



CAPACIDADES Y OPORTUNIDADES PARA LA INDUSTRIA Y ACADEMIA EN LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS O DERIVADAS DE LA ASTRONOMÍA Y LOS GRANDES OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS EN CHILE

**Estudio realizado para el Ministerio de Economía de Chile,
División de Innovación
*Addere Consultores, 2012***



PRESENTACIÓN

Este Estudio fue realizado durante los primeros meses del año 2012 para el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile, División de Innovación, bajo la modalidad de licitación pública¹ adjudicada a Addere Consultores.

En el curso del trabajo se recopiló información que fue estructurada, analizada y luego se elaboraron conclusiones y recomendaciones.

Este informe consta de dos tomos. El primero presenta los principales resultados en la perspectiva de identificar las oportunidades y de recomendar acciones a seguir.

El segundo tomo contiene los anexos. Se incluye también información de soporte cuyo objetivo es aportar elementos adicionales que complementan, profundizan o detallan la información contenida en el primer tomo.

EQUIPO DE TRABAJO Y COLABORADORES

Director y Responsable del Estudio:	Gerardo Rivas Perlwitz, M.Sc., ADDERE Consultores.
--	--

Las personas nombradas a continuación han aportado una valiosa colaboración al Estudio elaborando, recopilando y/o revisando información. Sin embargo, el producto final del Estudio no necesariamente refleja sus opiniones ni necesariamente recoge de manera literal la información entregada por ellos.

La responsabilidad del contenido del Estudio es por tanto exclusivamente Addere Consultores.

Asesor Astrónomo:	Patricio Rojo, PhD.
Asesor Astroingeniería:	Mauricio Solar, PhD.
Asesor en Ciencia y Conectividad:	Paulina López.

¹ Licitación Pública 4872-13-LE11 de ChileCompra.

Asistentes de investigación	Elise Servajeon Bergoeing (astronomía en Chile) Katherine Torrejon (turismo astronómico) Rodolfo García (bases de datos de empresas en Chile) Mario Garcés (Empresas nacionales y mundiales) Diego Herrera(Empresas nacionales y mundiales) María Paz González (encuesta)
------------------------------------	---

REPRESENTANTES DE OBSERVATORIOS O DE ASOCIACIONES QUE HAN SIDO ENTREVISTADOS (por orden alfabético)	Estas personas han sido entrevistadas en el marco del Estudio. Sin embargo, el producto final del Estudio no necesariamente refleja sus opiniones ni necesariamente recoge de manera literal la información entregada por ellos.
Eduardo Hardy	AUI
Miguel Roth	Director del Observatorio Las Campanas.
Chris Smith	Director de CTIO, NOAO
Massimo Tarenghi	Representante de ESO en Chile
Álvaro Urzúa	Presidente de la Asociación de la Industria Eléctrica y Electrónica de Chile.
Ulrich Weilenmann	Deputy Director en Paranal

EXPERTOS ENTREVISTADOS (por orden alfabético)	Timothy Abbott. Fernando Álvarez. Jeff Barr. Maxime Boccas. Peter Gray. Gerhard Hüdepohl. Jorge Ibsen. Diego Mardones. Angel Otarola. Matteo Pozzibin. Gary Sanders. Ricardo Schmidt. Jacques Sebag.
Estas personas han sido entrevistadas en el marco del Estudio. Sin embargo, el producto final del Estudio no necesariamente refleja sus opiniones ni necesariamente recoge de manera literal la información entregada por ellos.	

Entidades gubernamentales que apoyaron activamente el Estudio.	División de Innovación, Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (Contraparte). Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile. Corporación de Fomento de las Producción. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Gobierno de Chile.
Foto de portada	Francisco Martínez Hernández

CONTENIDO

1	LA ASTRONOMÍA	1
1.1	Astronomía en Chile	1
1.1.1	Telescopio de la Humanidad	1
1.1.2	Las mejores condiciones	4
1.1.3	El más seco del mundo	7
1.1.4	Otros Factores	8
1.2	Infraestructura	10
1.2.1	Modos de Observación	10
1.2.2	Tipos de observatorios	15
1.2.3	Telescopios	17
1.3	Observatorios Profesionales en Chile	26
1.3.1	Presente	26
1.3.2	Futuro	38
1.3.3	Pasado	45
1.3.4	Emplazamientos	47
2	MARCO DE ANÁLISIS DEL ESTUDIO	51
3	LOS OBSERVATORIOS	54
3.1	CICLO DE VIDA	54
3.1.1	Desarrollo del Concepto	55
3.1.2	Etapas de diseño, prototipos y análisis	56

3.1.3	Etapa de construcción e instalación	57
3.1.4	Etapa de Operación	59
3.2	ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS CONTRATOS INTERNACIONALES	62
3.2.1	Presentación	62
3.2.2	Características de la información disponible.	63
3.2.3	Las cifras globales de inversión	65
3.2.4	Los principales ítems de inversión	66
3.2.5	Desglose de cifras de inversión de los principales proyectos astronómicos en Chile	72
3.2.5.1	<i>Proyecto European Extremely Large Telescope (E-ELT)</i>	72
3.2.5.2	<i>The Cornell Caltech Atacama Telescope (CCAT)</i>	75
3.2.5.3	<i>Large Synoptic Survey Telescope (LSST)</i>	77
3.2.5.4	<i>Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)</i>	81
3.2.6	Gastos de operación de los principales proyectos astronómicos en Chile	82
3.3	REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA Y SERVICIOS DE LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS	84
3.3.1	Alta tecnología: Diseño y construcción del Telescopio, Montura y los Instrumentos Científicos.	85
3.3.2	Mediana tecnología: Sistemas, componentes y dispositivos mecánicos, eléctricos, electrónicos, hidráulicos, ópticos.	88
3.3.3	Diseño y construcción de la Infraestructura	92
3.3.4	Servicios especializados de mantención, reparaciones y gestión de datos	95
3.3.5	Bienes y servicios no diferenciados.	97
3.3.6	Normas de aplicación general utilizadas por los observatorios	98

3.3.7	Ejemplo de estructura de un Service Level Agreement para contratos de servicios de un observatorio	101
4	INDUSTRIA: ACTORES NACIONALES E INTERNACIONALES	102
4.1	MUESTRA DE EMPRESAS PROVEEDORAS DE LA ASTRONOMÍA A NIVEL MUNDIAL.	102
4.2	EMPRESAS INSTALADAS EN CHILE QUE PROVEEN SERVICIOS A LOS CENTROS ASTRONÓMICOS	105
4.3	IDENTIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE EMPRESAS NACIONALES	106
4.4	CASOS DE TRABAJOS CON LOS OBSERVATORIOS.	107
5	CAPITAL HUMANO EN CHILE PARA TECNOLOGÍAS E INDUSTRIA LIGADAS A LA ASTRONOMÍA	122
5.1	CAPITAL HUMANO EN ASTRONOMÍA	123
5.2	CAPITAL HUMANO EN ASTROINGENIERÍA	126
5.2.1	Laboratorio de ondas milimétricas Universidad de Chile	128
5.2.2	Centro de astro-ingeniería AIUC - Pontificia Universidad Católica de Chile	131
5.2.3	Computer Systems Research Group (CSRG), Departamento de informática, Universidad Técnica Federico Santa María	134
5.2.4	Laboratorio de Radioastronomía – Centro de óptica y fotónica - Universidad de Concepción	135
5.2.5	Laboratorio de Astroinformática CMM	138
5.2.6	Grupo de Astrometeorología Universidad de Valparaíso	139
5.2.7	El capital de confianza de los grupos de astroingeniería en Chile	140
5.2.8	Capital humano para los proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.	141

5.2.9	Capital humano para proyectos, bienes y servicios no diferenciados	142
6	ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE UN ECOSISTEMA IMPULSADO POR LA ASTRONOMÍA	143
6.1	TRABAS Y FALENCIAS.	143
6.1.1	En el ámbito del desarrollo de tecnologías de frontera	143
6.1.2	En el ámbito de proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.	146
6.1.3	En el ámbito de proyectos, bienes y servicios no diferenciados	147
6.2	DIFERENTES MODELOS A NIVEL MUNDIAL DE APOYO AL DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA ASTRONOMÍA	148
6.2.1	En el ámbito de Tecnologías de Frontera	148
6.2.2	En el ámbito de Aplicaciones de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.	150
6.2.3	Ejemplos de Modelos en el mundo: Reino Unido, Brasil, España.	151
6.2.3.1	<i>Entidades de apoyo a la Astronomía</i>	151
6.2.3.2	<i>Entidades para Astroingeniería</i>	153
6.3	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO LIGADOS A LA ASTRONOMÍA A NIVEL MUNDIAL.	158
6.3.1	Proyección de la astroingeniería en el mundo	158
6.3.1.1	<i>OECD</i>	159
6.3.1.2	<i>FRANCIA</i>	160
6.3.1.3	<i>SUIZA</i>	161
6.3.1.4	<i>CANADA</i>	161
6.4	ÁREAS CON POTENCIAL IMPACTO NACIONAL	163
6.4.1	Líneas con potencial de desarrollo en Chile	163

6.4.2	Condiciones para insertarse estas áreas.	164
7	ESTIMACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO	167
7.1	PRESENTACIÓN	167
7.2	METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO	170
7.3	OPORTUNIDADES DERIVADAS DEL USO DUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE FRONTERA EN ASTROINGENIERÍA	171
7.3.1	Ejemplos de casos en la experiencia internacional	172
7.3.2	Limitaciones para la estimación del impacto económico de las aplicaciones duales	175
7.3.3	Hipótesis de cuantificación del impacto en Chile de las tecnologías de uso dual	179
7.3.3.1	<i>Variables para la estimación</i>	181
7.3.3.2	<i>Impacto en un escenario intermedio</i>	184
7.3.3.3	<i>Impacto en un escenario bajo</i>	186
7.3.3.4	<i>Impacto en un escenario alto</i>	187
7.4	ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO NACIONAL	187
7.4.1	Volumen del mercado en términos de facturación bruta.	187
7.4.2	Impacto en la cadena productiva.	188
7.4.3	Activos intangibles para las empresas a partir de su participación en proyectos y servicios para los grandes observatorios.	190
7.4.4	Resumen: hipótesis de tamaño del mercado	192
8	CREACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE APOYO PARA EL DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA EN CHILE.	193

9	POLÍTICAS ESPECÍFICAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ÁREAS DE OPORTUNIDAD EN ASTROINGENIERÍA	199
9.1	ESTRATEGIA DE FOMENTO A NEGOCIOS TECNOLÓGICOS BASADOS EN USO DUAL DE ASTROINGENIERÍA	199
9.2	RECOMENDACIONES	202

ANEXOS E INFORMACIÓN DE SOPORTE

1	EMPRESAS VINCULADAS A SERVICIOS Y EQUIPAMIENTO PARA LA ASTRONOMÍA.	1
1.1	EMPRESAS A NIVEL MUNDIAL	2
1.2	EMPRESAS EN CHILE QUE PROVEEN SERVICIOS A LOS CENTROS ASTRONÓMICOS	44
1.3	LISTA DE ENTIDADES ACADÉMICAS EN CHILE QUE PROVEEN SERVICIOS A LOS CENTROS ASTRONÓMICOS	55
1.4	MUESTRA DE EMPRESAS NACIONALES	60
2	TURISMO ASTRONÓMICO EN CHILE.	98
2.1	Centros de astronomía en Chile.	100
2.1.1	Observatorios científicos	101
2.1.2	Observatorios Turísticos	102
2.1.3	Puntos de observación	104
2.2	Actividades y costos de los Observatorios Turísticos en Chile.	105
2.2.1	Costo de observaciones astronómicas turísticas.	106
2.2.2	Tarifa promedio de Tours astronómicos.	107
2.2.3	Precio promedio de cursos básicos de astronomía.	109
2.3	Atracción de Turistas Europeos	109
2.4	Ingresos por turismo	110
2.5	Iniciativas público – privadas para potenciar el turismo astronómico	112

3	INFORMACIÓN DE SOPORTE	114
3.1	EJEMPLO DE ESTRUCTURA DE UN SERVICE LEVEL AGREEMENT PARA CONTRATOS DE SERVICIOS DE UN OBSERVATORIO	114
3.2	30 BEST SMALL ELECTRONICS COMPANIES	116
3.3	Ejemplos de entidades y programas de fomento en la Unión Europea	118
3.3.1	Reino Unido	118
3.3.2	Francia	118
3.3.3	ESA (European Space Agency)	119
3.3.4	LOSTESC (Leveraging on Space Technologies to Enhance SMEs' Competitiveness)	121
3.3.5	Technology Transfer at ESO	122
3.4	MUESTRA DE ENTIDADES DE APOYO A LA ASTRONOMÍA	123
3.4.1	REINO UNIDO	123
3.4.2	BRASIL	127
3.4.3	ESPAÑA	132
3.5	LA ASTRONOMÍA CHILENA EN EL MUNDO	134
3.6	ESTUDIO SOBRE ASTRONOMÍA EN LATINOAMÉRICA	140
3.7	Astroingeniería	142
3.8	Astro-Informática	146
3.8.1	Proyectos en el mundo	146
3.8.2	Grandes Volúmenes de Datos Astronómicos: de Data-Driven a Data-Intensive	148
3.8.3	Minería de Datos (DM)/Aprendizaje de Máquina (ML)	153
3.8.4	Computación de Alto Rendimiento	154

3.8.5	Innovaciones en Descubrimiento y Ofrecimiento de Datos	159
3.8.6	Investigaciones de Tecnologías Emergentes	160
3.8.7	Infraestructura Computacional	164
3.8.8	Cambios Educativos.	164
3.8.9	Observatorio Virtual (VO)	166
3.8.10	Plataforma de alto rendimiento para análisis de datos de gran volumen.	169
3.8.11	Minería de datos e inteligencia computacional para extracción de información	171
3.9	Desafíos de I+D para los Datos a nivel de Petascale en el LSST	174
3.9.1	Temas de fiabilidad y rendimiento para BD muy grandes	174
3.9.2	Evaluación automatizada de calidad de datos eficiente	175
3.9.3	Control operacional y supervisión del DMS	175
3.9.4	Alcanzar Tasas aceptablemente bajas de alertas de Falsos Transientes	175
3.9.5	Detección eficiente y determinación de órbita para objetos del sistema solar	176
3.9.6	Alcanzar exactitud fotométrica y precisión requerida	176
3.9.7	Alcanzar exactitud astrométrica y precisión requerida	176
3.9.8	Alcanzar detección óptima de objetos y medida de forma de las pilas de imágenes	177
3.9.9	Necesidad de desarrollar un enfoque flexible que permita la clasificación sumamente confiable de objetos	177
3.9.10	Resintonía adaptativa del comportamiento del algoritmo	178
3.9.11	Necesidad de verificar la utilidad científica del esquema de BD del LSST y su implementación con queries realistas	178

3.10	Óptica Adaptativa	178
3.11	Casos de Desarrollo de Astroinformática en Chile	180
3.11.1	CONTROL Code Generation Refactoring	181
3.11.2	DocuShare customization, web spider	182
3.11.3	ACS Code Generation	183
3.11.4	Software Quality Assurance	184
3.11.5	Logging service for ACS based on DDS	184
3.11.6	Array scheduling problem in ALMA	185
3.11.7	Transporter and Antenna Scale Design	186
3.11.8	Artificial Intelligence for the Very Large Telescope	186
3.11.9	Generic State Machine Engine Project	186
3.11.10	Hevelius	187

1 LA ASTRONOMÍA

1.1 Astronomía en Chile

La mayoría de la superficie reflectora de telescopios profesionales del planeta se encontrará en nuestro país hacia el final de esta década, convirtiendo a Chile en el Telescopio de la Humanidad. Lo anterior no es coincidencia, sino que es posible porque las mejores condiciones para la astronomía se dan en nuestro desierto, el más seco del mundo junto a otros importantes factores.

1.1.1 Telescopio de la Humanidad

La investigación astronómica en Chile se inicia en 1847 con la llegada de una expedición de la armada de los Estados Unidos liderada por teniente James T. Gillis. La instrumentación de esta expedición fue comprada por el gobierno chileno para establecer el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) en 1852, uno de los primeros observatorios en Latinoamérica y quizá el más activo durante el siglo XIX. Su ubicación era el cerro Santa Lucía, un pedregoso cerro en las afueras de Santiago (figura 1). Entre los logros más importantes de sus primeros años se encuentra la correcta determinación de la posición del puerto de Valparaíso que desplazó el trazado de toda la costa occidental de Sudamérica.

En 1903 una segunda expedición norteamericana encabezada por William Wright llega a Chile y se instala en el cerro San Cristóbal. Posteriormente, estas instalaciones fueron compradas por un privado y donadas a la Universidad Católica. Actualmente este observatorio ha sido declarado Monumento Nacional.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Mientras tanto, escapando del crecimiento de la ciudad, las instalaciones del OAN fueron reubicados en la Quinta Normal, en Lo Espejo y finalmente en Cerro Calán, su emplazamiento actual. Varios instrumentos, incluyendo meridianos y dos telescopios refractores, se fueron agregando a su funcionamiento. En 1927, el OAN pasó a cargo de la Universidad de Chile.

