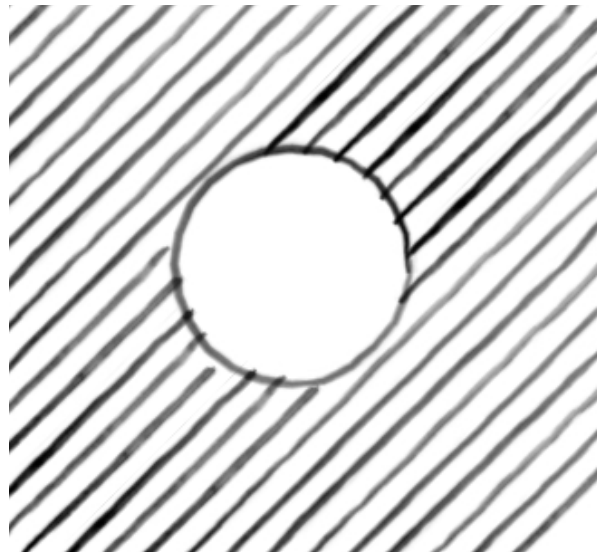
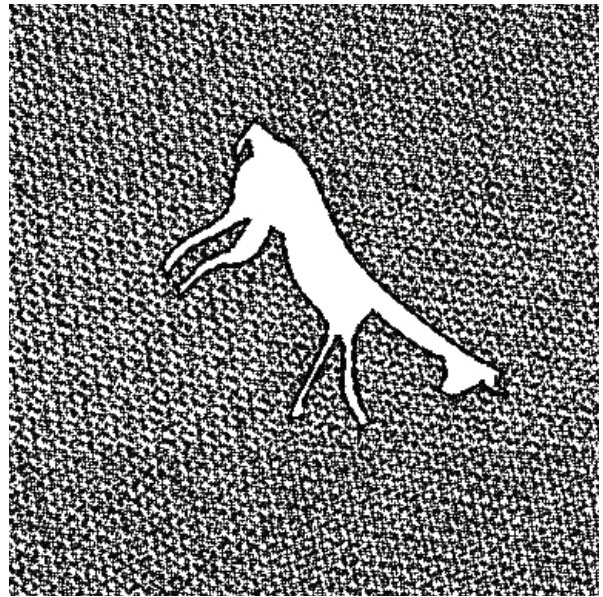
El área de observación será un gran círculo al centro del proyecto compuesto por un gran espejo de agua el cual reflejará el universo para crear un planetario natural. Dicho espacio se formará a partir de “un anillo que cayó en la arena” que representará el “lleno” y su centro, “el vacío”.

El proyecto se encuentra en un terreno con pendiente, por lo tanto dicho anillo deberá adaptarse al terreno y la pendiente éste será la que dará forma al proyecto.

### 6.1.2 Usuario

El centro de visitantes para ALMA está pensado para el turista tanto nacional como internacional. Es importante enseñarle a nuestra población lo importante que es la astronomía para Chile y la relevancia de Chile en astronomía a nivel global. Así mismo es importante mostrar Chile al mundo en materia astronómica, para que se llegue a reconocer a Chile como la capital mundial astronómica.

De igual manera el proyecto está pensado para los aficionados, estudiantes y profesionales de astronomía, para que, de una manera integral, se reúnan en un mismo espacio aquellos que quieran aprender y aquellos que puedan enseñar.



### 6.1.3 Gestión

De las instituciones consultadas, ESO mostró interés en crear un centro de visitantes para ALMA. Para ESO es importante dar a conocer ALMA al mundo y explotar a Chile como potencia astronómica, como se mencionó anteriormente, la gran mayoría de los observatorios profesionales de Chile están a cargo de ESO.

Cabe señalar que ESO es una institución sin fines de lucro, por lo que en el centro de visitantes, al igual que ALMA, no puede por ningún motivo estar ligado a ventas ni a ganancias monetarias, éste debe ofrecerse como una plataforma sólo para el aprendizaje.

Sin embargo, cualquier decisión que se tome con respecto a ALMA, deberá ser tomada por las tres instituciones a cargo, ESO, NRAO y NAOJ, independiente de quien la financie.

### 6.1.4 Partido General

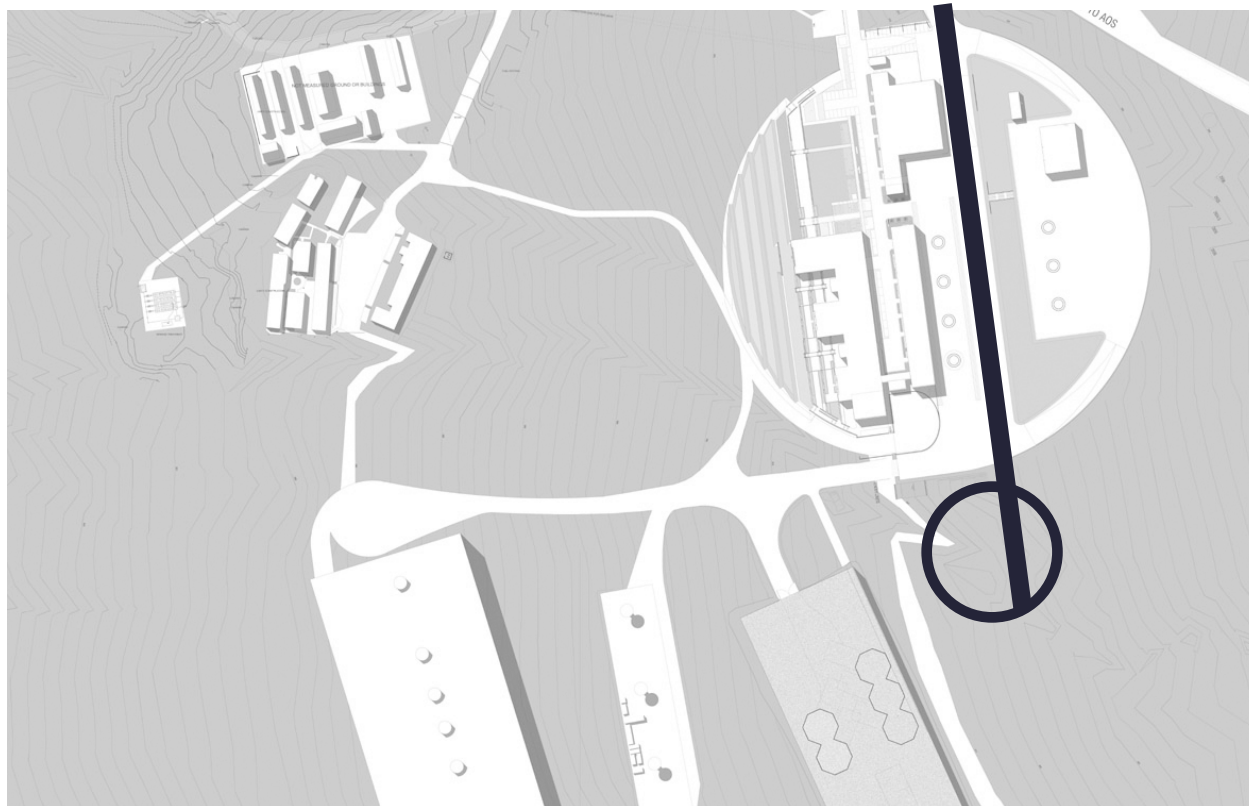
En primer lugar se tomará el gran eje del OSF como punto de partida del centro de visitan-

tes, ya que como se mencionó, éste será el remate de dicho eje.