En 1950, Federico Rutllant asume la dirección del OAN para liderar un importante cambio en el rumbo de la investigación astronómica en el país. En 1958 visita a Estados Unidos buscando alianzas e invitando la instalación de observatorios profesionales en Chile. En 1959, tras una alianza con la Institución Carnegie de Washington, se logra instalar el primer radiotelescopio en Maipú. Luego, varias expediciones al norte del país para medir condiciones meteorológicas determinaron las excepcionales condiciones para la astronomía en el desierto chileno. En 1967 se inaugura el primer telescopio en Cerro Tololo por parte de la Asociación de Universidades para la Investigación Astronómica en EEUU (AURA). También en 1967 se inaugura el telescopio Maksutov en el Cerro El Roble. En 1969 se inaugura las instalaciones del Observatorio Europeo Austral en La Silla y el Observatorio de la Institución Carnegie de Washington en el Cerro Las Campanas.

En las décadas posteriores, la excelente calidad para la astronomía de los cielos del norte de Chile continuó atrayendo la llegada de nuevos proyectos internacionales con la más moderna tecnología, estableciéndose en alguno de los cerros Tololo, La Silla o Las Campanas. En 1999 se inaugura las instalaciones de la ESO (European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere) en Cerro Paranal, mientras que en 2002 se inaugura el telescopio Gemini en Cerro Pachón. La organización ESO¹ es una organización intergubernamental que cuenta con 15 miembros: Austria, Bélgica, República Checa, Alemania, Finlandia, Francia, Dinamarca, Italia, Países Bajos, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y prontamente Brasil.

Académicamente, el primer departamento de Astronomía fue creado en 1965 en la Universidad de Chile, al alero del OAN, impartiendo desde sus inicios el grado de

¹ <http://www.eso.org>

Licenciatura. A pesar de que el segundo departamento de astronomía en Chile fue creado solamente en 1998, en el presente existen 8 universidades con centros astronómicos, los que combinados constan con más de 60 puestos permanentes de profesores, más de 100 alumnos en programa de pregrado y más de 50 alumnos en programa de postgrado.

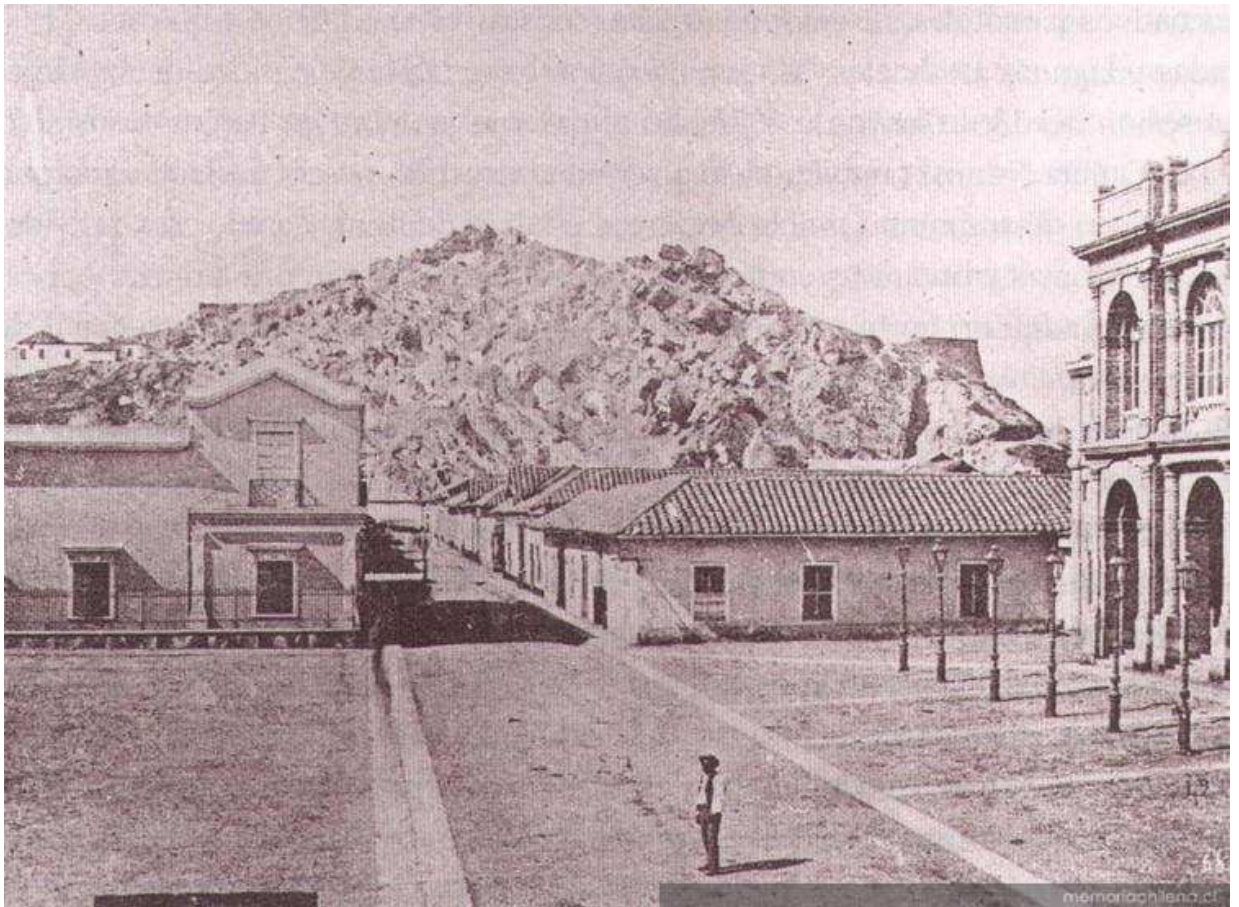


Figura 1.1: Vista del primer emplazamiento astronómico del país: el Cerro Santa Lucía previo a su remodelación en la década de 1870. Fuente: Colección Biblioteca Nacional (www.memoriachilena.cl)

1.1.2 Las mejores condiciones

Chile tiene excelentes condiciones para la astronomía porque el desierto de Atacama es un lugar extremadamente seco. Esta sequedad produce efectos muy favorables para la astronomía, entre ellos:

- Se minimiza la absorción que produce el vapor de agua en nuestra atmósfera. Las figuras 2 y 3 muestran que la transmisividad de nuestra atmósfera (porcentaje de la luz que logra atravesarla) es fuertemente influenciada por la cantidad de vapor de agua presente, especialmente en el infrarrojo mediano y en longitudes milimétricas.
- Aumenta el número de noches sin nubes por año. Típicamente, los sitios con observatorios profesionales en el norte de Chile tienen 300 o más noches utilizables por año.

La distorsión que la atmósfera produce en las imágenes es reducida. Esta distorsión, llamada *seeing* en términos técnicos, produce imágenes menos nítidas, más borrosas. El *seeing* se cuantifica como el ancho completo a media altura de una fuente puntual (estrella). Es común encontrar un *seeing* menor de 1" en los sitios de los observatorios profesionales. Este es un valor varias veces menor que en típicos lugares urbanos/rurales. En los distintos lugares que han elegido los observatorios, se observan distintas condiciones medioambientales y de observación astronómica. Además de la sequedad, los principales factores que afectan la calidad de los sitios son los patrones de viento o turbulencia y la altura. A modo de referencia, las figuras 4 y 5 resumen las condiciones encontradas en los últimos años en los observatorios de ESO.

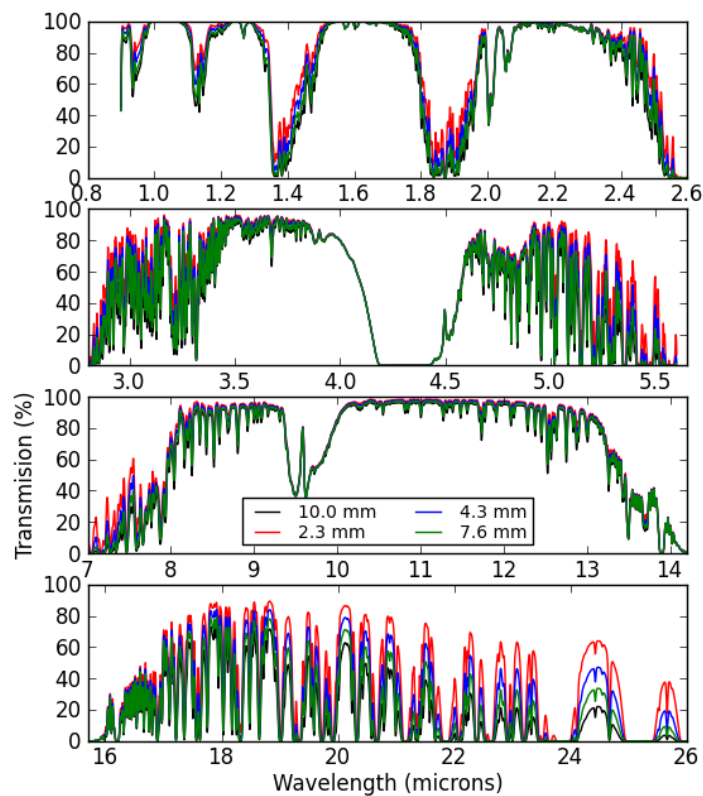


Figura 1.2: Transmisividad de la atmósfera (porcentaje de la radiación incidente del espacio que llega a la superficie terrestre tras atravesar la atmósfera) por unidad de longitud de onda para distintos valores de vapor de agua presente. El vapor de agua presente se mide como milímetros de agua precipitable. Fuente: Gemini Observatory (<http://www.gemini.edu/?q=node/10789>)

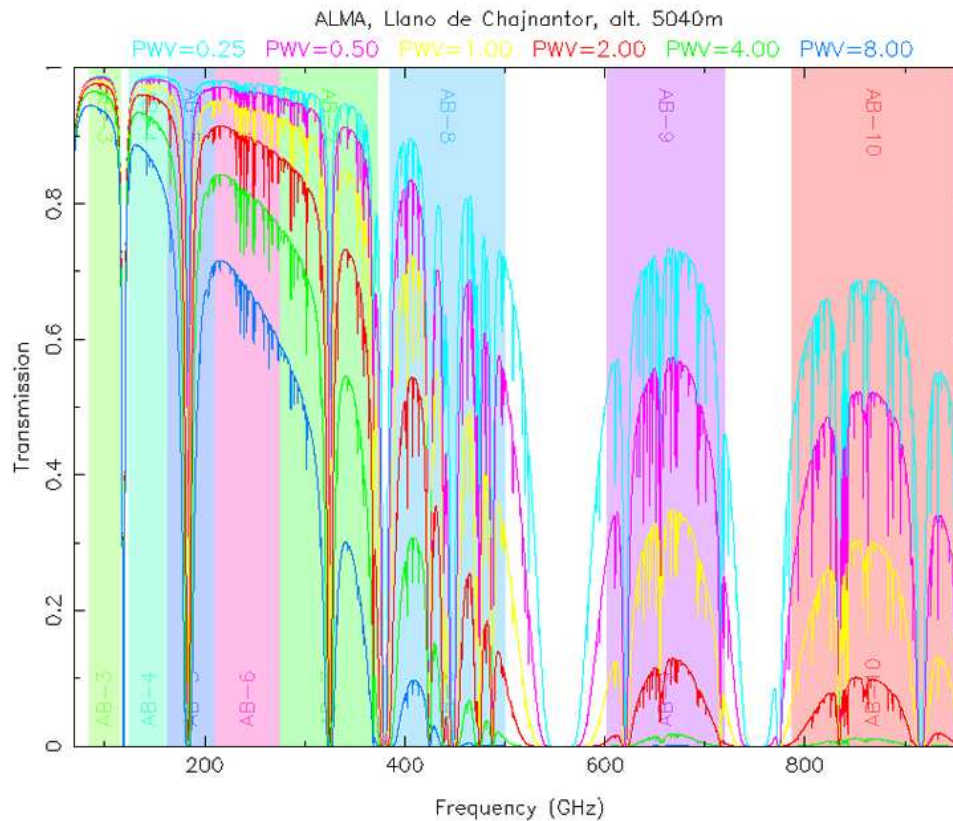


Figura 1.3: Transmisividad como en Figura 1.2 pero para mayores longitudes de ondas (sensibles para el telescopio ALMA). Fuente: NRAO (<https://almascience.nrao.edu/about-alma/weather/atmosphere-model>)

Los otros dos lugares del planeta con condiciones climáticas para la astronomía comparables con el desierto chileno, son en la cima del volcán extinto Mauna Kea (Islas de Hawái, EEUU) y en ciertos lugares de la Antártica. El primero es un sitio con un área muy pequeña (al compararse con el desierto chileno), pero es el mejor lugar explotado en el hemisferio Norte y en consecuencia muy necesario. Ciertos sitios en la Antártica también presentan excelentes condiciones, pero además de las obvias complicaciones logísticas y financieras, los sitios actuales de este continente presentan una capa turbulenta en las primeras decenas de metros que debe ser evitada para obtener las condiciones ideales.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

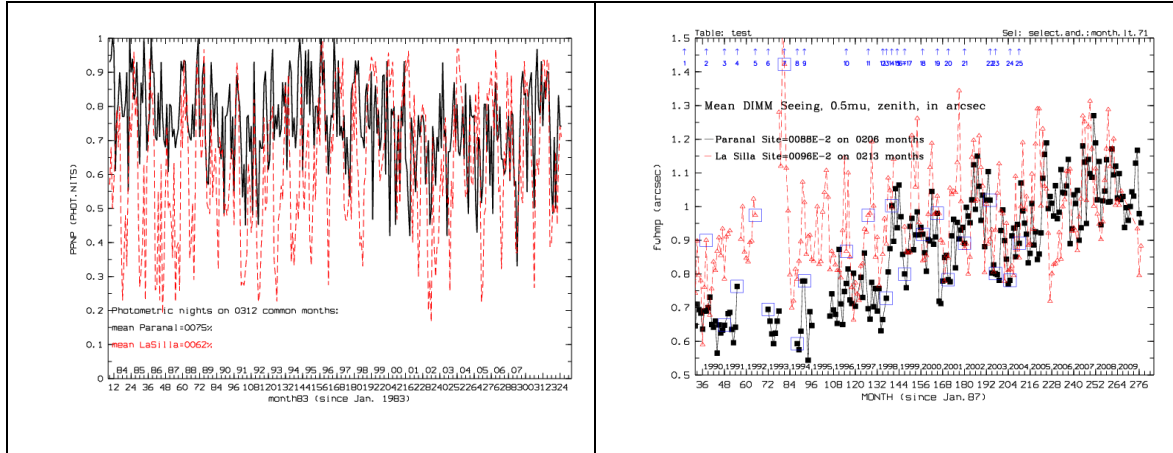


Figura 1.4: (Izquierda) Porcentaje de noches fotométricas (noches sin nubosidad) en Paranal y La Silla por mes desde 1984. En promedio, el 75% y 62% de las noches fueron fotométricas en cada cerro, respectivamente. (Derecha) *Seeing* promedio en cerros Paranal (negro) y La Silla (naranja) desde 1990. En Paranal el seeing ha ido empeorando continuamente hasta tener valores indistinguibles de La Silla, lugar en el que el seeing se ha mantenido mucho más similar en el tiempo. Fuente: European Southern Observatory (<http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/site/astroclimate.html>)

1.1.3 El más seco del mundo

Como se indicó en la sección anterior, la idoneidad del desierto chileno para la astronomía es debida en gran parte a su extrema sequedad. Esta situación excepcional se produce principalmente por dos coincidencias:

- Cercano a los 30° de latitud, se encuentran el límite descendente de las celdas Hadley y la de latitud media (Figura 1.6). Por lo tanto, el aire llega predominantemente seco a la superficie desde la tropopausa favoreciendo la formación de desiertos: Savana Africana, Outback Australiano y planicies Argentinas en el hemisferio sur; Sahara, desierto Árabe y desierto mexicano/estadounidense en el hemisferio norte.
- Las Cordilleras de la Costa y de los Andes producen una barrera natural a los vientos húmedos, los que son naturalmente secados al ser forzados a elevarse para pasar las cordilleras.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

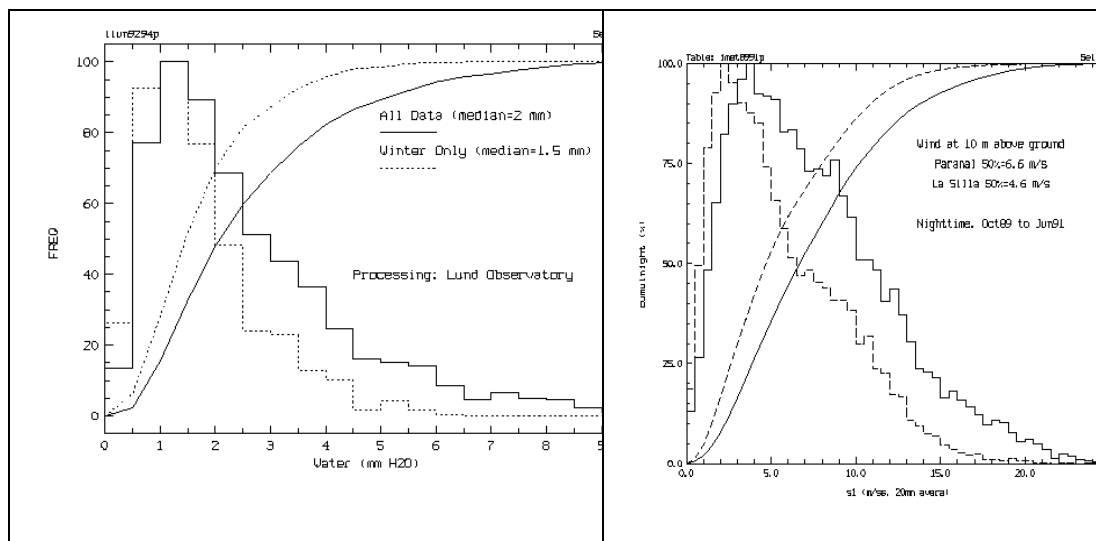


Figura 1.5: (Izquierda) Distribución de vapor de agua en Paranal: durante el invierno, las noches son más secas. (Derecha) Distribución de velocidad de viento en los sitios de la ESO: Paranal es más ventoso que La Silla. Fuente: European Southern Observatory (<http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/site/astroclimate.html>)

1.1.4 Otros Factores

Además de las ideales condiciones climáticas del Desierto de Atacama, el rápido posicionamiento de Chile como capital mundial de la astronomía también ha sido posible gracias a otros factores que deben mantenerse libres de amenazas.

- Estables condiciones en el país han dado seguridad para que las necesarias grandes inversiones puedan hacer planes en el largo plazo². Los observatorios no son transportables, por lo que la inversión se encuentra ligada a un emplazamiento geográfico.
- La contaminación humana puede afectar severamente las prístinas condiciones que el cielo del desierto posee. La clásica contaminación conocida como *smog* obviamente afecta la transparencia atmosférica, pero ese tipo de contaminación es raramente relevante en los aislados emplazamientos astronómicos en las cimas de cerros.

² La única excepción histórica a esta seguridad largo-placista fue el emplazamiento Ruso en el Cerro El Roble que debió abandonar el país en 1973.

Por otra parte, la contaminación lumínica es efectivamente la mayor preocupación para los observatorios (Figura 1.7). La antigua tecnología de ampollas incandescentes junto al masivo uso de luminarias y propagandas con intensidades desmesuradas y direccionamiento inadecuado es la principal amenaza del cielo nocturno. La ampolla incandescente emite (contamina) en un rango de frecuencias que va más allá del sensible a nuestros ojos; sin embargo, la tecnología moderna es capaz de disminuir de gran forma la contaminación innecesaria en longitudes de onda a los que nuestros ojos no son sensibles.

Varios de los emplazamientos astronómicos se encuentran por lo tanto en medio de una gran zona protegida, en las que se prohíbe o regula fuertemente las fuentes de contaminación lumínica como urbes, caminos, faenas mineras, entre otros. De forma equivalente, la observación radioastronómica requiere de legislación adecuada para proteger ciertas frecuencias de radioemisiones como teléfonos celulares, comunicación radial, y televisión.

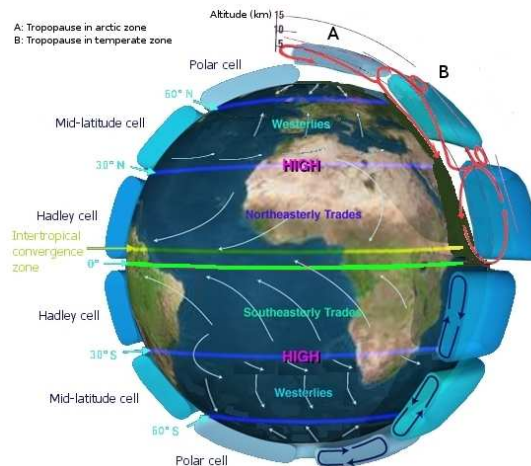


Figura 1.6: Modelo idealizado de la circulación general de la Tierra que produce tres celdas convectivas por hemisferio. Derechos de autor de imagen: Dominio Público (www.wikipedia.org)

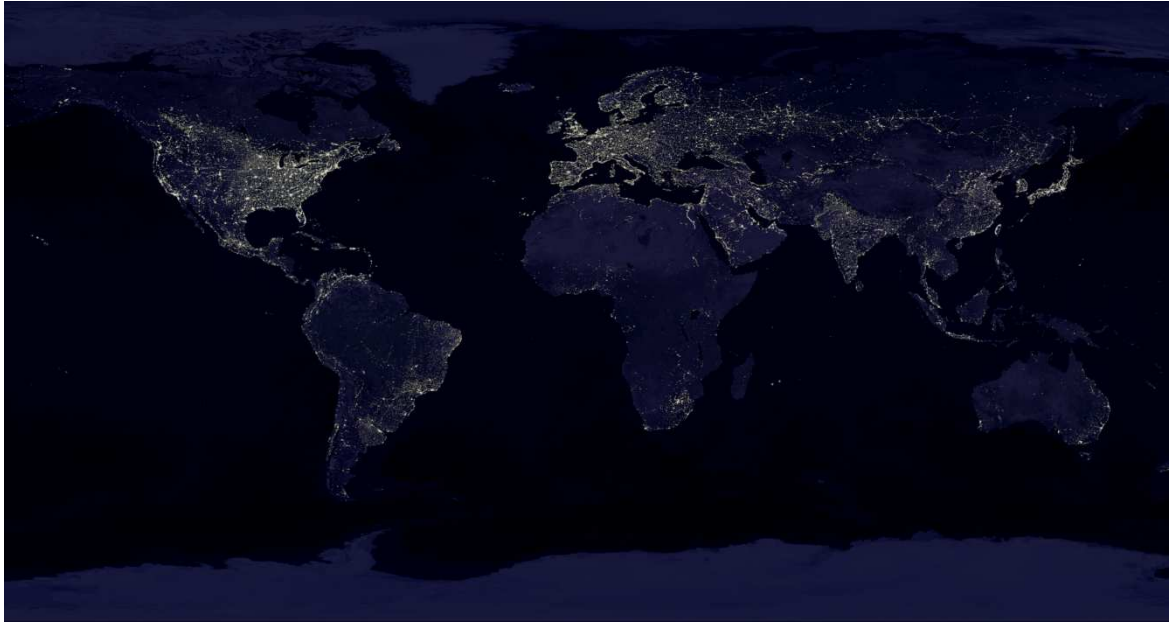


Figura 1.7: Imagen compuesta de las luces nocturnas compilado entre Octubre 1994 y Marzo 1995, cuando la iluminación de la Luna era débil. Fuente: NASA

La oficina de Protección de la Calidad del Cielo del Norte de Chile (OPCC³) apoya la regulación de la iluminación en el norte de Chile.

1.2 Infraestructura

En esta sección se resume la nomenclatura relevante de infraestructura astronómica.

1.2.1 Modos de Observación

Existen diferentes modos de observación científica. Típicamente, las noches son asignadas por concursos semestrales en que el astrónomo debe demostrar que solicita el instrumento adecuado para responder una inquietud científica relevante.

³ <http://www.opcc.cl>

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

1.2.1.1 Visitante

Este es el modo clásico de observación astronómica en que el científico para tomar sus datos se desplaza al observatorio donde se encuentra el instrumento de su elección. Generalmente, además del científico en cuestión, se encuentra presente un asistente de observación que maneja el telescopio bajo las indicaciones del astrónomo, así éste último se pueda enfocar en la adquisición de los datos sin preocuparse de los problemas técnicos que puedan presentarse. La presencia del asistente va a depender de la complejidad del manejo del telescopio y del presupuesto del observatorio. En general, todos los telescopios de clase 4 metros o mayores siempre tienen asistente.

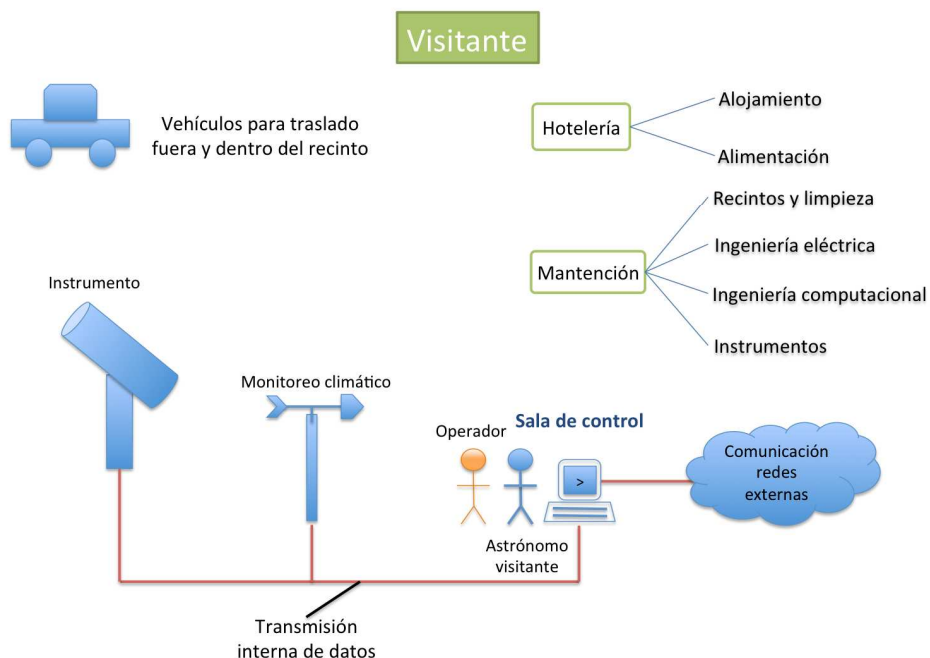


Figura 1.8: Requerimientos para los modos de observación Servicio y Visitante. Iconos naranjos indican requerimientos opcionales

Un beneficio importante de este método es que el científico tiene control total sobre su tiempo de observación con lo cual puede tomar decisiones para optimizarlo. En un modo como éste se necesita servicio de hotelería, de mantención, personal de apoyo y transporte (Figura 1.8). Es por lo tanto el modo de más alto costo para el observatorio

1.2.1.2 Con intervención remota

Existen dos posibilidades de observación con intervención remota del astrónomo:

- **Modo Remoto:** Esta modalidad consiste en utilizar un instrumento que posea un sistema de control remoto a través de conexión de red en tiempo real. Los sistemas de control están diseñados para recibir órdenes y entregar información a través de una conexión protegida de internet. Una característica importante para este tipo de observaciones es que se requiere una interfaz de usuario cómoda, fácil e intuitiva ya que no se tiene soporte técnico. Los beneficios de este modo son que cualquier persona del mundo puede utilizarlo sin necesidad de desplazarse, el astrónomo mantiene total control de la ejecución, el instrumento puede encontrarse en un lugar muy remoto sin que sea un inconveniente para el usuario y no se requiere de un servicio exclusivo de hotelería en el lugar (Figura 1.9). Pero esto impone condiciones específicas de conectividad del instrumento hacia el mundo externo, principalmente en materia de latencia (tiempo de respuesta de los enlaces), disponibilidad, operación continua, etc. No se puede correr el riesgo que un usuario dé una instrucción al instrumento y al segundo siguiente pierda conexión con éste.

- **Modo Servicio con contacto con el operador:** En este modo el astrónomo se conecta vía red al sistema de control de la cámara y a su vez se encuentra en contacto con un operador que se encarga de controlar los movimientos del telescopio según los requerimientos del mismo. De esta forma, a pesar de no estar el astrónomo en el lugar, tiene la posibilidad de tomar las decisiones y dar indicaciones al operador. El beneficio de esta posibilidad es que a pesar de no estar presente el astrónomo tiene mayor control sobre lo que ocurre durante su tiempo y el operador en terreno puede ser capaz de resolver problemas que se presenten durante la noche que necesiten una presencia física (Figura 1.8). En este modo también el componente de conectividad, ahora desde

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

la sala de control al mundo externo cobra relevancia, para mantener una comunicación efectiva y de calidad con el operador en sitio.

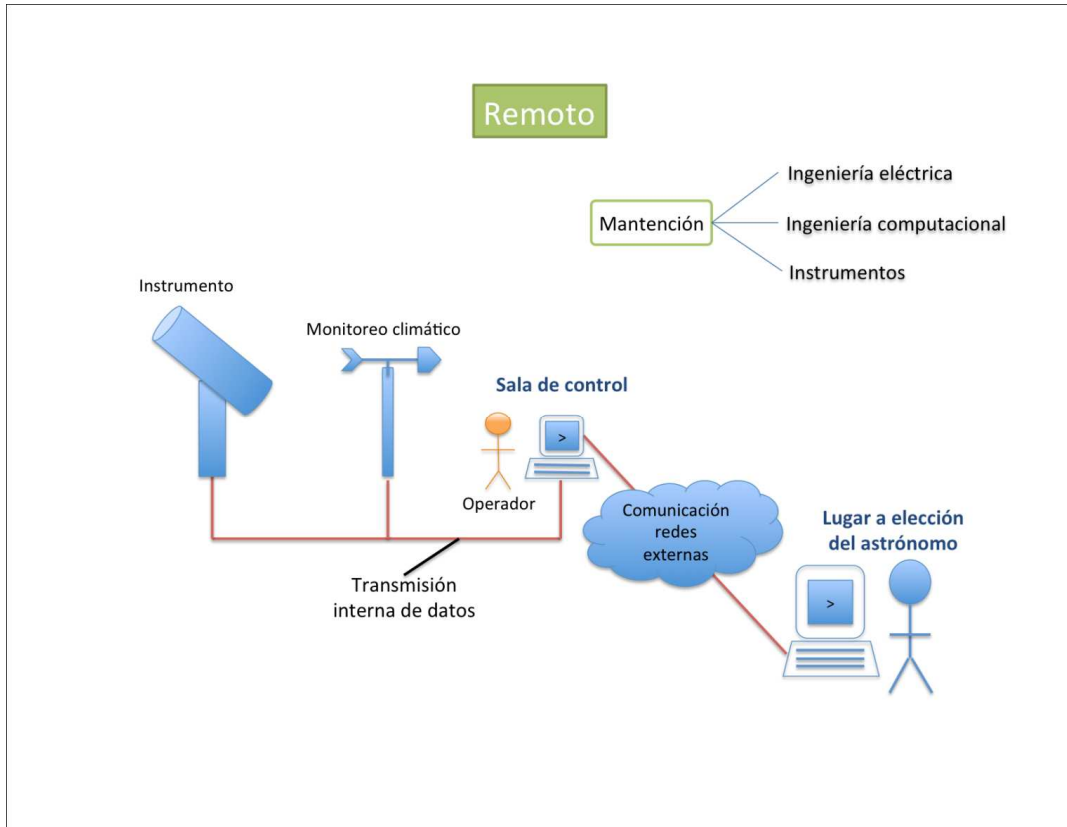


Figura 1.9: Requerimientos para el modo de observación Remoto. Iconos naranjos indican requerimientos opcionales

1.2.1.3 Sin intervención

En este caso el astrónomo no tiene contacto ninguno con el telescopio durante las observaciones. Lo que se hace es generar un plan de observación y éste se lleva a cabo sin poder realizar ningún cambio. Las observaciones se pueden llevar a cabo de los siguientes modos:

- **Modo Servicio sin contacto con el operador:** En este caso se utiliza generalmente lo que se conoce como cola de observación. Una vez que el tiempo de observación es distribuido se crea un calendario fijo con los requerimientos que fueron solicitados por los investigadores. El operador, posiblemente asistido por un astrónomo en turno de

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

servicio, entonces ejecuta únicamente lo que los requerimientos indican sin que pueda haber modificaciones. Posteriormente, los resultados son enviados a quienes lo solicitaron. El principal problema de este método es la falta de control sobre el tiempo de observación y su principal beneficio es que se optimiza el uso del telescopio ya que se minimizan las pérdidas de tiempo y se aprovechan las condiciones meteorológicas más adecuadas para los distintos proyectos.