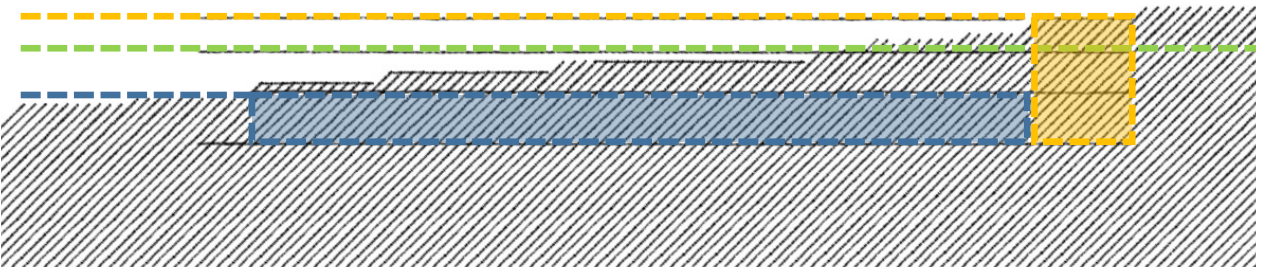
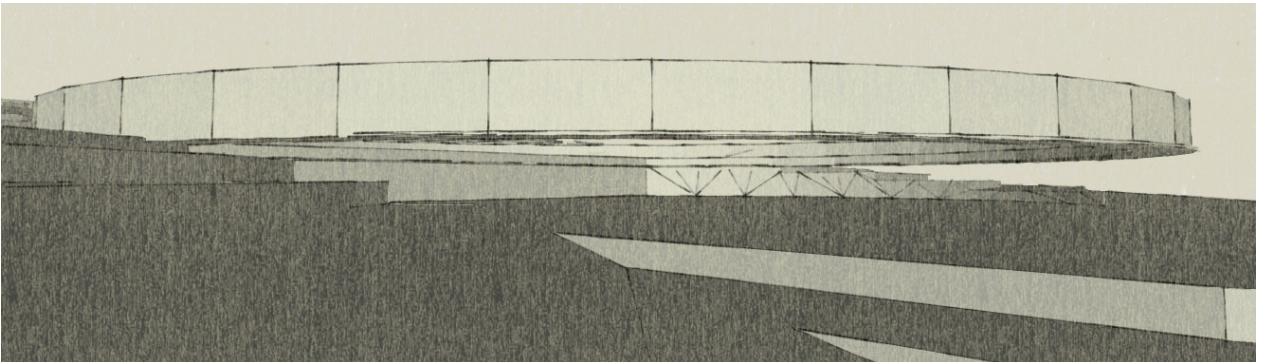
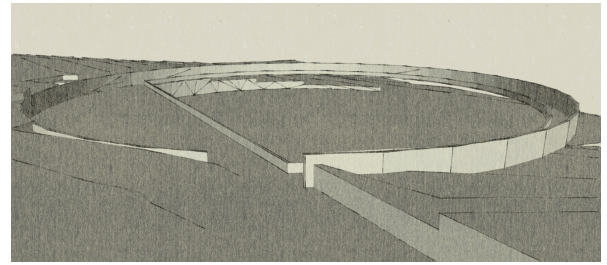
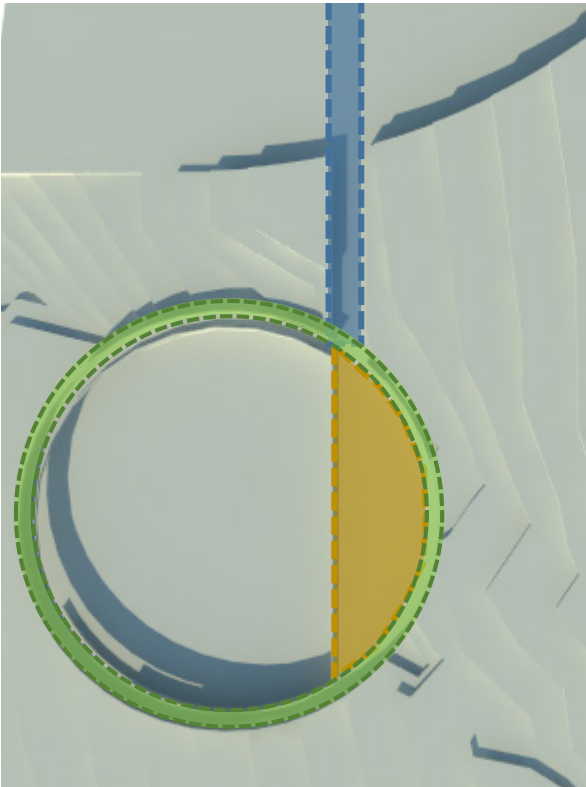
El único elemento visible desde el exterior será un gran anillo que bordeará el espejo de agua que será un recorrido para observar el universo desde arriba y que además albergará la línea de tiempo de ALMA. La intersección del gran eje el anillo dará lugar a la plaza de acceso que actuará como articulador entre el OSF y el Centro de Visitantes. En ella se podrá observar el centro de visitantes, el espejo de agua y sobre todo, el universo.

Las condiciones de terreno son muy peculiares, por lo que la adaptación a él será un tema no menor, los distintos niveles del terreno serán los encargados de dar forma al proyecto, de manera de ser lo más respetuoso posible con las condiciones naturales.

La plaza y el anillo se encontrarán en el nivel +2920, es decir, al mismo nivel del eje del OSF y el espejo de agua se nivelará al punto más bajo del nivel de terreno que bordea al gran círculo.



\*Imagen referencial, no representa las medidas reales

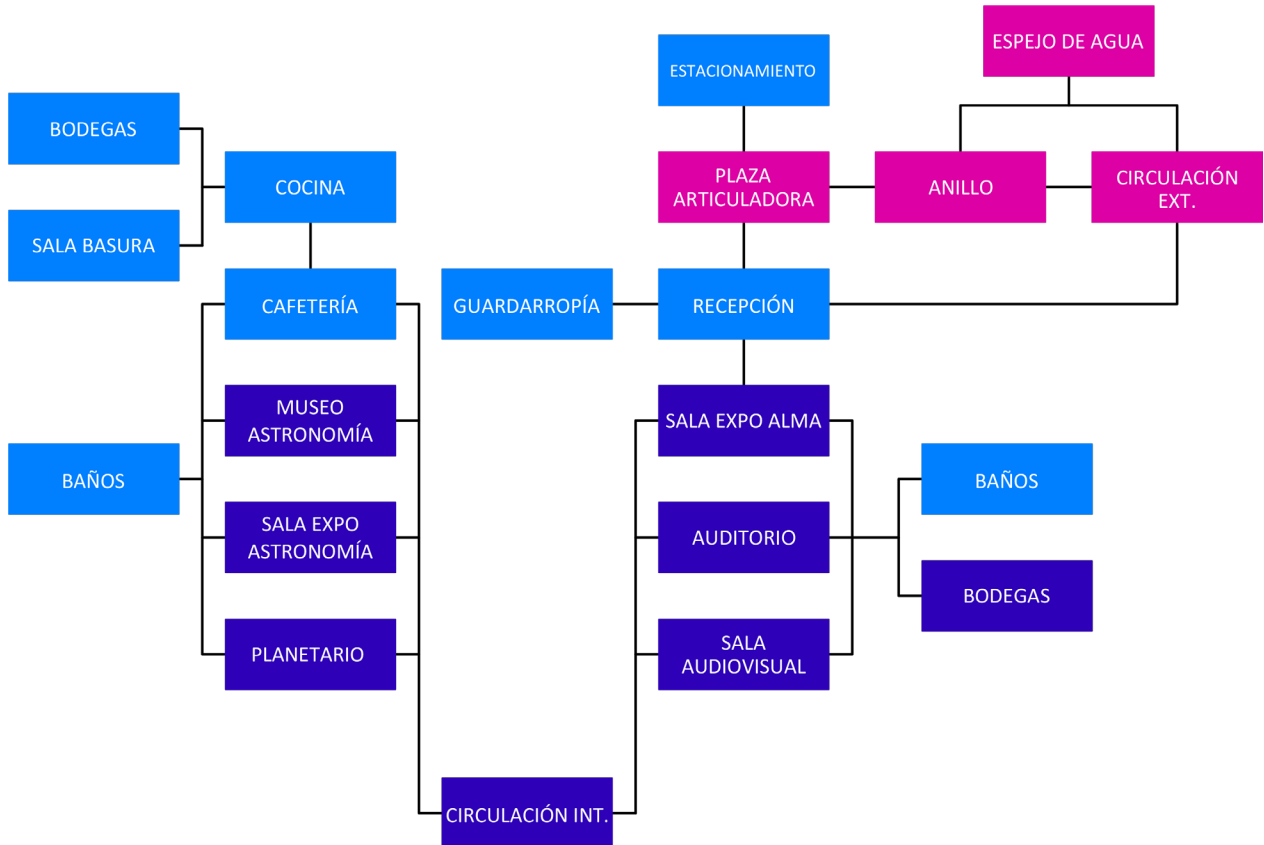


- Nivel más alto +2923 (intersección del anillo con el punto más alto del terreno)
- Nivel OSF, plaza y anillo +2920
- Nivel más bajo +2916 (intersección del anillo con el punto más bajo del terreno)

### 6.1.5 Programa

| Programa       | Recintos                         | Superficie |
|----------------|----------------------------------|------------|
| Servicios      | Recepción                        | 50         |
|                | Guardarropía                     | 20         |
|                | Baños                            | 160        |
|                | Cafetería                        | 200        |
|                | Cocina                           | 60         |
|                | Bodegas                          | 20         |
|                | Sala de basura                   | 30         |
|                | Estacionamientos                 | 100        |
| Aprendizaje    | Circulación                      | 1.030      |
|                | Astronomía:                      |            |
|                | Planetario                       | 360        |
|                | Bodegas                          | 50         |
|                | Sala de exposición de astronomía | 400        |
|                | Museo de astronomía              | 700        |
|                | ALMA:                            |            |
|                | Sala de exposición de ALMA       | 400        |
|                | Auditorio                        | 250        |
|                | Sala audiovisual                 | 250        |
| Observación    | Plaza articuladora               | 1.135      |
|                | Anillo                           | 525        |
|                | Espejo de agua                   | 3.320      |
|                | Circulación                      | 1.350      |
| M2 Construidos |                                  | 3.980      |
| M2 Libres      |                                  | 6.430      |
| TOTAL          |                                  | 10.410     |