- **Modo robótico:** Este modo consiste en tener un telescopio que funcione sin intervención humana alguna. Para ello se realiza un programa de observación y se le entregan al instrumento una serie de condiciones para su operación. El código para controlar un sistema como este es mucho más complejo ya que el mismo telescopio debe ser capaz de cerrar si el tiempo no es adecuado o de enfocar el objeto que está intentando observar entre otras muchas complicaciones. El beneficio de este modo es que siendo comandado por un buen algoritmo de observación la optimización del tiempo es máxima, los datos se reciben vía red y no es necesario que haya una persona que constantemente se encargue de que las observaciones funcionen. En este caso la conectividad también es un punto crítico porque es por un medio de comunicación (enlace) por el cual se le debe entregar la información al telescopio, pero a diferencia de los otros modos, en teoría este enlace no requiere grandes capacidades ni tiempos de respuesta, pero esto va a depender del algoritmo de control que se implemente. También es importante notar que en este modo no se requiere hotelería exclusiva y se puede ubicar al telescopio en lugares de difícil acceso (Figura 1.10).

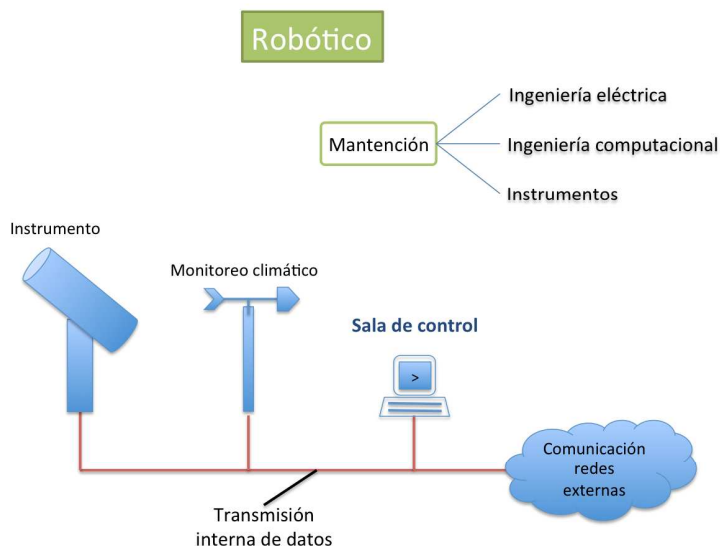


Figura 1.10: Requerimientos para el modo de observación Robótico. Iconos naranjos indican requerimientos opcionales

1.2.2 Tipos de observatorios

1.2.2.1 Astronomía óptica, NIR y MIR

La astronomía visible es el área de la astronomía que para estudiar el universo usa luz en una pequeña región del espectro electromagnético, coincidente en su mayor parte con la que el ojo humano puede detectar. Es la técnica más antigua de la astronomía. Las imágenes ópticas originalmente se dibujaban a mano y fue a fines del siglo XIX y la mayor parte del XX que se utilizaron placas fotográficas. Actualmente, se utilizan detectores digitales llamados CCD (dispositivo de carga acoplada).

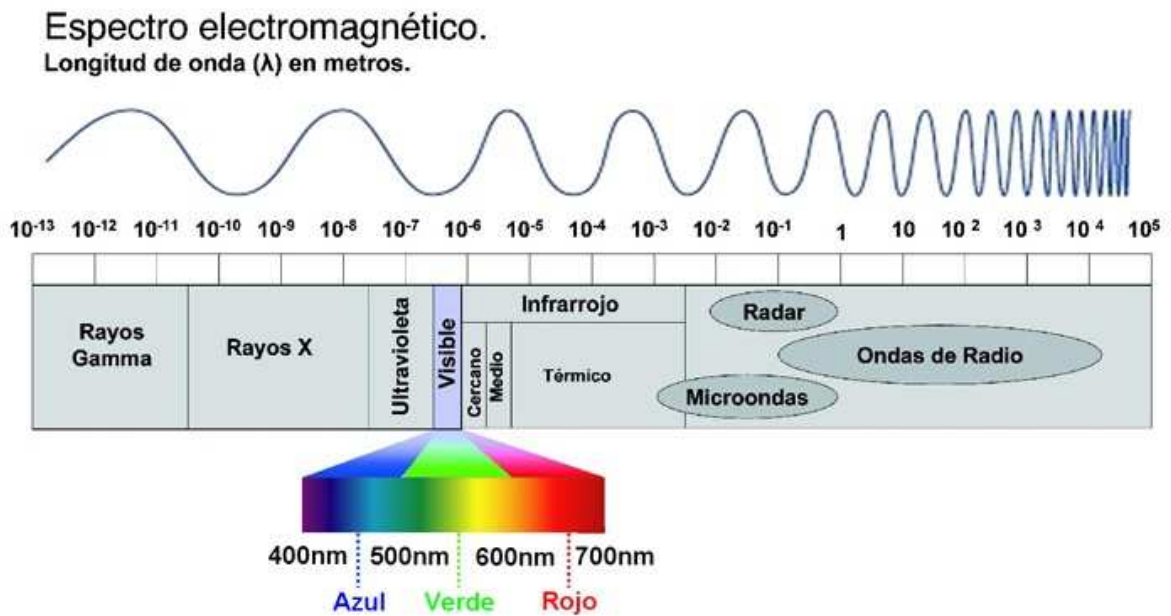


Figura 1.11: Divisiones del espectro electromagnético

El rango de longitudes de onda de luz visible cubre aproximadamente de 400nm a 700nm (Figura 1.11), el rango de astronomía infrarroja cercana (NIR) cubre aproximadamente de 700nm a $4\mu\text{m}$ y la de infrarrojo medio (MIR) de 5 a $40\mu\text{m}$. Los detectores para estos 3 tipos de luz tienen arreglos de multipixeles con tecnologías optimizadas para cada rango, siendo el visible el que tiene la tecnología más explorada. Los espejos para todos estos rangos son los mismos, excepto que se requiere un control termal más estricto para longitudes de onda más grandes. Es por ello que muchos telescopios ópticos también poseen instrumentos para rangos de longitud de onda dentro del NIR y del MIR.

1.2.2.2 Astronomía FIR o submilimétrica

La astronomía infrarroja lejana (FIR) o submilimétrica se encarga de detectar la radiación IR termal que tiene longitudes de ondas mayores que la luz visible y cubre un rango de $200\mu\text{m}$ a 1 mm aproximadamente. Este tipo de radiación es fuertemente absorbida por el vapor de agua de la atmósfera terrestre con lo cual los observatorios

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

IR deben encontrarse en lugares altos y secos o en el espacio. Este tipo de astronomía se utiliza para detectar objetos que son demasiado fríos para emitir en el óptico.

Los detectores para radiación submilimétrica son llamados bolómetros y consisten en fotodetectores semiconductores o superconductores cuya resistividad eléctrica depende de la temperatura. El absorbente (semiconductor o superconductor) recibe la radiación y se mide con mucha precisión su variación de temperatura. Responde de igual forma a todas las longitudes de onda que absorbe y es por lo mismo que el uso de filtros que limiten el rango de longitudes de onda es necesario.

Dado que la mayor parte de la radiación de objetos de ~100 grados Kelvin se emite como radiación termal en el rango IR estos telescopios deben estar muy bien aislados del entorno.

1.2.2.3 Radio astronomía

El rango de longitudes de onda a las que se dirige la radio astronomía es mayor a 1mm. No se encuentran instrumentos con estas características en Chile, con lo cual cuando hablamos de radio astronomía refiriéndonos a observaciones nacionales nos referimos a submilimétrico y milimétrico ya que la forma de observación es la misma. Para poder detectar radiación de estas características se necesitan grandes interferómetros y antenas de grandes diámetros como el radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico con 305 metros de diámetro.

1.2.3 Telescopios

1.2.3.1 Monturas

Una montura es una estructura mecánica que sostiene el telescopio y a su vez permite su movimiento controlado. Sin duda, los dos primeros son los más utilizados:

– **Montura altacimutal:** Este tipo de montura (Figura 1.12) realiza movimientos a través de ejes horizontal y vertical. El horizonte (acimut) se divide en grados (0° a 360°, desde el Norte hacia el Este) y la altura también en grados (0° a 90°, desde el horizonte

al cenit). Al ser coordenadas locales y debido a la rotación terrestre, ambas la altura y el acimut de un astro cambian de momento a momento. Los algoritmos para predecir todas estos cambios están bien establecidos, pero previo a la era digital era impensable utilizar este tipo de monturas.

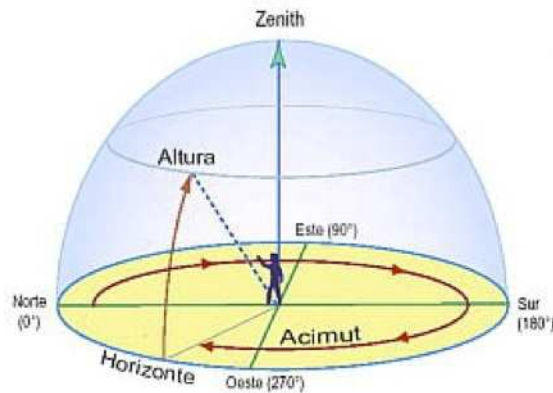


Figura 1.12: Movimiento de montura altacimutal

- **Montura ecuatorial:** Estas monturas utilizan como plano fundamental el ecuador celeste (Figura 1.13), utilizando ejes que siguen el movimiento de la ascensión recta (R.A., por sus siglas en inglés) y declinación (Dec.), que son las coordenadas sobre la esfera celeste análogas de las coordenadas terrestres longitud y latitud, respectivamente. Dado que la montura ecuatorial permite contrarrestar el movimiento de rotación terrestre con el movimiento de un solo eje, fue la preferida durante siglos. Tan solo recientemente, para telescopios de gran peso, se prefiere la montura altacimutal.

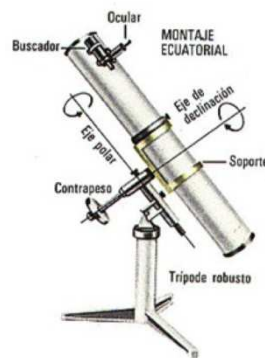


Figura 1.13: Movimiento de montura ecuatorial

– Algunos telescopios no tienen montura, por lo que solo apuntan en una dirección fija y dejan que la Tierra se mueva para mirar distintos objetos. Esta modalidad se usa para telescopios extremadamente grandes o porque su objetivo científico así lo permite. Algunos ejemplos son los radiotelescopios de Arecibo en Puerto Rico con 305 metros de diámetro, RATAN-600 en Rusia con 576 metros de diámetro.

1.2.3.2 Concentrando Fotones

La potencia de un telescopio se define principalmente por la cantidad de fotones que es capaz de recibir por unidad de tiempo, es decir proporcional al área recolectora de la superficie primaria. Esta superficie generalmente es de forma paraboloide (Figura 1.14). Esta superficie primaria luego redirecciona los fotones a través de un camino óptico⁴ por una o más superficies secundarias en dirección al detector. La curvatura, convexidad y cantidad de espejos dependen de los requerimientos de cada telescopio. El material con que se construye la parábola depende de la longitud de onda que se necesita observar, el tamaño de la parábola que se requiere construir, la flexibilidad que se busca y la respuesta a diferentes temperaturas, entre otros factores. Algunos materiales utilizados son: pyrex, berilio, titanio, aluminio, cuarzo con silicona y

⁴ Camino óptico es un término genérico que se utiliza para indicar el trayecto de fotones dentro de un telescopio. Su uso no está limitado a fotones ópticos.

pyroceram entre otros⁵.

Para aquellas superficies de mayor peso, que inevitablemente se deformaran a medida que se apunte a distintas posiciones del cielo, se invento el sistema de óptica activa. Cada vez que se apunta a una nueva posición, se busca a través de un sistema de retroalimentación, como deformar la superficie primaria para que su forma vuelva a ser una parábola. Esta deformación se logra a través de actuadores: como referencia cada espejo del VLT (8m de diámetro, 17cm de grosor y 22 toneladas de peso) posee 150 actuadores que lo deforman.

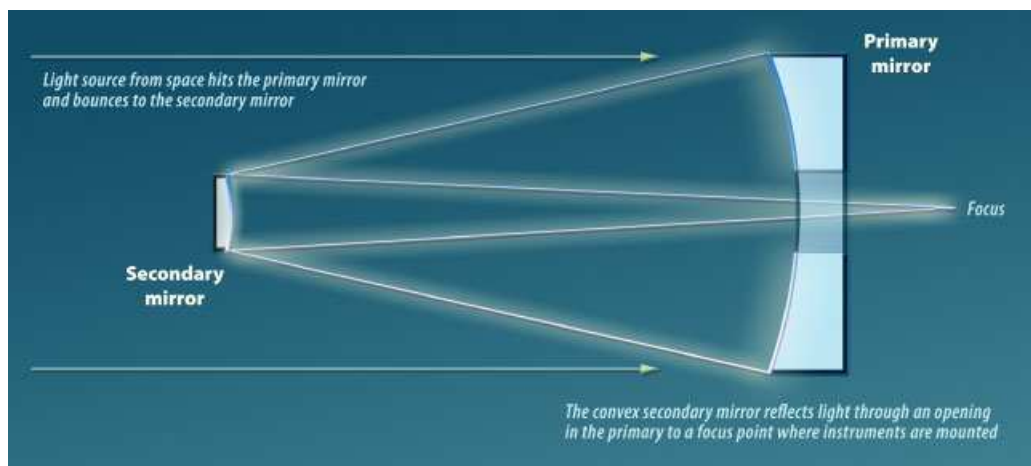


Figura 1.14: La luz llega al espejo primario parabólico y después al secundario y finalmente llega al detector enfocada Fuente: <http://ifa.hawaii.edu>.

Los espejos para longitudes ópticas/IR suelen estar fabricados de vidrio de borosilicatos o similares, pero existen incluso aquellos de mercurio líquido. De espejos de una sola pieza se ha pasado a utilizar espejos segmentados que facilitan la precisión durante su creación. Lo que define finalmente la calidad del espejo es el recubrimiento de la capa reflectante. Los materiales más utilizados para la capa reflectante son el aluminio, el cuarzo, la plata y el oro. El proceso de recubrimiento se repite anualmente o cada cierto número de años, ya que se degrada debido a polvo, polen, humedad y otros contaminantes. El método más utilizado para llevar a cabo este

⁵ Más información en Telescopes Gerard P. Kuiper y Barbara M. Middlehurst.

proceso de recubrimiento, consiste en colocar el espejo primario al interior de una cámara de vacío (del orden de 10^{-6} torr) para luego depositar el material reflectante por evaporación. Las técnicas más modernas incluyen cámaras de ionización para aplicar la película reflectante en el sustrato de vidrio así como métodos de evaporación termal o evaporación a través de haz de electrones.

Para observaciones en longitudes mayores se utilizan antenas cuyas superficies son manufacturadas de material conductor. Las antenas tienen el beneficio de que su superficie no es tan delicada como los espejos por lo que no necesitan albergarse al interior de ningún lugar. La precisión en la forma de la superficie en los radiotelescopios más modernos es mayor que $25\text{ }\mu\text{m}$.

DETECTORES

Los detectores ópticos e infrarrojos se dividen en dos categorías: termales y fotodetectores. De estos detectores la única información que se obtiene es la amplitud ya que la fase de la onda no es reconocible a través de estos métodos. Los detectores termales detectan la radiación a través del aumento de temperatura que genera la misma sobre un elemento sensible a estos cambios. Estos últimos suelen ser menos sensibles que los fotodetectores pero responden a un rango mayor de longitudes de onda, un ejemplo de este tipo de detectores son los bolómetros. Entre las tecnologías fotodetectoras están aquellos en los cuales los fotones interactúan directamente con los electrones del detector a través del efecto fotoeléctrico (como los CCD), o aquellos que presentan un cambio de conductividad con la intensidad de la iluminación que reciben por lo que para detectar la radiación se monitorea la variación de la corriente (fotoconductores). Muchos materiales pueden ser utilizados para este tipo de detectores.

Como mientras más caliente sea un cuerpo, más fotones y a menores longitudes emite, es necesario enfriar el detector para reducir la corriente oscura. Típicamente, en el óptico y el infrarrojo cercano -- NIR -- se utiliza nitrógeno (77K), en el infrarrojo medio -- MIR -- helio líquido (4K) y en el infrarrojo lejano -- FIR -- se requieren temperaturas tan bajas como 100mK. Asimismo, el detector debe estar protegida de la humedad para evitar que la misma se empañe. Los detectores utilizados generalmente son

fotoconductores para NIR y MIR y bolómetros para FIR.

La detección de señales de radio tiene dos etapas, primero un sensor produce una señal eléctrica y después es procesada. Para todo el rango de radio hay detectores coherentes (que mantienen la información de la fase). En el rango de MHz el sensor suele ser un dipolo colocado directamente en el foco del telescopio. En el rango GHz o mayor frecuencia (es decir menor longitud de onda) se utiliza un dispositivo superconductor-aislante-superconductor (SIS). En un detector de este tipo un electrón en un superconductor absorbe un fotón entregándole al electrón suficiente energía para pasar a través de la barrera aislante hacia el otro superconductor, lo que produce un electrón por cada fotón. La señal es entonces transferida al receptor cuya labor es convertir la alta frecuencia de la corriente a una forma conveniente, generalmente se disminuye su frecuencia y después se digitaliza (Figura 1.15). Más detalles sobre detectores en *Astronomical Techniques* de W.A.Hiltner.