### 6.1.6 Organización programática



**Observación**  
**Aprendizaje**  
**Servicios**

### 6.1.7 Sustentabilidad y materialidad:

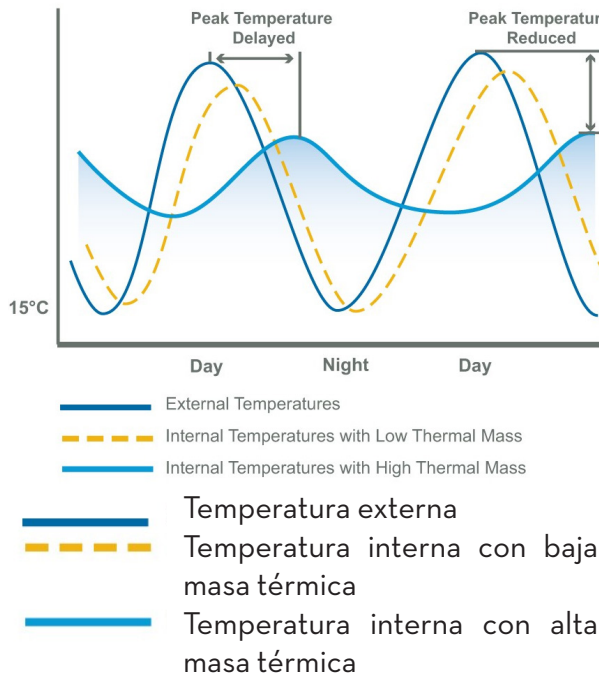
#### Control térmico:

Uno de los grandes problemas de construir en el desierto es la excesiva radiación durante el día y las bajas temperaturas durante la noche. Una de las formas de lidiar con este problema es mediante el uso de masa térmica. Una opción es utilizar muros de gran envergadura, o en su defecto, enterrarse en el terreno. Esto se debe al alto calor específico de la tierra, lo que significa que la cantidad de energía que requiere para subir su temperatura en una unidad es muy grande. Al enterrar el proyecto se logra que la energía captada durante el día en forma de calor sea liberada durante la noche, cuando las temperaturas son muy bajas. Es decir, durante el día el ambiente dentro

del edificio es menos caluroso que el exterior y durante la noche, lo contrario.

En todo el proyecto existe sólo una fachada, que se encuentra al oriente del espejo de agua, lo que quiere decir que dicha fachada recibe el sol al atardecer. En este caso se debe tener precaución al controlar la entrada de luz, ya que lo que se necesita es sólo iluminar, es decir, evitar los rayos de sol directo. Esto se logra aumentando el espesor de la estructura que soporta la ventana, de manera que la luz rebote en los bordes antes de ingresar al recinto, además se deben cuidar las dimensiones de los vidrios, ya que con la alta oscilación térmica es muy frecuente que los vidrios se tricen por el cambio brusco de temperatura.





Comportamiento de la temperatura según la masa térmica  
Fuente: <http://www.new4old.eu>

### Energía eléctrica:

El OSF dispone de una planta de poder, que consta de tres turbinas de gas licuado de petróleo (LPG) de 3,3MW cada una que suministran energía a todo el observatorio. Del mismo modo, el centro de visitantes se dotará de dicha energía.

El futuro hotel residencial del OSF contempla también colectores solares, para una menor demanda de la planta de poder.

### Materialidad:

La materialidad del centro de visitantes será similar a la del OSF, en primer lugar para colaborar con la armonía del contexto y en segundo, porque las condiciones climáticas no permiten utilizar gran variedad de materiales. Debido a la aridez del lugar es importante el hormigón tenga el tratamiento adecuado, tanto en su colocación como en el curado, de forma que éste permita controlar el correcto fraguado y su resistencia final. Para ello es necesaria la construcción de domos climatizados con control de temperatura y humedad, para conseguir las resistencias adecuadas.

Además del hormigón armado es importante utilizar la materialidad local dentro de lo posi-

ble como, piedra, cobre y roca volcánica para armonizar con el medio ambiente.

Es necesaria también la utilización de aislantes en todo el edificio para contrarrestar la gran oscilación térmica propia del desierto.

### El espejo de agua:

El agua es un bien preciado en el desierto por la evidente escasez de ella, por ende, el no aprovechar las aguas grises generadas por el gran número de trabajadores de ALMA, que son cerca de 200, es un desperdicio. El espejo de agua, el cual servirá como un planetario natural, será abastecido por el agua utilizada en distintas partes del OSF. Éstas podrían ser: Los baños del edificio técnico.

La cocina del casino.

Las duchas y lavamanos del futuro hotel residencial, el cual tendrá 120 habitaciones con baño incorporado.

Si el área del espejo de agua es de 3.320m<sup>2</sup>, y la profundidad de 30cm, significa que el volumen de agua necesaria es de aproximadamente **1.000lt**.

Si consideramos que el hotel se encuentra a la mitad de su capacidad de forma permanente, que una ducha en promedio ocupa 10lt de agua por minuto y que cada ducha en promedio dura 15min significa que:

**60 dormitorios x 150lt por ducha = 9.000 lts**

La cantidad de agua generada sólo por las duchas del hotel residencial en un día sirve para llenar 9 veces el espejo de agua.

El espejo de agua, al tener como objetivo ser un planetario natural, necesita estar lleno solamente durante la noche, ya que durante el día en nivel de luz solar es muy alto, lo que sería molesto para los usuarios. La idea es que el espejo de agua sea llenado al atardecer con el agua recolectada durante el día, como la temperatura baja considerablemente, éste se mantendrá lleno durante la noche, y durante el día el agua naturalmente se evaporará debido a las altas temperaturas, de esta forma no reflejará la luz.

## 6.2 Proceso de diseño

Primeras aproximaciones

22-01-2014

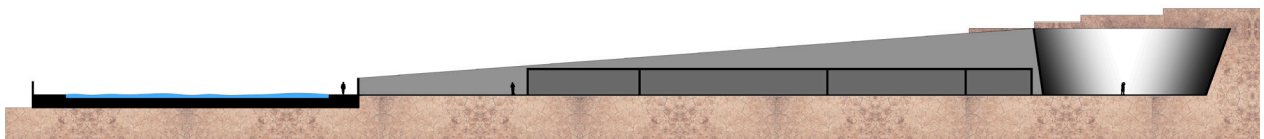
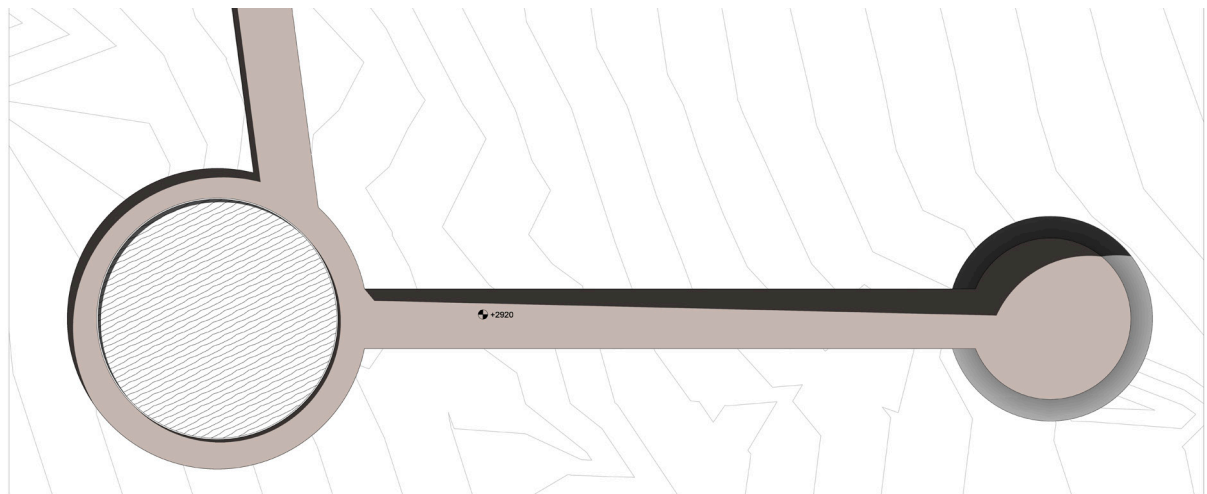
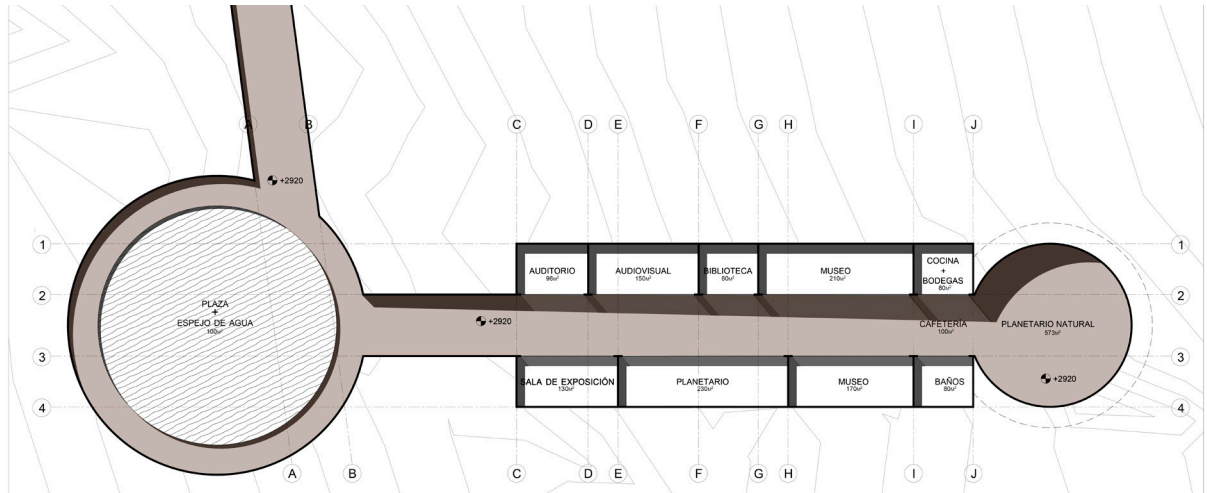


CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN  
OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

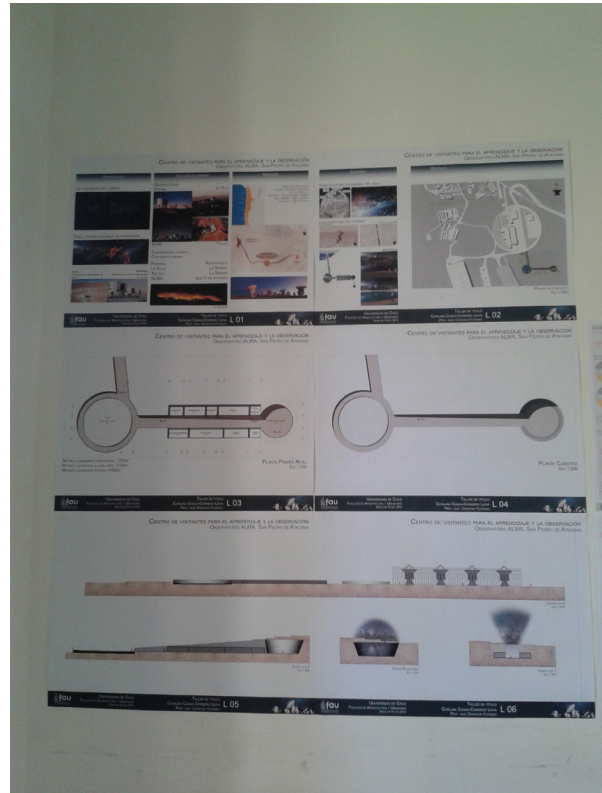
29-01-2014



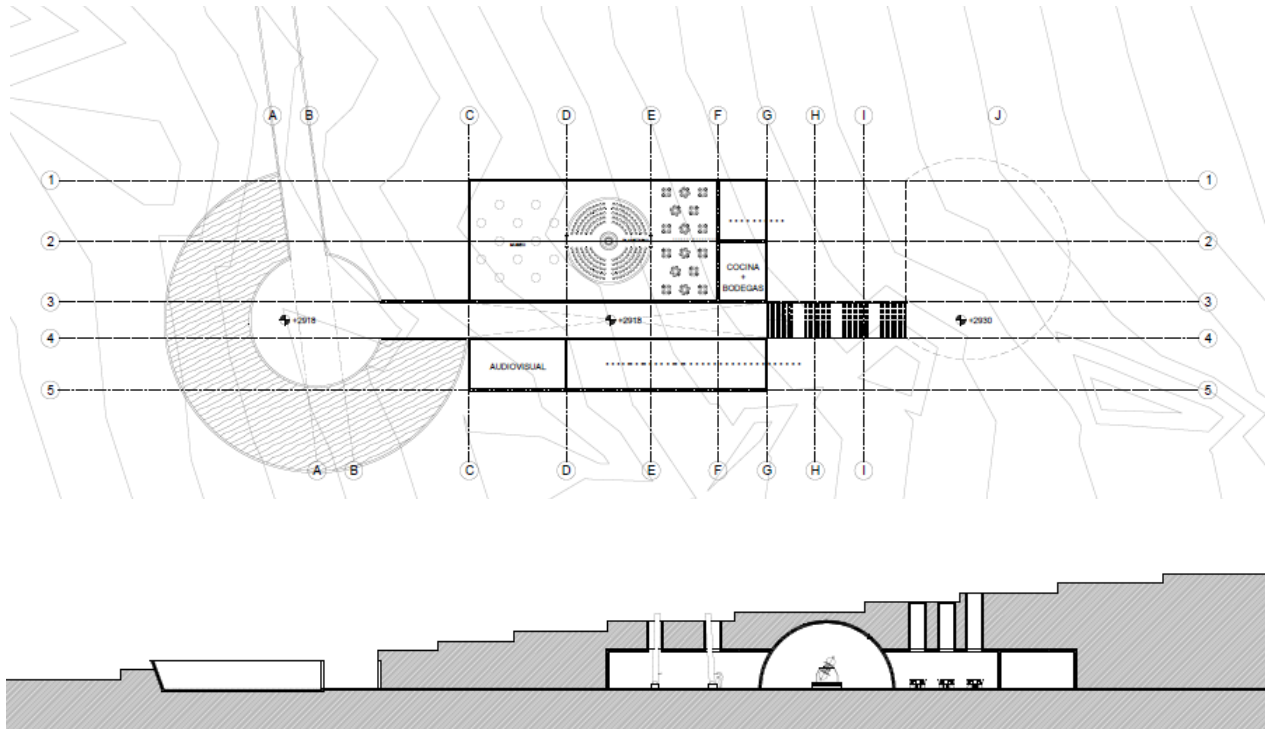
Pase de título 26-03-2014



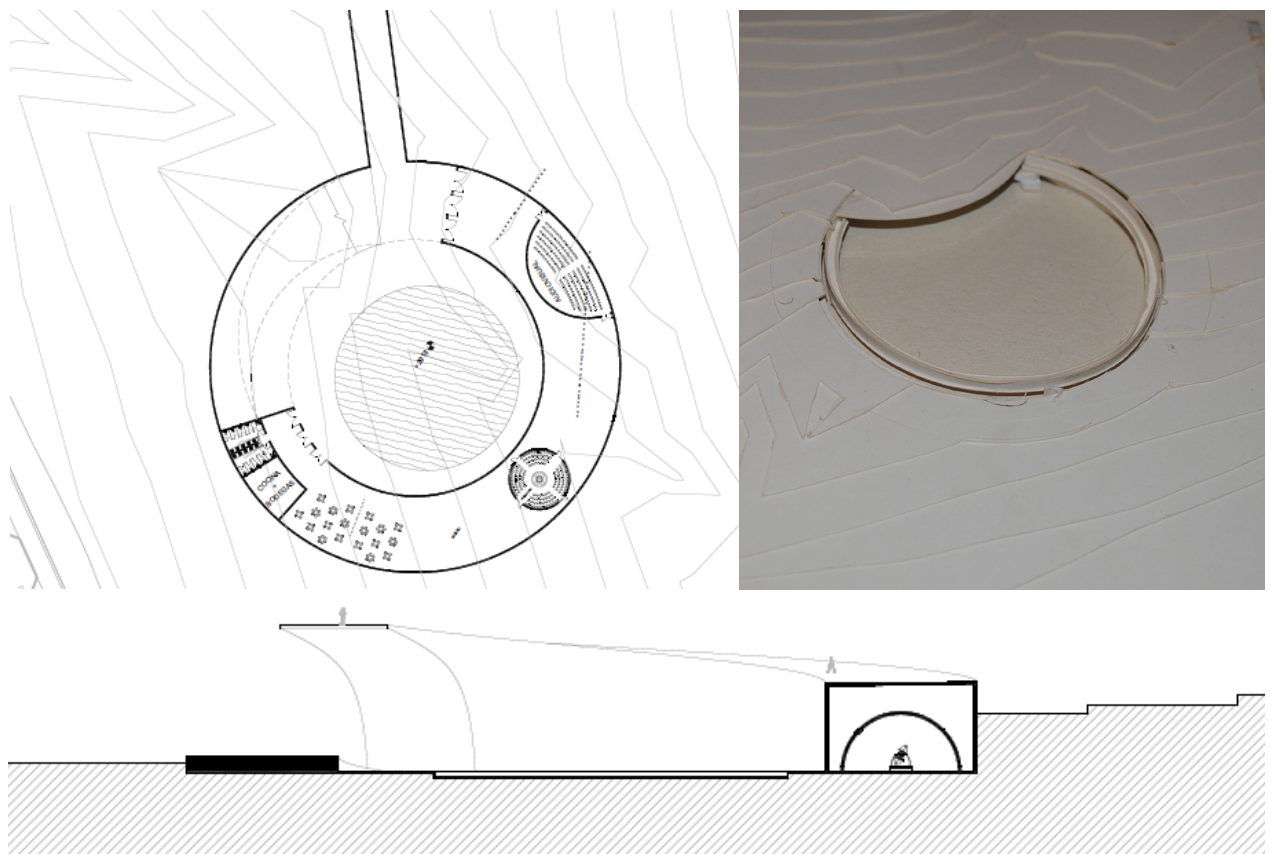
# CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA