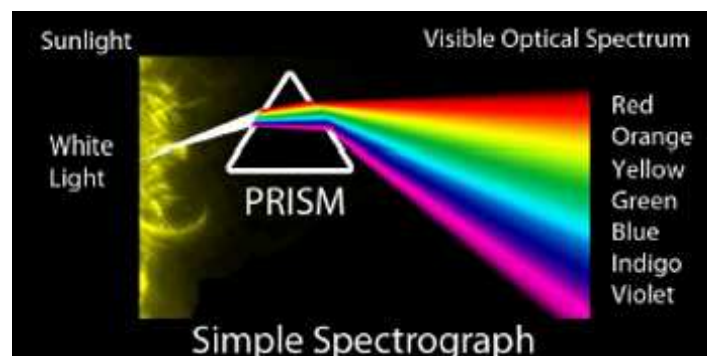


Figura 1.15: Esquema de un espectrógrafo simple de prisma. La luz blanca llega al prisma y se separa en un espectro. Fuente: <http://spacegrant.montana.edu>

ESPECTROSCOPÍA

Los espectroscopios o espectrógrafos son unidades que se colocan en el camino óptico de los fotones de forma que en distintas ubicaciones del detector se reciba distintas longitudes de onda. Más información en *Observational Astronomy* de D.Scott Birney, Guillermo González y David Oesper. Los espectrógrafos se basan en los principios físicos interferencia o de refracción diferenciada. Típicamente, un

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

espectrógrafo consiste de una rendija que deja pasar sólo un haz de luz que luego es dispersada por un prisma (Fig. 15), grilla, o una combinación de estos. Un problema importante es que la imagen del objeto puede ser ensanchada por la turbulencia atmosférica hasta un tamaño varias veces el ancho de la rendija, con lo cual solo una pequeña porción de la luz emitida por el objeto entra en la rendija. Más información en *Astronomical Optics* de D.J.Schroeder.

Existen también instrumentos para obtener espectros de varios objetos a la vez llamados multi-objeto. Lo que se hace en este caso es colocar varias rendijas, cada una sobre un objeto de interés, y a cada rendija se le acopla una fibra óptica o un sistema de espejos que transporta la luz para que siga el proceso ya antes mencionado.

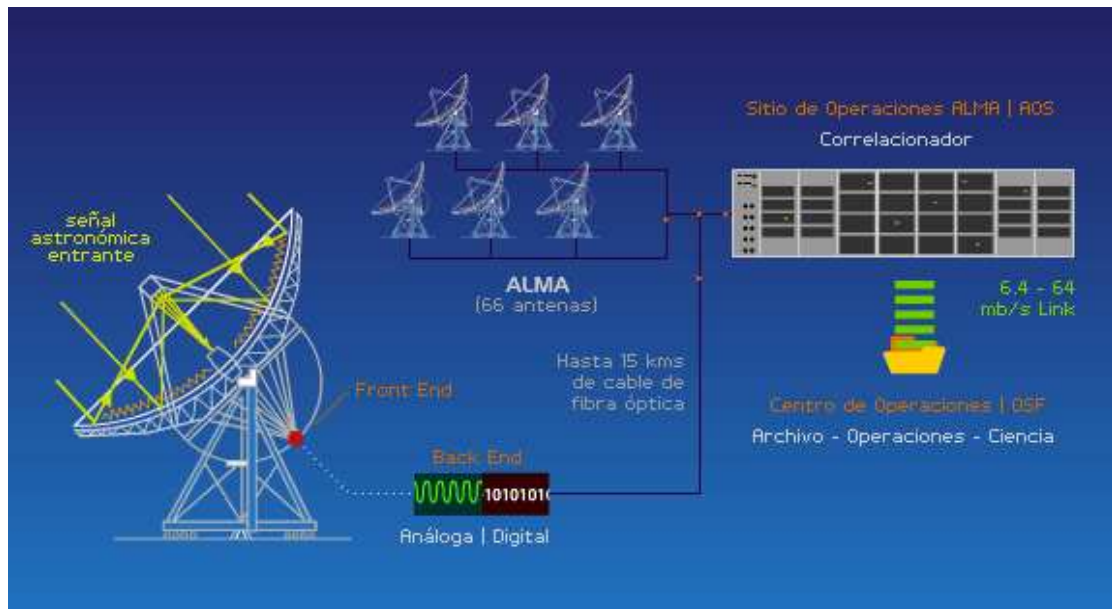


Figura 1.16. Esquema del trayecto que sigue una señal astronómica captada por una antena de ALMA. En un primer momento, la señal es recibida por la antena y enviada al *frontend* donde se reduce su frecuencia. Luego la señal es digitalizada por el *backend* y transmitida por fibra óptica hasta el edificio central, donde el correlacionador combina la señal de todas las antenas. ALMA es controlada desde el Centro de Operaciones (OSF, por su sigla en inglés), donde se recibe, procesa y almacena la información.

Fuente: <http://www.almaobservatory.org>

INTERFEROMETRÍA

La interferometría es una técnica utilizada en astronomía que consiste en combinar la luz proveniente de diferentes receptores, telescopios o antenas de radio para obtener una imagen de mayor resolución. Esta técnica se utiliza especialmente en radioastronomía, siendo más difícil su implementación en longitudes de onda más corta dado que es primordial conocer el camino recorrido por la señal con una precisión varias veces menor que la longitud de onda observada. En todos los casos el principio físico utilizado es que dos ondas de luz que coinciden en fase se amplifican mientras que dos ondas en oposición de fase se cancelan, existiendo también cualquier combinación intermedia. Para longitudes de onda óptica y visible (como el VLTI) la luz se interfiere directamente, mientras que en el caso de observaciones de radio, la señal de cada una de los instrumentos es reducida de frecuencia, digitalizada y transmitida por fibra óptica hasta un correlacionador que combina las señales de todos los instrumentos (Figura 1.16).

En Chile se encuentra el proyecto hasta el momento más ambicioso de interferometría submilimétrica, el proyecto ALMA en el llano de Chajnantor.

DOMOS

Cualquier telescopio óptico/IR necesita que sus partes sean protegidas por una estructura externa. Tradicionalmente esto ha tomado la forma de un domo semiesférico con una abertura por donde el telescopio puede observar. El domo debe girar para que el telescopio pueda mirar a cualquier parte del cielo y la abertura debe poder cerrarse para proteger completamente el telescopio durante el día o cuando el clima no permite observaciones. Un problema que generan estas estructuras es el calentamiento al interior, y corrientes de aire que se puedan producir mientras está abierto que deterioran la calidad de la señal. Actualmente, se les adiciona a los domos sistemas de ventanas laterales que permiten que la temperatura exterior e interior sean lo más parecidas posibles para que no se produzca turbulencia en la interfaz.

CONTROL

El control del telescopio se divide en dos partes: control del movimiento del telescopio y del domo, y control del detector. Ambos son sistemas independientes pero que deben

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

estar en contacto. El control del movimiento del telescopio se encarga de la parte mecánica de apuntar el telescopio al lugar deseado y al domo con la abertura alineada con el telescopio. El control del detector por otra parte entrega las órdenes para las observaciones como el tiempo de exposición, el filtro, etc. Este sistema debe poder obtener información del control del telescopio ya que a cada dato que se obtiene se le asocia información como las coordenadas a las que se están observando, la hora exacta, etc. Además se tiene un sistema de foco que es independiente a los ya mencionados. Tanto el sistema de control de telescopio como el sistema de control del detector son computacionales, por otra parte, el sistema de foco puede ser un simple sistema mecánico (Figura 1.17).

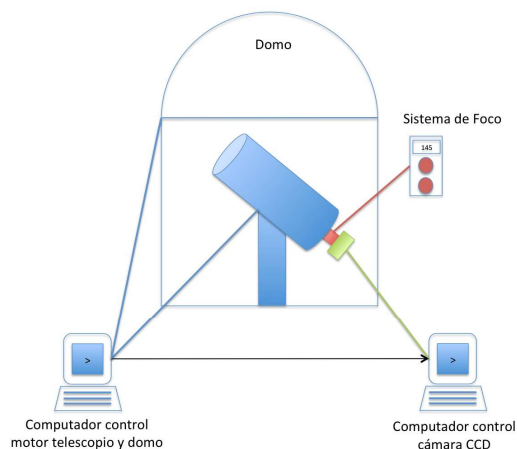


Figura 1.17. El sistema de control se divide en dos partes principales: control del telescopio y control del detector, ambos deben estar comunicados. Además se requiere un sistema de foco

SOPORTE / RECURSOS HUMANOS

Como ya se ha mencionado anteriormente dependiendo del modo de observación utilizado se requieren diferentes servicios y soportes. Los distintos servicios e importancia relativa de cada uno varía de observatorio a observatorio, pero los más básicos son:

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- **Hotelería:** se debe entregar alojamiento y alimentación al personal permanente del telescopio y a los astrónomos visitantes. También se requiere de mantención y limpieza de las instalaciones.
- **Logística:** dado que los telescopios suelen estar en lugares alejados se debe tener un sistema para hacer llegar todos los insumos necesarios así como comida, agua, etc.
- **Mantención:** se debe tener mantención mecánica, eléctrica, informática y otros dependiendo de la instalación.
- **Transporte:** para que tanto el personal como los astrónomos puedan llegar a las instalaciones se requiere de un servicio coordinado de transporte que dependiendo de las instalaciones tiene diferentes sistemas pero suele ser diario excepto en feriados y fines de semana donde se entregan servicios extraordinarios.
- **Recursos Humanos:** la administración de todos los recursos humanos es importante, aunque no necesariamente deben encontrarse en el observatorio mismo. Los observatorios suelen tener oficinas en las ciudades cercanas a las instalaciones.
- **Conectividad:** Conectividad. Independiente del modo de observación, los telescopios, sobre todo los telescopios en implementación y más aun los futuros, requieren contar con una robusta conectividad tanto para la operación como para la transmisión de datos. En términos generales esta conectividad se establece entre el Telescopio y el Centro de Operaciones, ubicado en las cercanías del telescopio, y desde el Centro de Operaciones a los repositorios de datos y a distintas herramientas y catálogos online.

1.3 Observatorios Profesionales en Chile

1.3.1 Presente

Esta sección describe los distintos sitios de emplazamiento de instalaciones astronómicas instalados actualmente ordenados por su tamaño de mayor a menor.

ALMA El *Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array* (ALMA⁶) es un arreglo de radiotelescopios que se encuentran en el Llano de Chajnantor en el desierto de

⁶ <http://www.almaobservatory.org>

Atacama, dentro de la zona protegida *Parque Astronómico de Atacama* bajo los auspicios del Programa de Astronomía de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT). Su ubicación a 5000 metros de altura es crucial para las observaciones en este rango de longitudes de onda ya que se requiere de bajos niveles de vapor de agua. Está compuesto por 54 antenas de 12 metros de diámetro y 12 antenas de 7 metros de diámetro. Desde 2011 se encuentra operando en modo de *Ciencia Temprana* con un número reducido de antenas, gradualmente se irán incorporando el resto de las antenas hasta que el arreglo sea completado en los próximos años.



Figura 1.18: 19 antenas de ALMA sobre el Llano de Chajnantor (<http://www.almaobservatory.org>).

ALMA es una colaboración internacional entre Europa, América del Norte, Asia del Este y Chile. Se trata del proyecto más caro de telescopio terrestre hasta el momento. ALMA es financiado en Europa por la Organización Europea para la Investigación Astronómica en el Hemisferio Sur (ESO), en Norteamérica por la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (NSF) en cooperación con el Consejo Nacional de

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Investigaciones de Canadá (NRC) y el Consejo Nacional de Ciencia de Taiwán (NSC) y en Asia del Este por los Institutos Nacionales de Ciencias Naturales (NINS) de Japón en cooperación con la Academia Sínica (AS) en Taiwán. La construcción y operación 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. La administración del tiempo de observación Chileno es responsabilidad de la Universidad de Chile (dos tercios) y Conicyt (un tercio).

La fabricación de las antenas está siendo llevada a cabo por los socios de ALMA que deben cumplir las estrictas especificaciones técnicas. ESO ha encargado 25 antenas de 12 metros a AEM Consortium (formado por Alcatel Alenia Space France, Alcatel Alenia Space Italy, European Industrial Engineering S.r.L. y MT Aerospace), y tiene la posibilidad de pedir 7 más. Los socios norteamericanos hicieron el mismo pedido a Vertex RSI, mientras las 4 antenas de 12 metros más las 12 antenas de 7 metros que constituyen el Conjunto Compacto Atacama (ACA, en su sigla en inglés) han sido encargadas por el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ) a MELCO (Mitsubishi Electric Corporation)

Sin duda serán muchas las sorpresas que nos deparan los datos de ALMA, pero hay tres áreas en las que se esperan importantes avances: (1) el estudio de las primeras estrellas y galaxias que surgieron de las “épocas oscuras” cósmicas hace miles de millones de años, (2) revelar los detalles de estrellas jóvenes y planetas que aún se encuentran en formación, y por último (3) aprender en detalle acerca de la química compleja de las nubes gigantes de gas y polvo.

El funcionamiento de ALMA es interferométrico y presenta múltiples desafíos de precisión. Las 66 antenas deben apuntar al mismo exacto lugar, la sincronización de toda la electrónica de cada una de las antenas debe tener una precisión de una millonésima de segundo, y el camino recorrido en las fibras por la señal astronómica, desde su llegada a cada antena hasta que es combinada en el computador central

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

(llamado correlacionador), debe ser conocido con una exactitud menor al diámetro de un cabello humano (del orden de 1 micrón). Otro problema es reducir la posible atenuación y perturbación que sufre la señal desde que toca cada antena, hasta ser digitalizada y transmitida por varios kilómetros de fibra óptica hacia el computador central. Asimismo, para ayudar en la corrección telúrica que deben enfrentar todos los observatorios terrestres, se utilizarán modelos atmosféricos sofisticados, 7 estaciones de monitoreo de condiciones climáticas y radiómetros para medir la cantidad de vapor de agua presentes en la línea de visión de cada antena.

La posibilidad de desplazar las antenas es una de las características que hacen de ALMA un telescopio tan potente. Cada antena pesa más de 100 toneladas, por lo que se necesitan vehículos especiales para desplazarlas por los 28 kilómetros que separan el Centro de Operaciones (OSF), a 2.900 metros de altitud, y el llano de Chajnantor, situado a una altitud de 5.000 metros, así como para reubicarlas en el mismo llano. ALMA utilizará dos camiones gigantes con estas características: Otto y Lore. Cada uno tiene 20 metros de largo, 10 metros de ancho y 6 metros de alto, y se desplaza sobre 28 llantas. Su peso sin carga asciende a 130 toneladas cada uno. Cada camión está equipado con dos motores diesel de aproximadamente 700 caballos y dos tanques de 1.500 litros. Estos camiones serán capaces de posicionar las antenas con una precisión milimétrica sobre las plataformas.

Very Large Telescope (VLT) El *Very Large Telescope array* (VLT⁷) es el instrumento óptico más avanzado hasta el momento, fue construido y es operado por el observatorio ESO. Consta de cuatro telescopios con espejos primarios de 8,2 metros de diámetro y cuatro telescopios móviles auxiliares de 1,8 metros de diámetro. Los telescopios primarios llamados Antu, Kueyen, Melipal y Yepun pueden trabajar de forma individual o conjunta. Cuando trabajan juntos generan el gran interferómetro VLTI (*Very Large Telescope Interferometer*) lo que permite a los astrónomos ver detalles con 25 veces más resolución que con los telescopios trabajando de forma individual. Los rayos de luz se combinan en el VLTI mediante un complejo sistema de

⁷ <http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt.html>

espejos en túneles donde los caminos de luz deben mantenerse de la misma longitud con una precisión menor a 1 micrómetro.

Estos telescopios son de montura altacimutal y se encuentran emplazados en Cerro Paranal a 2635 metros de altura. Los instrumentos del VLT incluyen cámaras de gran campo de visión, guiage laser, óptica adaptativa y espectrógrafos así como espectrógrafos de alta resolución y multi-objeto cubriendo una gran región espectral desde el ultravioleta (300nm) hasta el infrarrojo medio (24 μm).



Figura 1.19. Vista de los cuatro telescopios principales del VLT y de los cuatro telescopios auxiliares (<http://www.eso.org>).

Los telescopios principales son albergados en edificios compactos, térmicamente controlados que rotan de forma sincronizada con los telescopios. Este diseño minimiza cualquier efecto adverso de las condiciones de observación por ejemplo la turbulencia del aire. Los telescopios principales son generalmente utilizados para observaciones utilizándolos de forma individual ya que las observaciones interferométricas están limitadas a algunas noches por año. En cambio, los telescopios auxiliares no son

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

nunca utilizados de forma individual sino que únicamente en las noches aginadas para uso interferométrico son utilizados para permitir el funcionamiento del mismo.