09-04-2014

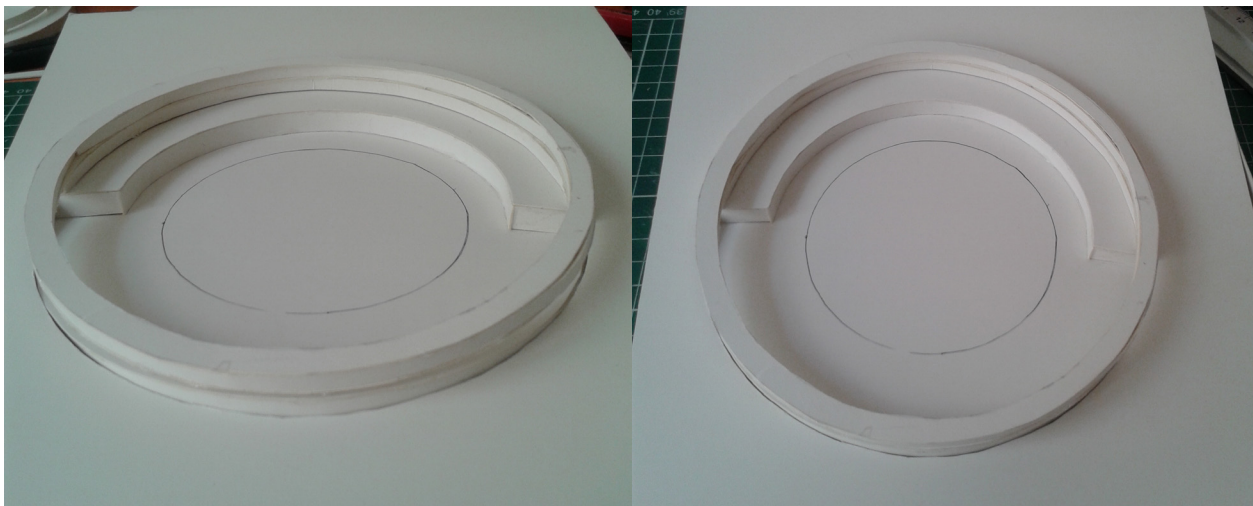
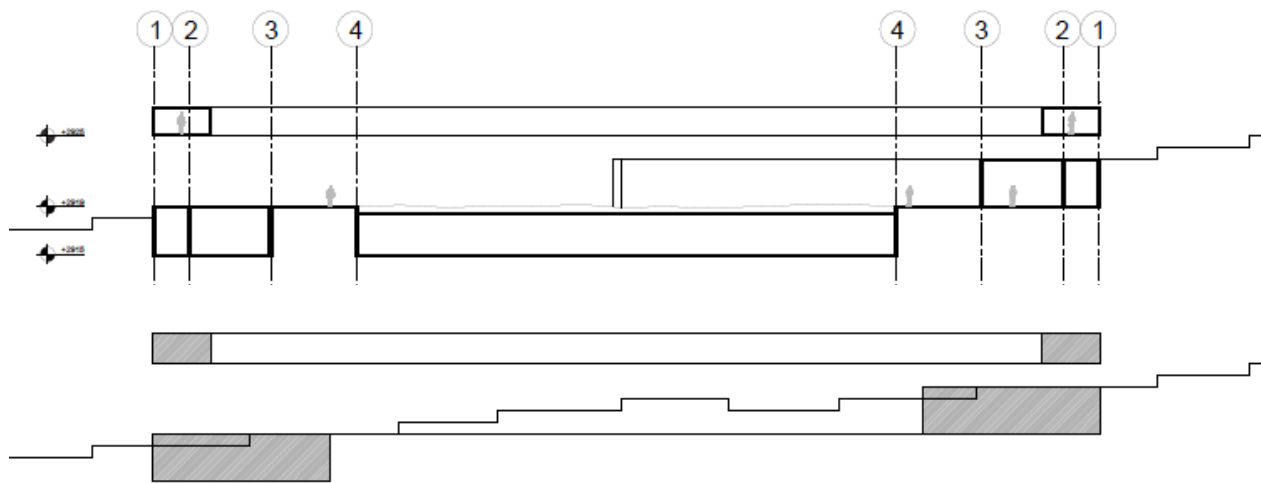
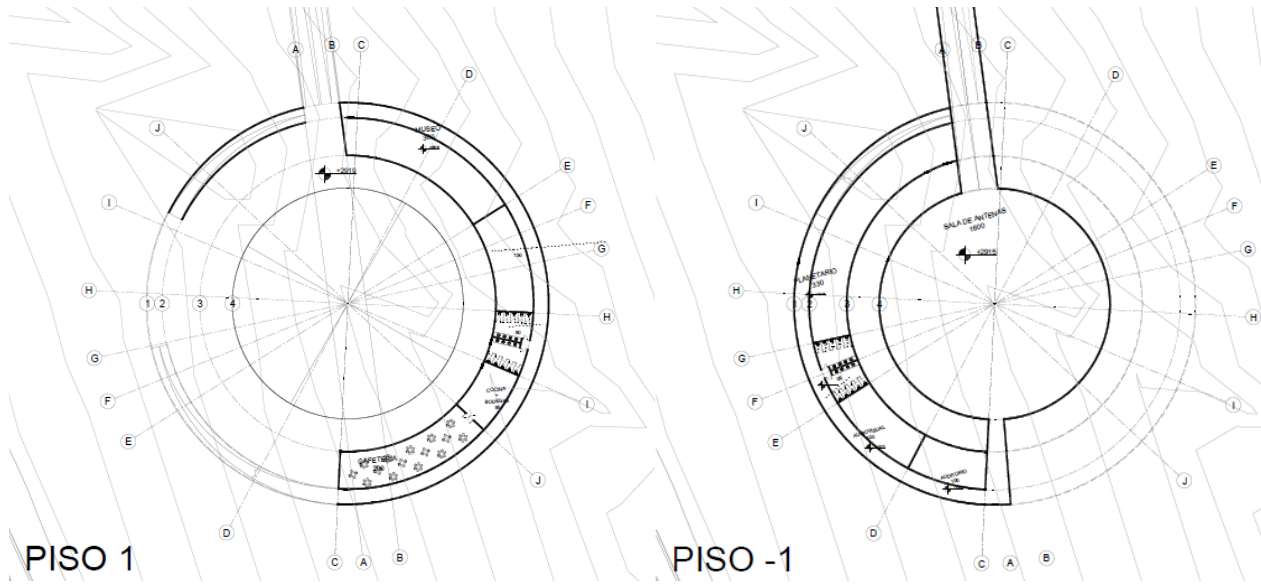


16-04-2014

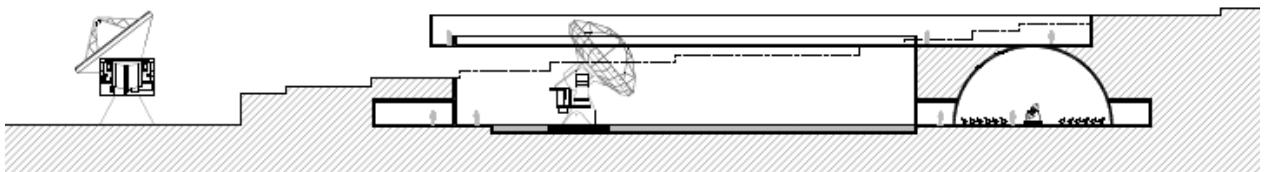
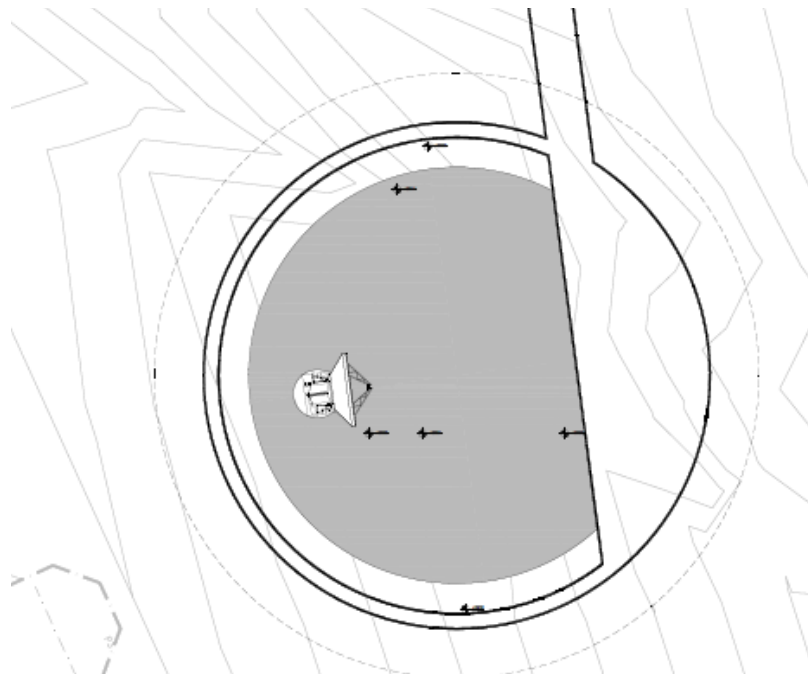
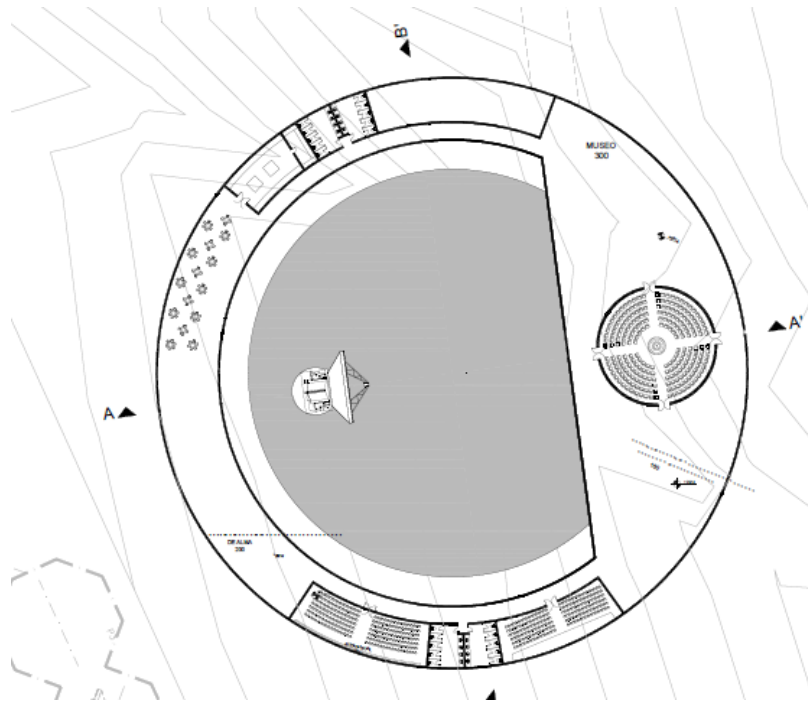


CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN  
OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

30-04-2014



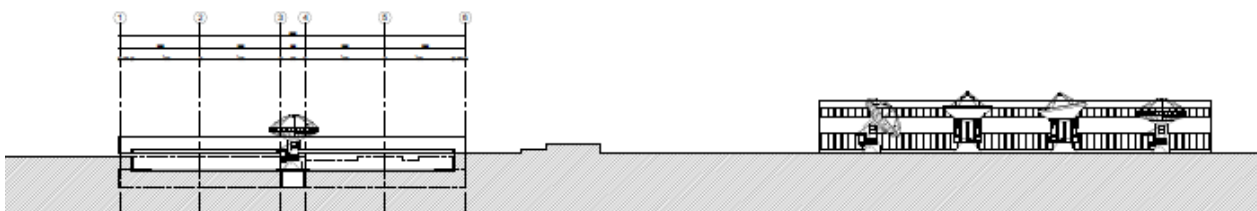
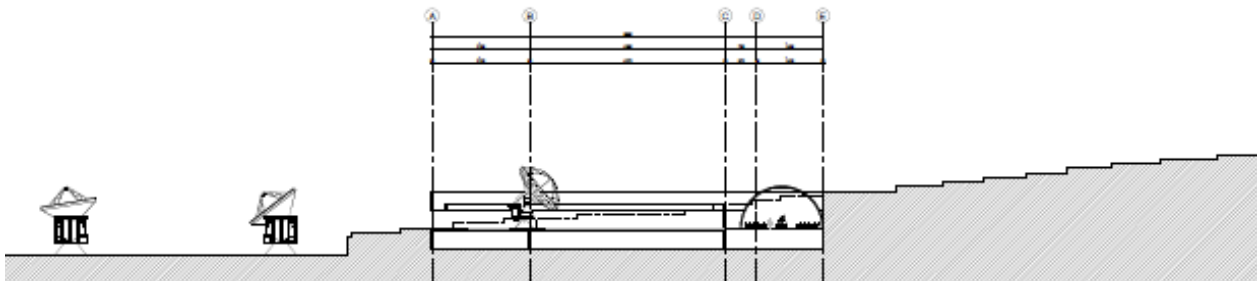
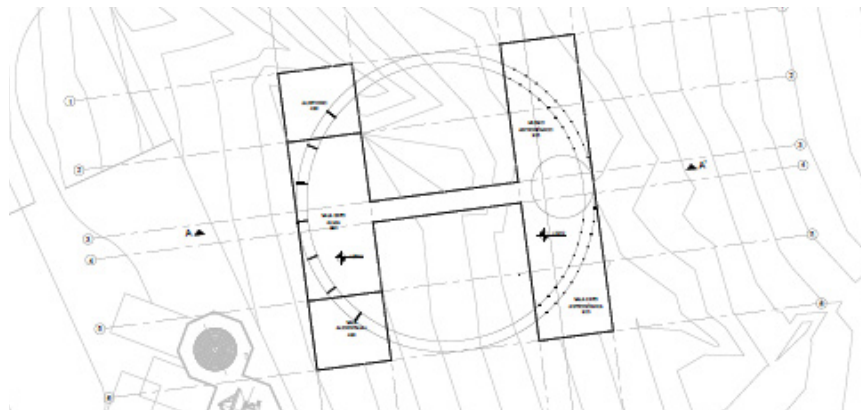
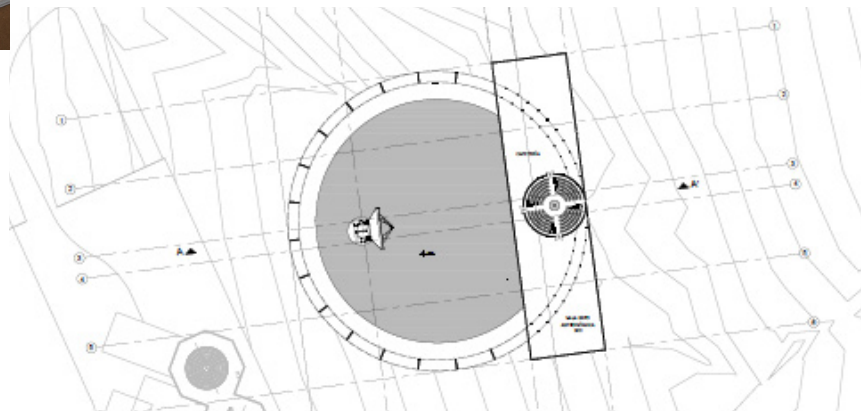
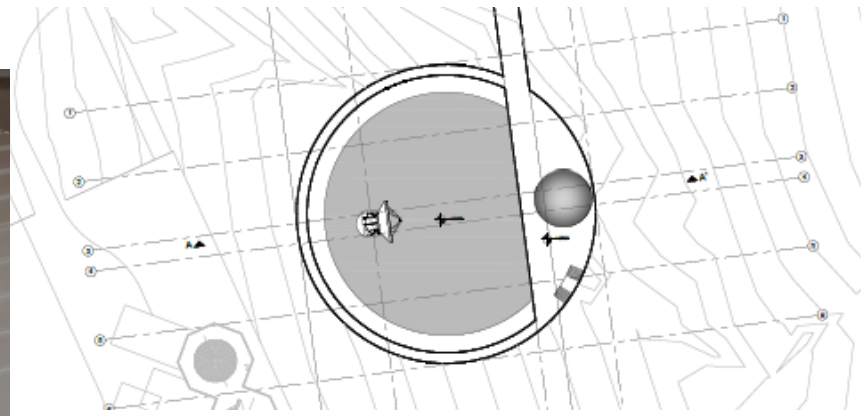
28-05-2014