Los telescopios auxiliares se albergan en una estructura redondeada formada de seis segmentos que se pueden abrir y cerrar. Su labor es proteger al telescopio del polvo y de las pocas lluvias del lugar. La estructura redondeada es soportada por una base móvil cuadrada que a su vez contiene el equipamiento electrónico, el sistema de líquido refrigerante, las unidades de aire acondicionado y energía. Durante las observaciones astronómicas la estructura y la base móvil son aisladas mecánicamente del telescopio para que las vibraciones no afecten a los datos obtenidos. Las bases móviles se mueven sobre rieles que permiten que los telescopios auxiliares se puedan colocar en 30 posiciones diferentes y así poder ajustar el interferómetro a las necesidades de las observaciones.

Los VLT pueden ser controlados en modo visitante o servicio.

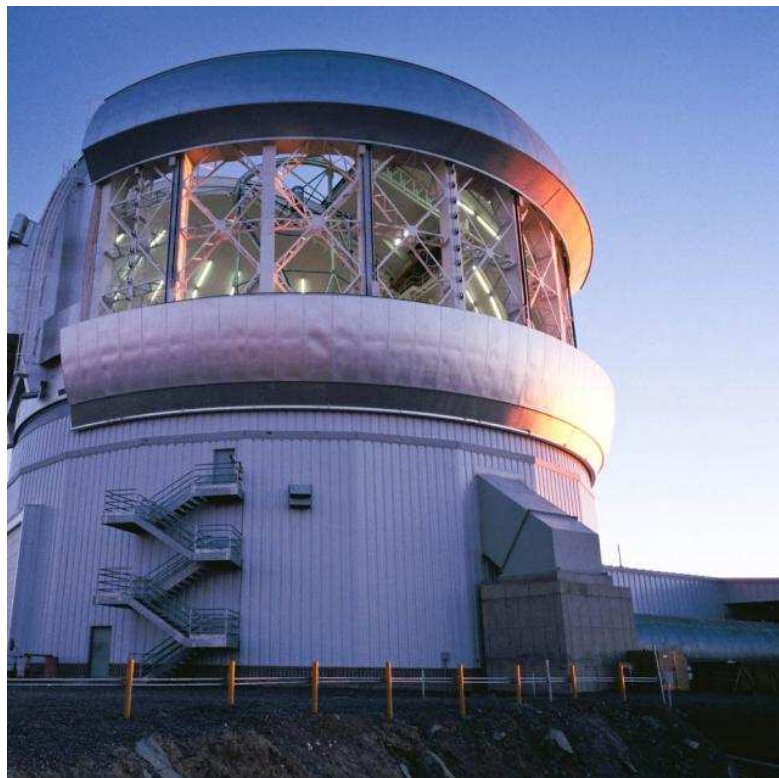


Figura 1.20. Telescopio Gemini Sur en Cerro Pachón. (<http://www.gemini.edu>)

Telescopio Gemini Sur El Observatorio Gemini⁸ consiste en dos telescopios ópticos / IRs gemelos de 8.1 metros de diámetro que se encuentran uno en Hawaïi (hemisferio norte) y otro en Chile (hemisferio sur) para una cobertura total de la esfera celeste. Gemini fue construido y es operado por un consorcio de siete países: Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Australia, Brasil y Argentina.

El telescopio del hemisferio sur (Gemini Sur) se encuentra a 2750 metros sobre el nivel del mar en Cerro Pachón. Comparte hospedaje y algunos recursos con el telescopio SOAR que se encuentra adyacente y los telescopios del Observatorio Inter-Americano Cerro Tololo que se encuentran en una cima cercana.

Ambos telescopios Gemini han sido diseñados para aprovechar la tecnología de punta y control termal para sobresalir en una amplia variedad de capacidades ópticas e infrarrojas.

El programa de instrumentos de Gemini mantiene al observatorio a la vanguardia de la investigación astronómica incorporando tecnologías como el guiaje laser, óptica adaptativa multi-conjugada y espectroscopía multi-objeto.

Gemini Sur puede ser controlado en modo visitante o servicio.

Telescopios Magallanes Los telescopios Magallanes son dos telescopios gemelos de 6,5m llamados Baade y Clay. Los dos telescopios se encuentran en Cerro Maqui a 60 metros del resto de las instalaciones del Observatorio Las Campanas⁹ (2300 m. de altura). Ambos tienen un diseño altacimutal. Los espejos primarios fueron realizados y pulidos por *Steward Observatory Mirror Lab* y son de silicato de boro con una liviana estructura de panal. Su cobertura es de aluminio.

Ambos telescopios trabajan en el rango óptico/IR y tienen instrumentos que permiten fotometría y espectrografía multi-objeto y echelle. Se incorporaron también controles de óptica activa. El espejo primario tiene un control para corregir las aberraciones ópticas de bajo orden y el secundario tiene un mecanismo de tip-tilt para guiaje rápido.

⁸ <http://www.gemini.edu>

⁹ <http://www.lco.cl>

El telescopio y su domo han sido diseñados para minimizar la degradación de la imagen debido a efectos termales. Tiene sistemas de ventilación separados para el domo, la estructura del telescopio y el espejo primario que hacen que la temperatura en las superficies internas al domo se mantengan a la misma temperatura que en el exterior durante la noche.

Los telescopios Magallanes pueden ser controlados en modo visitante o servicio.



Figura 1.21. Telescopios gemelos Magallanes en Observatorio Las Campanas.
(<http://aporcel.wordpress.com>)

Telescopio ACT El *Atacama Cosmology Telescope Project* (ACT¹⁰) es un telescopio de seis metros que se encuentra en Cerro Toco en el desierto de Atacama a 5190 metros de altura. Está diseñado para observaciones de alta resolución de mapeo del cielo en micro-ondas con el fin de estudiar el fondo de radiación cósmico (CMB). Las metas científicas de este proyecto son estudiar cómo comenzó el Universo, de qué está formado y cómo evolucionó hasta su estado actual.

Este proyecto es una colaboración entre la Universidad de Princeton, la Universidad de Pennsylvania, NASA/GSFC, la Universidad de British Columbia, NIST, la Pontificia Universidad Católica de Chile, la Universidad de KwaZulu-Natal, la Universidad de Cardiff, Universidad de Rutgers, Universidad de Pittsburgh, Universidad de Columbia, Haverfor College, INAOE, LLNL, NASA/JPL, Universidad de Toronto, Universidad de

¹⁰ <http://physics.princeton.edu/act>

Cape Town, Universidad de Massachusetts y York College. Su financiamiento depende de NSF (US National Science Foundation)



Figura 1.22. Vista del telescopio ACT y su entorno
(<http://atacamafotografia.wordpress.com>).

El ACT es un radiotelescopio gregoriano fuera de eje con un colector primario de seis metros y uno secundario de dos metros. Ambos segmentados en paneles de aluminio, el primario en 71 segmentos y el secundario en 11. Este telescopio observa una franja de cielo, por lo general de cinco grados de ancho escaneando de un lado a otro en azimut a la tasa de dos grados por segundo. La parte giratoria del telescopio pesa aproximadamente 32 toneladas, lo que generó un desafío de ingeniería importante. Para evitar la contaminación de radiación de micro-ondas del suelo posee una pantalla alrededor del telescopio.

Las observaciones se realizan en tres frecuencias: 145, 215 y 280 GHz. y posee un total de 3.072 detectores. Los detectores son superconductores de alta sensibilidad que permiten la medición de la temperatura del CMB dentro de unas pocas millonésimas de grado. Este conjunto posee un sistema de refrigeradores criogénicos de helio para mantener los detectores a un tercio de grado sobre el cero absoluto.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

La ubicación del ACT en un lugar tan alto y árido disminuye la contaminación de la emisión del vapor de agua en la atmósfera en radiación de microondas.

Telescopios de clase 4m Son numerosos los telescopios de cuatro metros o menos que se encuentran en Chile. La gran mayoría se dedican a observaciones en el óptico o infrarrojo. Se encuentran ubicados en los diversos observatorios que hay en el país y los más pequeños tienen la particularidad de que su modo de observación no requiere de asistente de observación. Su instrumentación se mantiene actualizada con las últimas tecnologías.

Los telescopios de este tipo en los diferentes observatorios son los siguientes:

- Cerro Pachón: El telescopio SOAR (*Southern Astrophysical Research Telescope*) tiene 4.1 metros de diámetro y se desempeña en el rango óptico e infrarrojo cercano. Su modo de observación es remoto con apoyo de operador en el telescopio.
- Cerro Tololo: El telescopio Blanco de 4 metros trabaja en los rangos óptico e infrarrojo. Funciona en modo visitante. Está siendo modificado para alojar el instrumento DECam (*Dark Energy Camera*), que lo convertirá en un instrumento de rastreo óptico de campo amplio, especialmente sensible a la luz corrida al rojo de galaxias distantes.
- Cerro La Silla: El telescopio NTT (*New Technology Telescope*) tiene 3.58 metros de diámetro y se desempeña en el rango óptico e infrarrojo. Su modo de observación es visitante. Además, se encuentra el telescopio de 3.6m que hoy se usa exclusivamente con el espectrógrafo cazador de planetas HARPS.
- Cerro Paranal: El telescopio VISTA (*Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy*) tiene 4.1 metros de diámetro y rastrea el cielo a longitudes de onda ópticas y de infrarrojo cercano. El objetivo de VISTA es estudiar objetos fríos, oscurecidos por nubes de polvo o porque su luz se ha extendido hacia longitudes de onda más rojas debido a la expansión del Universo. Se trata de un telescopio de rastreo con lo cual no tiene modo de observación para astrónomos no

pertenecientes al proyecto.

- Llano de Chajnantor: El radiotelescopio NANTEN2 (en japonés *nan* es sur y *ten* es cielo) tiene de 4 metros de diámetro y trabaja en el rango submilimétrico. Se enfoca en estudiar la distribución a gran escala, dinámica, estructura y química del medio intergaláctico de la Vía Láctea y otras galaxias cercanas. Su modo de observación es visitante.

Telescopios de clase 1m Son numerosos los telescopios de tipo 1 metro. La gran mayoría se dedican a observaciones en el óptico o infrarrojo. Se encuentran ubicados en los diversos observatorios que hay en el país. No suelen tener instrumentos de última generación aunque permiten, en algunas áreas, realizar astronomía completamente competitiva. En parte para disminuir los costos de operación, muchos de estos telescopios son operados de forma robótica, remota, o visitante sin operador.

Según su ubicación los telescopios de este tipo que hay son:

- Cerro Tololo: El menor de todos es el telescopio CHASE500 (*Chilean Automatic Supernova sEarch*) de 0.5 metros trabaja en modo robótico para la búsqueda automática de explosiones de supernovas en la banda óptica. Los telescopios PROMPT (*Panchromatic Robotic Optical Monitoring and Polarimetry Telescopes*) son seis telescopios robóticos de 0.61 metros que trabajan en el rango óptico y se dedican a la búsqueda de explosiones de rayos Gamma (GRBs) y de supernovas. El telescopio de uso remoto SARA tiene 0.6m. También de 0.61 metros es el telescopio *Curtis-Schmidt Telescope* que se dedica al seguimiento de escombros artificiales en el espacio para la NASA, trabaja en modo visitante. A continuación se encuentran en grupo de telescopios SMARTS (*Small and Moderate Aperture Research Telescope System*) que son de 0.9, 1.0, 1.3 y 1.5 metros, el más pequeño de ellos trabaja en modo visitante y en modo servicio sin contacto con el operador, el de 1.0 metros trabaja únicamente en modo visitante y los dos restantes trabajan en modo servicio sin contacto con el operador con sistema de cola de observación, los dos más pequeños, 0.9 y 1.0, se desempeñan en el rango óptico mientras

que los dos más grandes, 1.3 y 1.5, se desempeñan en el rango óptico e infrarrojo.

- Cerro La Silla: El menor de ellos es de 0.25 metros y es el TAROT (*Télescope à Action Rapide pour les object Transitoires*), se trata de un telescopio robótico que trabaja en el rango óptico y se dedica a la búsqueda de explosiones de rayos Gamma. A continuación el REM (*Rapideye Mount Telescope*) también se trata de un telescopio robótico que observa explosiones de rayos Gamma pero en el rango óptico, solo tiene modo servicio. El telescopio suizo TRAPPIST de uso remoto tiene un diámetro de 0.6m. El telescopio Euler es de 1.2 metros y se dedica en gran parte a la búsqueda de planetas extrasolares, su modo de observación es visitante y trabaja en el rango óptico. Seguido en tamaño está el telescopio Danés (*Danish Telescope*) que es 1.54 metros, trabaja en el modo visitante y se desempeña en el rango óptico. Finalmente se encuentra el telescopio MPG/ESO de 2.2 metros que trabaja en el rango óptico y tiene dos modos de operación que son el visitante y el servicio sin contacto con el operador.
- Cerro Las Campanas: Son dos los telescopios de este tipo. El primero el *Henrietta Swope Telescope* que es de 1.0 metro y se desempeña en el rango óptico. El segundo es el *Irénée du Pont Telescope* tiene 2.5 metros y trabaja en el óptico en infrarrojo. Ambos telescopios funcionan en modo visitante.
- Cerro Paranal: El único telescopio de este tipo es el VST (*VLT Survey Telescope*) que es un telescopio de 2.6 metros que mapea el cielo en el rango óptico. Como este telescopio es para realizar mapeos no tiene modo de observación para astrónomos externos, se opera directamente desde el observatorio por los miembros del proyecto.
- Cerro Armazones: Hay tres telescopios de estas características en este observatorio. Todos trabajan en modo visitante y en el rango óptico. Tienen 0.41, 0.84 y 1.5 metros. El telescopio de 0.84 metros se desempeña realizando un monitoreo de quásares.
- Llano de Chajnantor: El CBI (*Cosmic Background Imager*) es un interferómetro

milimétrico compuesto de 13 antenas de 1.4 metros de diámetro cada una. Está diseñado para estudiar la radiación de fondo cósmica de microondas originada en el universo temprano.

1.3.2 Futuro

Esta sección describe los principales proyectos que se instalarían en nuestro país en los próximos años. Cabe hacer notar que probablemente serán varios más los telescopios más modestos que también se instalarán en este periodo. Se encuentran ordenados de mayor a menor según la superficie de su área colectora.

1.3.2.1 E-ELT

El European Extreme Large Telescope (E-ELT) es un revolucionario y nuevo concepto de telescopio basado en tierra que tendrá 39.3 metros en diámetro y será el telescopio óptico/infrarrojo cercano más grande del mundo. Este telescopio será construido y operado por ESO.

Con el inicio de las operaciones planificadas para comienzos de la próxima década, el E-ELT abordará los mayores desafíos científicos de nuestro tiempo y se espera que consiga notables primicias, incluyendo el seguimiento de planetas similares a la Tierra que están alrededor de otras estrellas en las “zonas habitables” donde podría existir vida. También realizará “arqueología estelar” en galaxias cercanas así como contribuciones fundamentales a la cosmología a través de la medición de las propiedades de las primeras estrellas y galaxias e investigando la naturaleza de la materia y energía oscuras.

El concepto actual es de un telescopio con un espejo primario segmentado y un secundario de 4.2m. Para compensar el desenfoque de las fotografías estelares debido a la turbulencia atmosférica se incorporan a la óptica del telescopio un espejo adaptativo sostenido por 8000 actuadores que pueden distorsionar su forma mil veces por segundo.