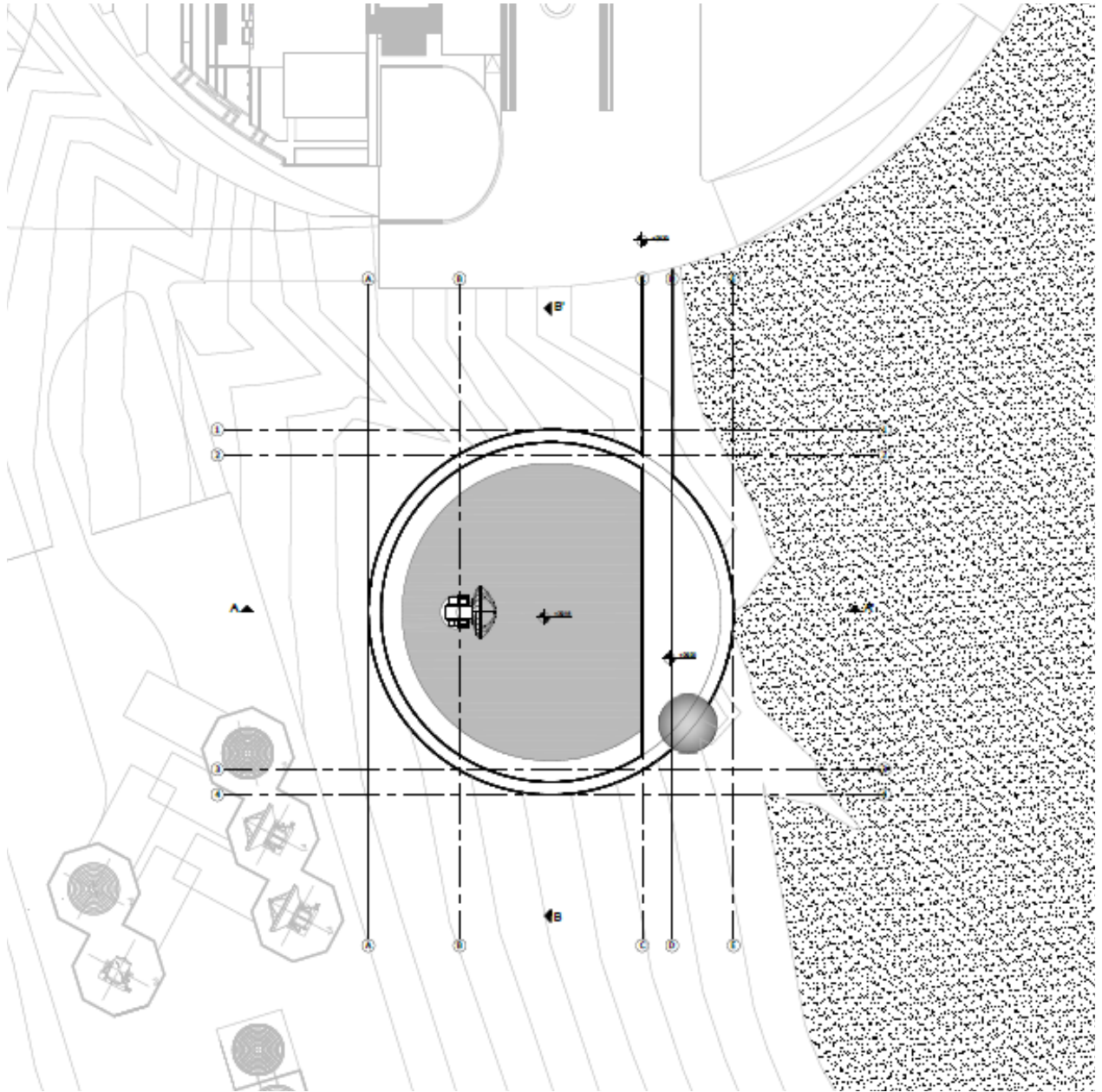


CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN  
OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

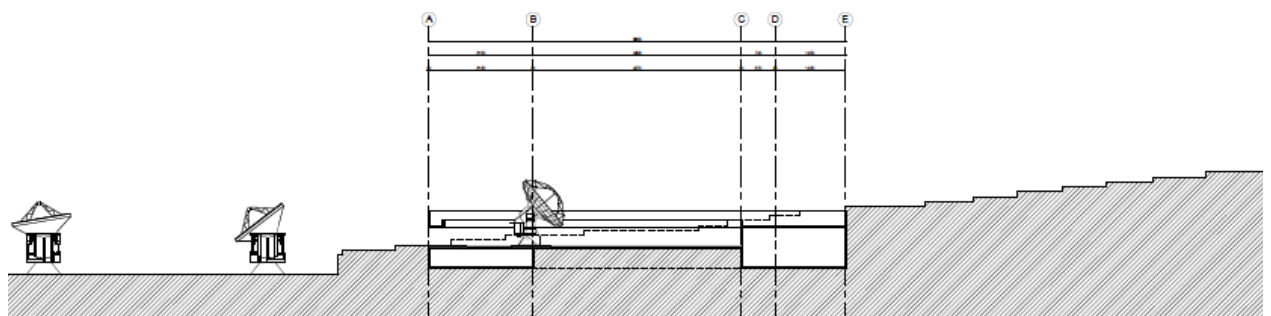
04-06-2014



### 6.3 Planimetría

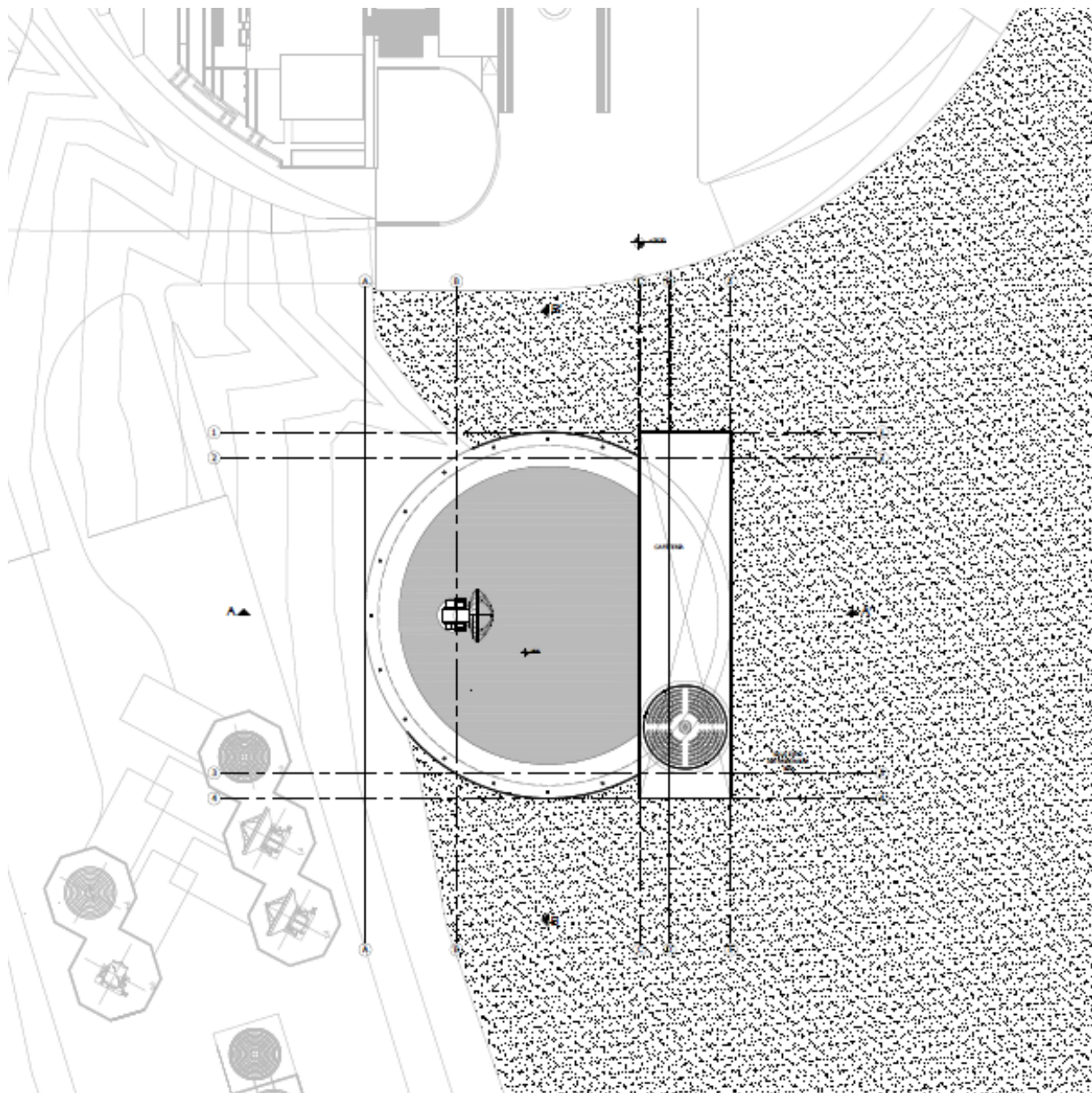


Planta Nivel 1

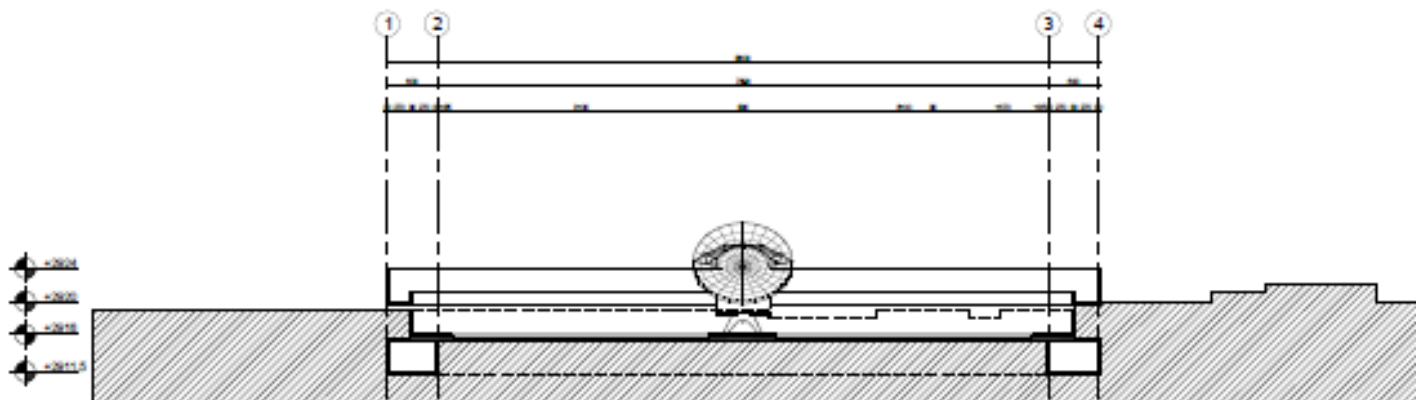


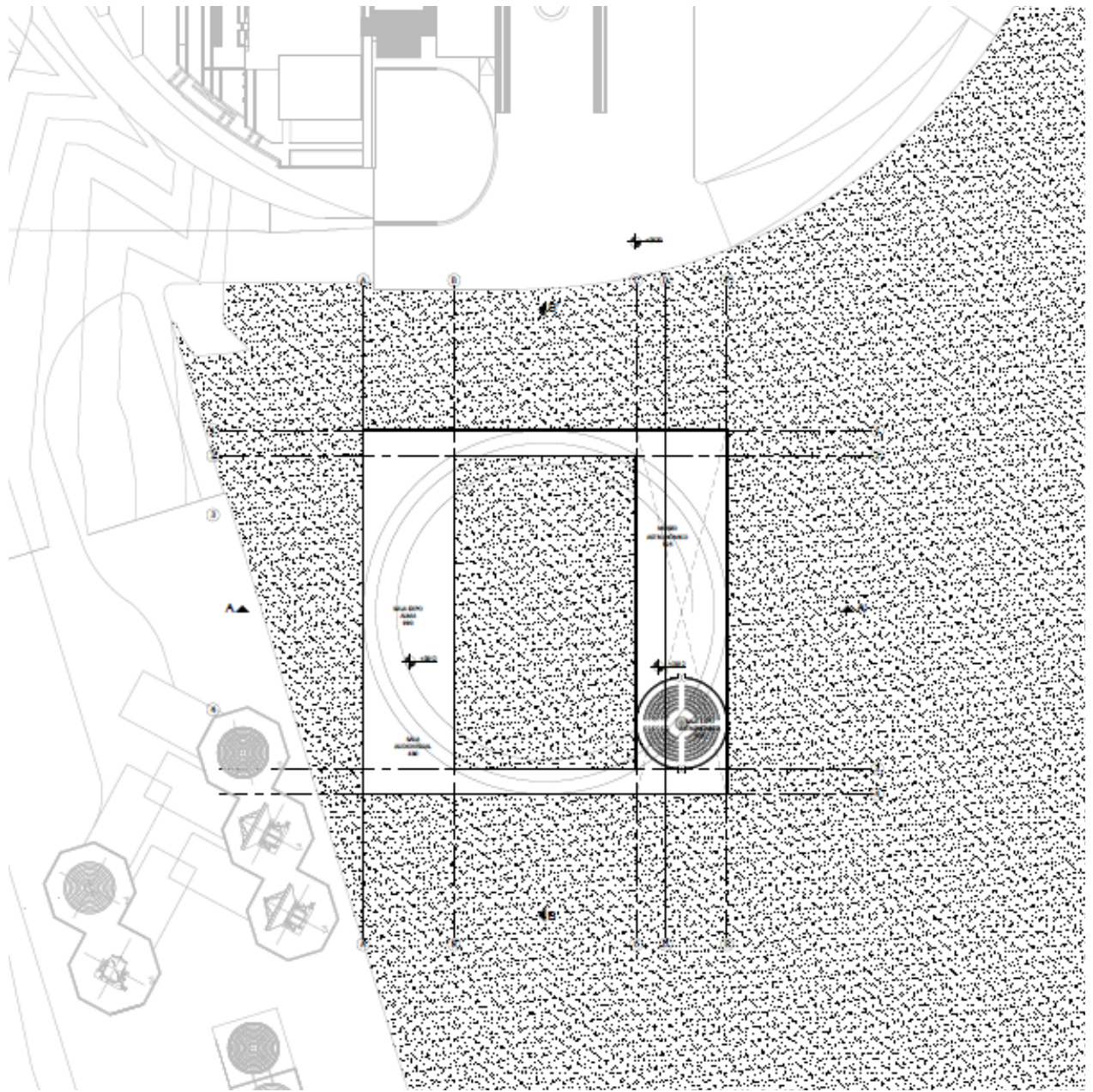
Corte A-A'

CENTRO DE VISITANTES PARA EL APRENDIZAJE Y LA OBSERVACIÓN  
OBSERVATORIA ALMA, SAN PEDRO DE ATACAMA

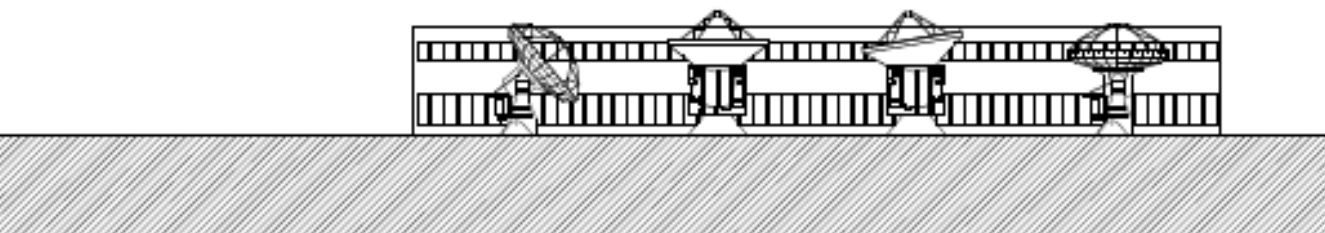


Planta Nivel -1





Planta Nivel -2



Corte B-B'



## VII. BIBLIOGRAFÍA

*Antena sienta transportada al AOS*  
Fuente: [www.eso.org](http://www.eso.org)

### Sitios web:

- Sitio oficial de European Southern Observatory (ESO)  
[www.eso.org](http://www.eso.org)

- Sitio oficial de National Radio Astronomy Observatory NRAO  
[www.nrao.edu](http://www.nrao.edu)

- Sitio oficial de National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ)  
[www.nao.ac.jp](http://www.nao.ac.jp)

- Sitio oficial de ALMA  
[www.almaobservatory.org](http://www.almaobservatory.org)

- Sitio oficial de AURA  
[www.aura-astronomy.org](http://www.aura-astronomy.org)

- Ilustre Municipalidad de San Pedro de Atacama  
[www.municipiosanpedrodeatacama.cl](http://www.municipiosanpedrodeatacama.cl)

- Jim Richardson  
[www.jimrichardsonphotography.com](http://www.jimrichardsonphotography.com)

- Sitio oficial de la NASA  
<http://earthobservatory.nasa.gov>

- Observatorio La Campana  
[www.lco.cl](http://www.lco.cl)

- Kouvo & Partanen Architecture  
[www.kouvo-partanen.fi](http://www.kouvo-partanen.fi)

- Hotel Tierra Atacama  
[www.tierraatacama.com](http://www.tierraatacama.com)

### Artículos:

- Ministerio de Desarrollo Social. Reporte Comunal: San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta, 2014.

- Ministerio de Agricultura. Región de Antofagasta provincia de El Loa comuna de San Pedro de Atacama, capítulo 2: Características sociales y económicas, 2013.

- Pino M., José Luis. El ushnu y la organización espacial astronómica en la sierra central del Chinchaysuyu, 2005.

### Libros:

- Rovira, Jaime; Ortega, David; Álvarez, Daniel; Molt, Karin. "Biodiversidad en Chile, Patrimonio y desafíos".

- Heisig, Michaela (ESO). "Cerca del cielo, Patrimonio biológico en la zona de ALMA", 2007.

- "Cultura Atacameña Serie El patrimonio cultural chileno". Colección culturas aborígenes.

- "Tesoros de San Pedro de Atacama". Museo de Arte Precolombino, 1984.

- “El universo de nuestros Abuelos” Proyecto de Etnoastronomía Atacameña.

#### Revistas:

- “Noche Zero”, Revista Más Deco, número 487, 2012.
- “ALMA, Una construcción junto a las estrellas”, Revista En Concreto, Cámara Chilena de la Construcción, número 124, Junio 2013.
- “Proyecto museo arqueológico San Pedro de Atacama”, Tecnología y Construcción, número 67, Mayo 2011.
- “Arquitectura formativa en San Pedro de Atacama”, Estudios Atacameños: Arqueología y Antropología Surandinas, número 34, 2007
- “Prototipos en el territorio” Cazu Zegers, Serie Monografías de Arquitectura Chilena Contemporánea, número 20, 2008.

#### Memorias de título:

- Aranda Sagredo, Carolina. Plan maestro de recualificación sostenible en laguna verde, 2013.
- Aguayo González, Constanza. Personalización: La flexibilidad habitacional como respuesta arquitectónica, 2012.
- Blázquez, Marisol. Museo Astronómico en San Pedro de Atacama, 2006.
- Medina D, Valeria. Centro turístico astronómico en Toconao, 2009.
- Silva Messer, Bárbara. Plataforma para la floricultura centro de producción y turismo florícola en Ocoa, 2013.

- Fuentes Maturana, Marco. Rehabilitación conjunto habitacional Caupolicán, 2012.

- Guerra Ramirez, José. Habitar el desierto: Transición energética y transformación del proyecto habitacional colectivo en la ecología de San Pedro de Atacama, Chile. Universitat Politècnica de Catalunya.

- Reyes, O. Santuario del Cosmos En los altos de Chajnantor, Soporte para el desarrollo astronómico Aficionado En Atacama, 2006.