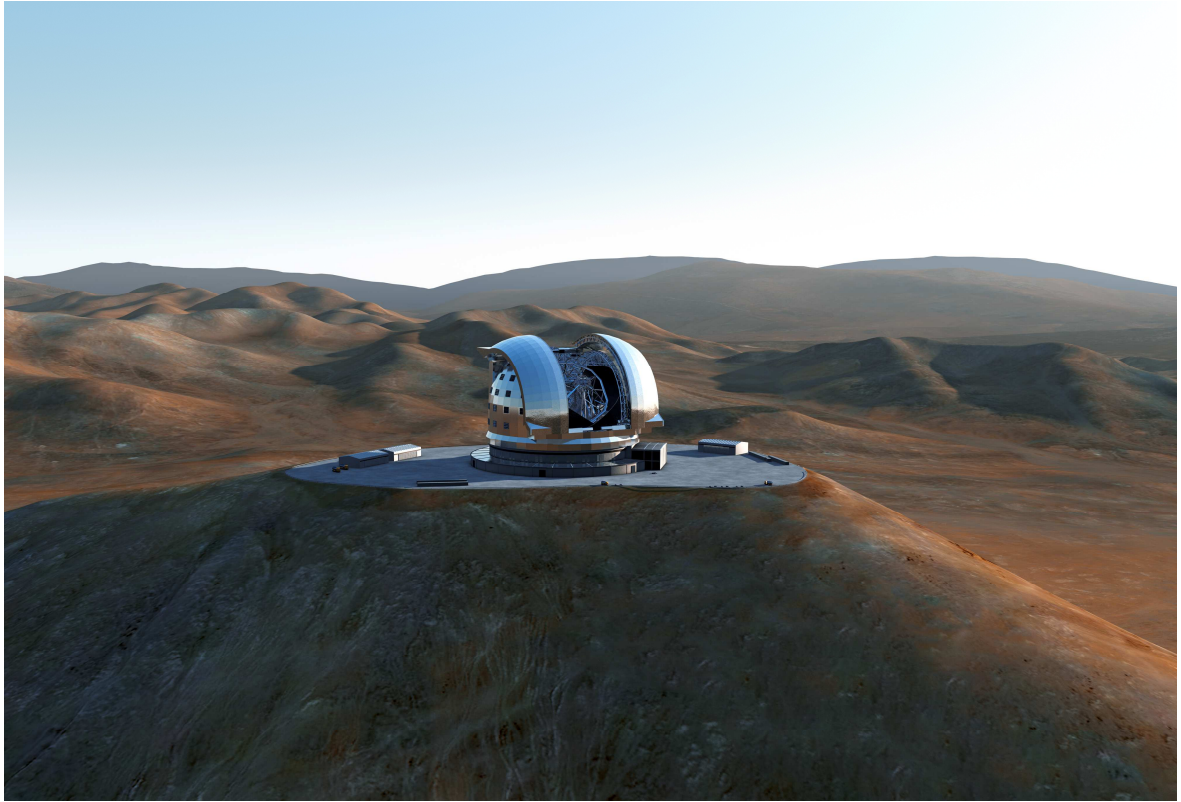


Figura 1.23. Imagen digital del diseño del telescopio E-ELT en Cerro Armazones (<http://www.eso.org>).

El telescopio tendrá varios instrumentos científicos que se irán incorporando año a año. Hasta el momento se proyecta tener siete entre ellos una cámara y espectrógrafo para detección y observación de planetas, una cámara y espectrógrafo en el infrarrojo medio, un espectrógrafo de alta resolución, un espectrógrafo multi-objeto y una cámara y espectrógrafo en infrarrojo cercano. Aún se está evaluando cuales serán exactamente los instrumentos que se instalarán y cuál será su orden de utilización.

Una de las ventajas de este telescopio será pasar de un instrumento a otro en minutos sin perder tiempo de observación. El telescopio y la cúpula también serán capaces de cambiar de posición en muy corto tiempo. La habilidad de observar a través de un amplio rango de longitudes de onda, desde la óptica hasta el infrarrojo intermedio, permitirá a los científicos aprovechar el tamaño del telescopio en toda su extensión.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

1.3.2.2 GMT

El Giant Magellan Telescope (GMT¹¹) será otro de los telescopios terrestres gigantes que prometen revolucionar nuestra visión y comprensión del universo. Sus principales objetivos son buscar vida en otros planetas además de estudiar cómo se formaron las primeras galaxias, en qué consisten la materia y la energía oscura y cuál es el destino del universo. Este telescopio se emplazará en el Cerro Las Campanas a 2550 metros de altura.

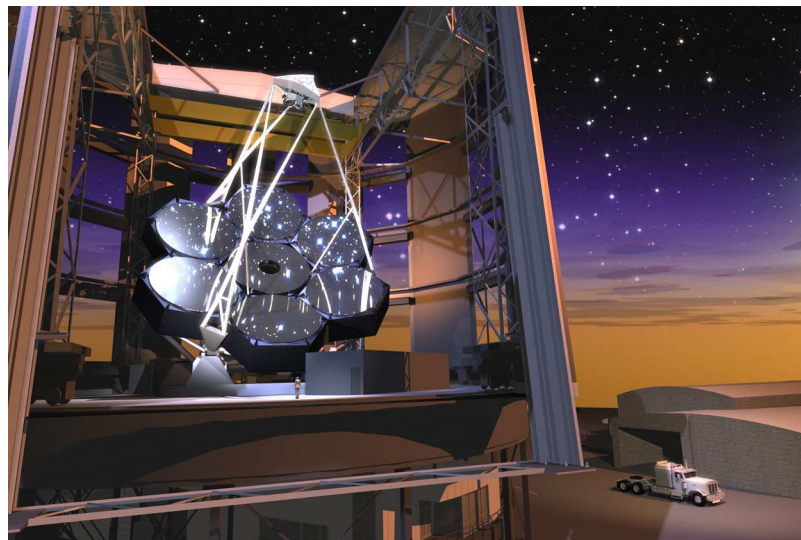


Figura 1.24: Impresión artística del diseño del telescopio GMT (<http://www.gmto.org>).

El GMT tiene un diseño único que ofrece varias ventajas. Se trata de un telescopio con un espejo segmentado que cuenta con siete de los más grandes espejos monolíticos rígidos como segmentos. Seis de ellos fuera del eje con 8,4 metros de diámetro que rodean el eje central formando una sola superficie óptica con un área colectora de 24,5 metros de diámetro. El GMT tendrá un poder de resolución 10 veces mayor que el Telescopio Espacial Hubble. El proyecto GMT es el trabajo de un consorcio internacional que incluye: Astronomy Australia Ltd., Universidad Nacional de Australia, Carnegie Institution for Science, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics,

¹¹ <http://www.gmto.org>

Universidad de Texas Austin, Universidad de Texas A&M, Universidad de Arizona, Universidad de Chicago y Korea Astronomy and Space Science Institute.

Uno de los aspectos más sofisticados desde el punto de vista de ingeniería en este proyecto es el sistema de óptica adaptativa de los espejos secundarios. Contará con siete espejos secundarios que serán flexibles bajo los cuales habrá cientos de accionadores que ajustarán constantemente los espejos para contrarrestar la turbulencia atmosférica. Este telescopio trabajará en el rango de la astronomía óptica/IR).

1.3.2.3 CCAT

El Cornell Caltech Atacama Telescope (CCAT¹²) será un telescopio de 25 metros que se dedicará a la astronomía submilimétrica y estará situado a 5600 m de altura en el Cerro de Chajnantor. CCAT combinará alta sensibilidad, un amplio campo de visión y una amplia gama de longitudes de onda (200, 350, 450, 620, 740 y 850 μ m). Los objetivos de ciencia incluyen la formación de galaxias y su evolución a lo largo de la historia del Universo, el gas caliente que impregna los cúmulos de galaxias, la formación de estrellas, los discos protoplanetarios, y discos de polvo en la galaxia Vía Láctea, y los objetos del cinturón de Kuiper, en los confines del sistema solar. Su instrumentación incluirá cámaras de bolómetro, espectrómetros de detección directa, y arreglos de receptores de heterodino.

El consorcio CCAT incluye a la Universidad de Cornell, el Instituto de Tecnología de California (Caltech) y el Laboratorio de Propulsión Jet, que es administrado por Caltech para la NASA, la Universidad de Colorado, la Universidad de Colonia y la Universidad de Bonn, la Universidad de McGill, la Universidad de McMaster, la Universidad de British Columbia, la Universidad de Calgary, la Universidad de Toronto, la Universidad de Waterloo, y la Universidad de Western Ontario y Associated Universities, Inc. CCAT funciona en el Parque Astronómico de Atacama en el norte de Chile.

¹² <http://www.submm.org>

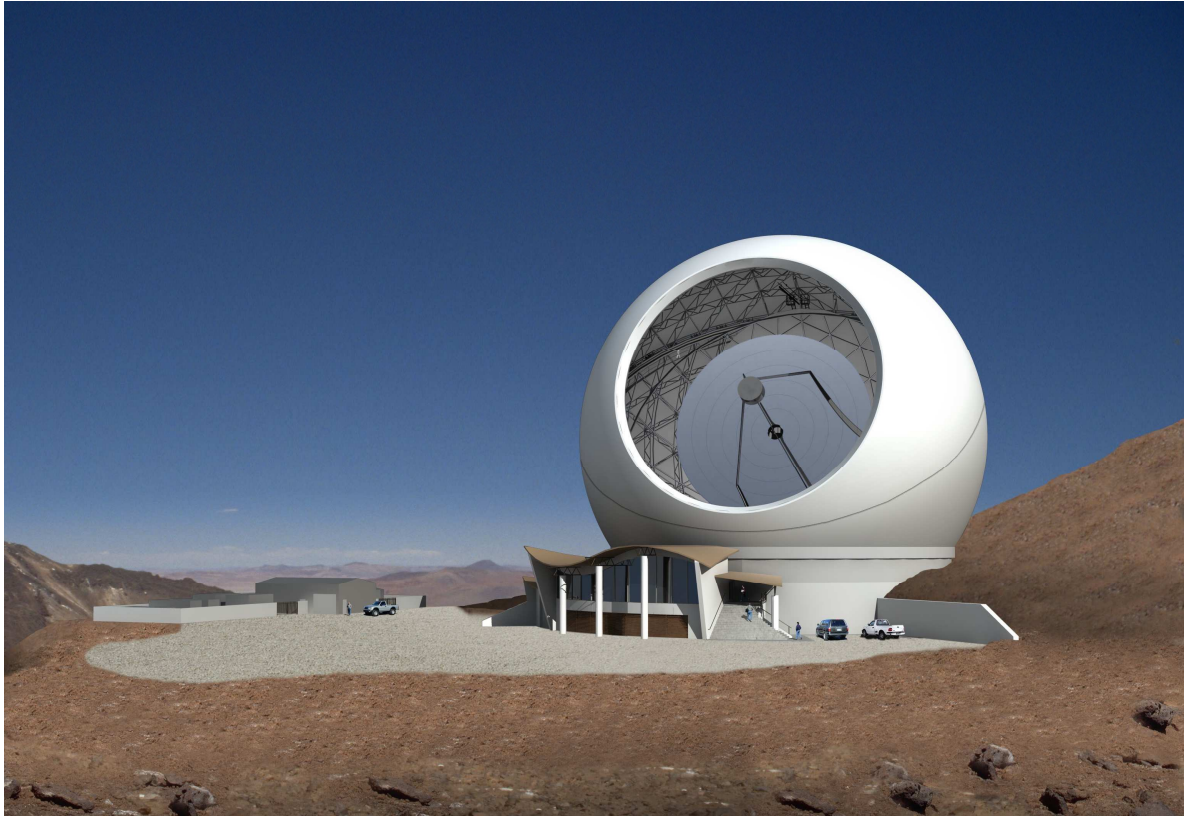


Figura 1.25: Diseño del proyecto CCAT con su innovadora cúpula en el Cerro Chajnantor (<http://www.submm.org>).

1.3.2.4. LSST

El Large Synoptic Survey Telescope (LSST¹³) será un nuevo tipo de telescopio con un espejo de 8.4 metros de diámetro ubicado en Cerro Pachón. Con un poder de recolección de luz entre las más grandes del mundo, que puede detectar objetos débiles con exposiciones cortas. Su campo de visión amplio único le permitirá observar grandes áreas del cielo a la vez, y por ser compacto y ágil, podrá moverse rápidamente entre las imágenes. La cámara cubrirá diez grados cuadrados del cielo con un área colectora de cuarenta metros cuadrados. Tomará más de 800 imágenes panorámicas cada noche cubriendo así el cielo dos veces cada semana.

¹³ <http://www.lsst.org>

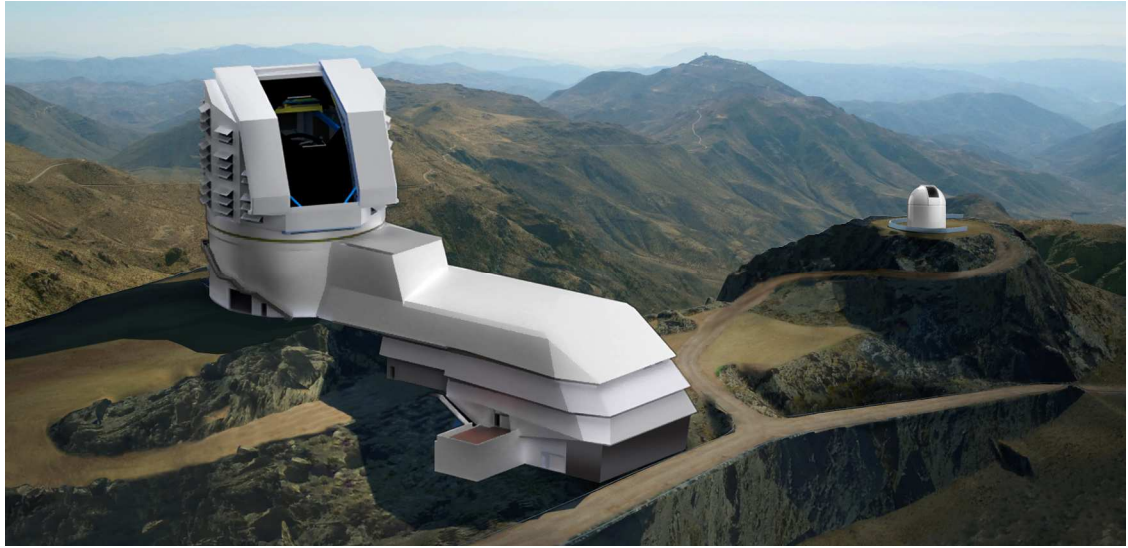


Figura 1.26: Instalaciones del telescopio LSST y del telescopio atmosférico Calypso (<http://www.lsst.org>).

Los datos de LSST serán utilizados para crear un mapa 3D del Universo con una profundidad y detalle sin precedentes. Este mapa podrá ser utilizado para localizar la materia oscura y caracterizar las propiedades de la energía oscura.

Los planes para compartir los datos de LSST con el público son tan ambiciosos como el propio telescopio. El proyecto LSST proporcionará herramientas de análisis para permitir a los estudiantes y al público en general participar en el proceso del descubrimiento científico. El proyecto se divide en tres áreas principales: La cámara, el telescopio y el sitio, y finalmente la gestión de datos.

Uno de los desafíos de este proyecto es el sistema de transferencia de datos ya que se espera que cada noche se generen 15 Terabytes de datos que deben ser transmitidos a un centro de datos y que a su vez generará una base de datos que tendrá un total de varios Petabytes. La velocidad de transferencia actual con fibra óptica no es suficiente para esta cantidad de datos y es por ello que una de las áreas del proyecto es la gestión de datos que se dedica a analizar además del problema de la transferencia el desafío del almacenaje de datos. Para posibilitar la transferencia de estos volúmenes de información se requiere contar con una red de datos de grandes capacidades, la

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

proyección es que al 2020 exista al telescopio capacidades de 100Gbps (las redes más potentes hoy en día en el país alcanzan un decimo de esta capacidad). Por otro lado, estas redes son de propósito específico y de investigación, su orientación es a activar estos enlaces con redes científicas ya que se requiere de implementación e investigación en protocolos de avanzada, experimentar en diversas técnicas para optimización de transferencia de datos, etc.; propósito que escapa a la norma de una red de carácter comercial.

El LSST es una asociación público-privada, y los datos se harán públicos inmediatamente. Una corporación sin fines de lucro, llamada Corporación LSST, se ha creado para gestionar la colaboración de más de 100 científicos e ingenieros, y para aumentar el financiamiento privado y de la Fundación Nacional de Ciencias de EE.UU. (NSF).

1.3.2.5 TAO

El University of Tokyo Atacama Observatory (TAO¹⁴) es un observatorio ubicado en el Cerro Chajnantor a 5640 metros de altura. Se encuentra a menos de 5 km. del Llano de Chajnantor. El proyecto consiste en instalar un telescopio de 6.5 metros de diámetro para operar en el rango óptico/IR. Un primer paso para este proyecto fue la instalación del telescopio piloto llamado miniTAO de 1m de diámetro en 2009.

El espejo primario del telescopio tendrá una cobertura de plata. El espejo secundario estará equipado de óptica adaptativa para compensar la turbulencia atmosférica y a su vez tendrá un espejo terciario que permitirá cambiar entre instrumentos. Tendrá cámaras y espectrómetros para observaciones en el infrarrojo medio a 20-30 μ m y en el infrarrojo cercano 1-3 μ m y dos espectrógrafos para el rango óptico. Las cámaras del infrarrojo medio serán las de mayor sensibilidad en el mundo para estas longitudes de onda.

¹⁴ <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/>

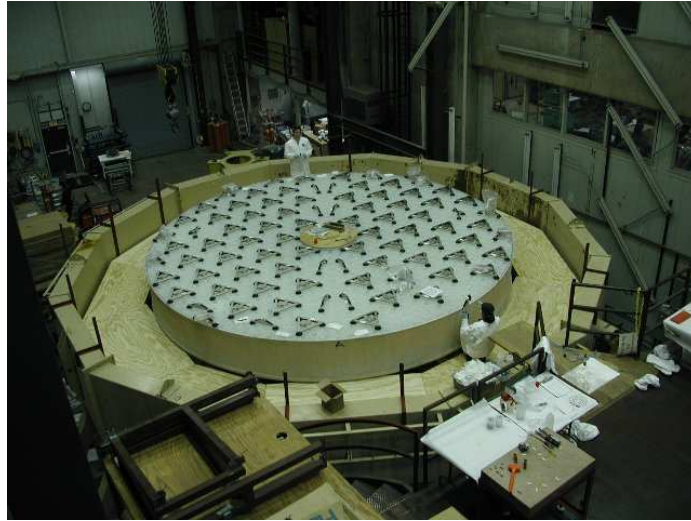


Figura 1.27: Imagen del espejo primario del TAO en construcción (<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp>).

1.3.3 Pasado

Esta sección describe someramente los sitios de astronomía profesional que no se encuentran actualmente actualizados con instrumentación astronómica de punta. Están ordenados cronológicamente.

Observatorio Astronómico Nacional El Observatorio Astronómico Nacional (OAN) se encuentra ubicado en la cima del cerro Calán en la comuna de Las Condes (Santiago). En la actualidad posee telescopios y cúpulas históricas, en conjunto con telescopios modernos dirigidos a la difusión y a la docencia. Anteriormente estuvo ubicado en Quinta Normal y en Lo Espejo antes de llegar a su ubicación actual. Este observatorio depende de la Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas de la Universidad de Chile y en él se alberga el Departamento de Astronomía de esta universidad.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”



Figura 1.28: Observatorio en Cerro Calán.

Cerro El Roble La estación astronómica Cerro el Roble está ubicada al norponiente de Santiago, debido a las favorables condiciones astronómicas del lugar. Depende del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile y su instalación se realizó en 1965 gracias a un convenio de coparticipación entre Chile y la Unión Soviética. En este observatorio se encuentra el telescopio del sello de Correos de Chile, correspondiente al MAKUKOV (cámara astrográfica de 70 cm. de apertura).

Parque Radioastronómico de Maipú Este observatorio radioastronómico se encontraba en la Rinconada de Maipú (Santiago) y fue construido por la Universidad de Chile en 1959 convirtiendo a Chile en el primer país Latinoamericano en iniciar investigaciones radioastronómicas. Dejó de funcionar hace más de diez años.

Observatorio Astrofísico San Cristóbal En 1903 se instaló en una de las cumbres del Cerro San Cristóbal (Santiago) un observatorio astronómico (actualmente denominado Manuel Foster), gemelo del Observatorio Lick de California. En su época fue el más grande del Hemisferio Sur y el décimo en tamaño del mundo. Esta instalación pertenece en el presente a la Pontificia Universidad Católica de Chile.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

1.3.4 Emplazamientos

Las siguientes figuras resumen los distintos emplazamientos astronómicos en Chile.



Figura 1.29: Mapa de Chile con regiones de emplazamientos astronómicos

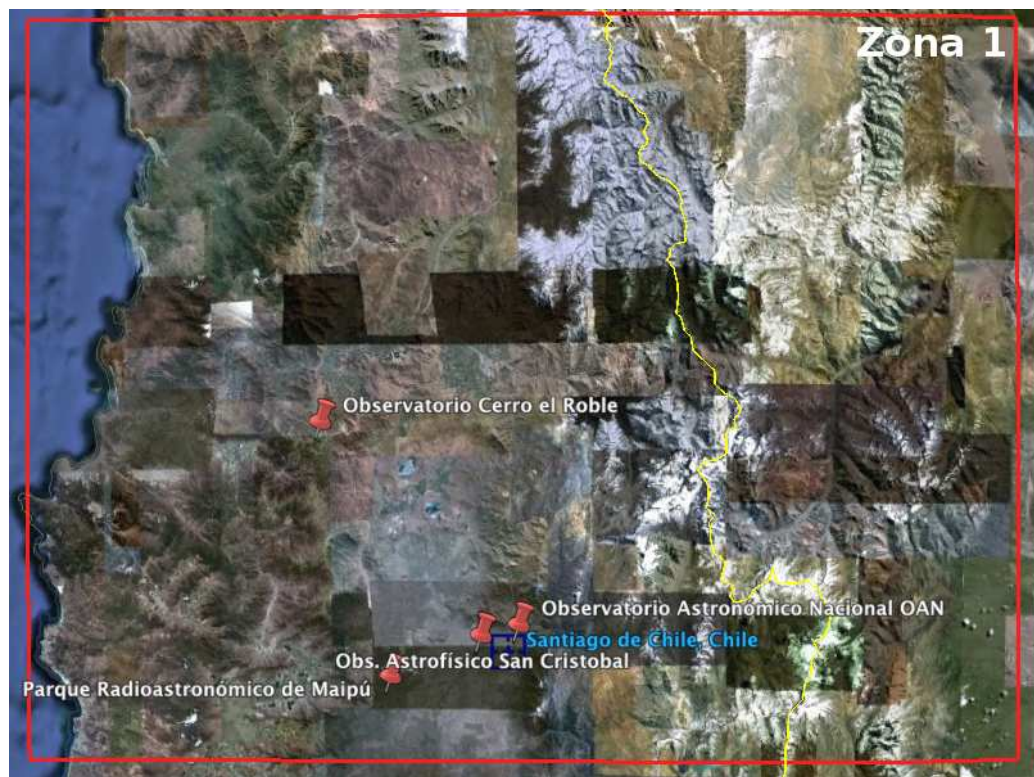


Figura 1.30. Detalle de zona 1 de la figura 1.29



Figura 1.31. Detalle de zona 2 de la figura 1.29



Figura 1.32. Detalle de zona 3 de la figura 1.29

2 MARCO DE ANÁLISIS DEL ESTUDIO

Las tecnologías, sistemas, productos y servicios que pertenecen al ecosistema de la astronomía son heterogéneos en su nivel tecnológico y en su diferenciación respecto de otras áreas productivas.

Para el análisis de los requerimientos de los observatorios, del capital humano en Chile y de las oportunidades para la industria y la academia, es necesario recurrir a la distinción de tres categorías para diferenciar los niveles de tecnología involucrados.

Estas categorías son:

- a. Desarrollo de tecnologías de frontera
- b. Proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.
- c. Proyectos, bienes y servicios no diferenciados

La primera categoría, “**desarrollo de tecnologías de frontera**”, responde a la demanda de los astrónomos de observar más lejos, en más bandas del espectro electromagnético, con mayor resolución espacial óptica, con mayor resolución espectral, desafíos que no son satisfechos con los instrumentos disponibles en un momento dado.

Esto implica el desarrollo de nuevas tecnologías cuya factibilidad, performance, costo, fiabilidad, no pueden ser conocidos a priori y son por tanto materia de investigación.

Una tecnología de frontera se caracteriza por un alto riesgo tanto en la probabilidad de alcanzar las funcionalidades esperadas como en los costos y plazos que demanda el desarrollo.

Como consecuencia, las nuevas tecnologías desarrolladas pueden dar lugar a aplicaciones en otras áreas productivas, cuyo alcance es generalmente desconocido.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

La segunda categoría, “**proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas**”, se refiere a exigencias que son en gran medida propias a la astronomía, pero cuyos insumos tecnológicos son conocidos y generalmente han sido probados en otras áreas productivas.

A modo de ejemplo, si bien las comunicaciones por fibra óptica son conocidas desde hace tiempo, su instalación y conexión a las alturas de los nuevos observatorios representaron una incertidumbre que debió ser resuelta.

En otro ámbito, acciones que podrían ser triviales como reemplazar un actuador de un espejo, exigen un cuidado especial incluso al momento de sacar o poner una tuerca ya que un movimiento en falso podría dañar estructura delicadas.

De esta manera, muchos de los proyectos o servicios que se basan en tecnologías probadas, como son las comunicaciones de datos, el aislamiento térmico de los edificios, el control de vibraciones, son exigidos al máximo desde el punto de vista de las prestaciones, de la precisión y de la calidad.

Por último, la tercera categoría, “**proyectos, bienes y servicios no diferenciados**”, incluye tanto los servicios del sector no transable tales como alimentación, transporte, construcción de edificios de oficinas, instalación de aire acondicionado, así como bienes no diferenciados entre los cuales se pueden incluir los computadores de escritorio, artículos eléctricos. Se trata de bienes y servicios para los cuales existe una oferta amplia en Chile y en particular en el Norte, por parte de empresas que prestan ese mismo servicio a empresas de la gran minería del cobre u otras áreas productivas. Lo mismo es válido para los bienes “off the shelf” que necesitan los observatorios.

Esta diferenciación es necesaria al momento de analizar las capacidades, oportunidades y falencias existentes en Chile, ya que las métricas para cada nivel deben necesariamente estar diferenciadas, lo que también se extiende a las políticas de apoyo al desarrollo de un ecosistema ligado a la astronomía.

La frontera entre estos niveles no es taxativa, por lo que es posible que la clasificación de algún desarrollo o servicio pudiera ser materia de discusión.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

NIVEL	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS	IMPACTO
Desarrollo de tecnologías de frontera	Nuevas tecnologías cuya factibilidad, performance, costo, fiabilidad, son materia de investigación. • Alto riesgo • Alta incertidumbre	• Nuevos detectores • Nuevos revestimientos de espejos • Nuevos algoritmos de tratamiento de imágenes	• Probabilidad de alto impacto en otras áreas (medicina, industria)
Proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.	Uso de tecnologías probadas y consolidadas que deben ser usadas para la astronomía en condiciones inéditas y/o de mayor exigencia • Mediano riesgo • Mediana incertidumbre	• Fibra óptica en elevada altura. • Comunicaciones de datos de grandes flujos (Tb/s) a grandes distancias	• Consolida, mejora la calidad de empresas que realizan el proyecto o servicio. • Entrega “track record” para apertura de otros mercados. • La experiencia puede generar nuevas soluciones para minería, industria.
Proyectos, bienes y servicios no diferenciados	Bienes y servicios que los observatorios utilizan de la misma manera que otras áreas como la minería o industria. • Riesgo controlable • Muy baja incertidumbre	• Bienes y Servicios del sector no transable: obras civiles, transporte, jardinería. • Hardware y equipos “off the shelf” (dominan importaciones)	• Beneficio igual a la facturación • Es posible estimar un multiplicador de impacto en la cadena productiva según la matriz insumo-producto.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

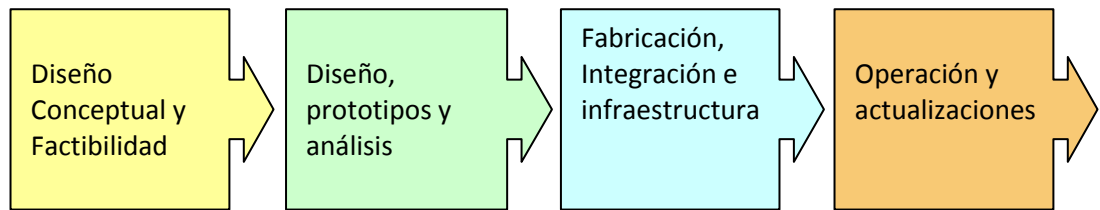
3 LOS OBSERVATORIOS

3.1 CICLO DE VIDA

Los grandes observatorios astronómicos son proyectos de alta complejidad y heterogeneidad en sus componentes y sistemas, tanto en la etapa de la construcción como de la operación. Por ello, tanto los requerimientos de calidad como las inversiones involucradas varían en función de esa complejidad y es necesario metodológicamente diferenciar las distintas etapas y los distintos niveles de tecnología que un observatorio requiere.

Para este fin, se presenta un esquema de ciclo de vida elaborado más desde la perspectiva de la ingeniería que desde la astronomía, indicando de manera genérica las tecnologías involucradas. Posteriormente, se realiza una sistematización con un nivel de mayor detalle de los requerimientos tecnológicos, enfocada en los proyectos que tienen a Chile como anfitrión.

Se ha esquematizado el proceso en cuatro etapas que son el diseño conceptual y análisis de factibilidad, el diseño de ingeniería básica y de detalle, la fabricación e integración. Por último, está la operación del observatorio, periodo que puede abarcar más de 50 años.



3.1.1 Desarrollo del Concepto

El proceso tiene como punto de partida una inquietud científica o “science case” respecto de la ciencia astronómica para la cual los instrumentos en operación en un momento dado no resultan suficientes para entregar los datos que desean los astrónomos.

Ejemplos de algunos “science case” actuales son la búsqueda de planetas extra-solares, la tasa de expansión del universo, el mapa de la materia oscura.

El “science case” determina las especificaciones conceptuales del instrumento científico y del espejo o antena: qué frecuencias del espectro electromagnético se quiere observar (luz visible, infrarroja, radio) el área de recolección de fotones (espejo de 10 ó 30 metros, antenas de radio sobre una gran superficie), especificaciones particulares tales como “alta resolución en la medida del desplazamiento hacia el rojo”, “polarización”.

Estas especificaciones son estudiadas por grupos académicos para determinar la factibilidad tecnológica así como para obtener una primera aproximación al costo de construcción. Se trata de determinar qué detectores ópticos o de infrarrojo o banda de receptores radiofrecuencia se requieren. Se llevan a cabo estudios y simulaciones para evaluar la geometría del espejo o de la antena y analizar las alternativas de materiales de construcción.

Paralelamente, se comienza la evaluación de alternativas de sitios de construcción. Los sitios candidatos son evaluados respecto de las condiciones meteorológicas que

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

ofrezcan el mayor número de noches de observación, las menores perturbaciones atmosféricas, la infraestructura disponible (camino, energía, comunicaciones) o la factibilidad de construirla, condiciones políticas y administrativas.

De esta etapa, el resultado es una propuesta técnico – económica que sirve de base para la búsqueda de financiamiento.

3.1.2 Etapa de diseño, prototipos y análisis

Esta etapa implica organizar el proyecto en subsistemas y asignar los trabajos de diseño y validación a diferentes grupos.

Instrumentos, espejo / antena: El desarrollo conceptual y básico de los instrumentos científicos se realiza uno a uno y exige recurrir a nuevas tecnologías. El impulso del desarrollo instrumental puede ser por una licitación de parte de un observatorio (por ejemplo, ESO, NOAO o AURA) o partir directamente de la iniciativa de un grupo académico motivados por un caso científico a responder. Típicamente, por esta última vía se desarrollan instrumentos para una inquietud científica particular, mientras que las licitaciones apuntan a instrumentación de variado alcance científico. Esto puede ser válido también para el desarrollo del reflector (espejo o antena) e incluye los sistemas para óptica activa o adaptativa. En esta etapa puede ser necesaria la fabricación de prototipos tanto para la prueba de concepto como para pruebas de integración entre subsistemas. En esta etapa se especifican en detalle y se diseñan los detectores que pueden ser ópticos, infrarrojo, receptores radiofrecuencia, los sistemas de electrónica de bajo ruido y criogenia.

Montura: corresponde al estudio, diseño y validación del soporte en donde se montarán el reflector y los instrumentos científicos. Es un elemento crítico que incluye las estructuras de soporte, los mecanismos de movimiento, motores, encoders y control de guiado para que los instrumentos apunten con precisión a la región del cielo

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

deseada. Incluye los análisis de deformaciones térmicas y gravitacionales, mediante simulaciones matemáticas (FEM).

Domo: es la estructura que se diseña para proteger los instrumentos científicos del ambiente, pero que a la vez necesita una movilidad tal que permita apuntar el telescopio o radiotelescopio en la dirección deseada. Comprende por una parte el diseño estructural y por otra parte el diseño de los mecanismos de movimiento. Ambos diseños pueden ser encargados a empresas distintas, que se deben coordinar entre sí. Este diseño incluye las fundaciones sobre las cuales se asentará el domo y los sistemas de ventilación cuyo objetivo es mantener un gradiente de temperatura estable.

Infraestructura y edificios: se trata del diseño de ingeniería básica y de detalle de toda la infraestructura en el sitio de emplazamiento, tales como caminos, edificios, energía eléctrica, comunicaciones.

De esta etapa, el resultado son planos de ingeniería de detalle, diagramas de flujo, planos de arquitectura y estructurales, especificaciones técnicas, lista de componentes y toda otra documentación necesaria para abordar la fabricación, construcción y montaje del sistema.

3.1.3 Etapa de construcción e instalación

Construcción e integración del instrumento científico, espejo y montura: cada subsistema es construido de acuerdo a las especificaciones y los planos. Esta construcción es común que se lleve a cabo en diferentes lugares e incluso en diferentes países.

Los elementos son contruidos, ensamblados, calibrados y luego el o los instrumentos científicos son unidos con el espejo o con la antena y ambos son colocados en la montura.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

La integración se completa con los sistemas electrónicos de control de los instrumentos (filtros, tiempo de exposición), los sistemas electrónicos de control de posición del telescopio o antena (guiaje) y elementos de monitoreo de variables críticas tales como temperatura y vibraciones.

Parte del conjunto puede ser la óptica adaptativa que comprende equipos láser, control de deformación de espejos, software de retroalimentación, entre otros.

Construcción y montaje del domo: las partes del domo son fabricadas comúnmente en lugares lejanos al sitio que albergará el telescopio. En el sitio se construyen las fundaciones y la parte fija del domo. Sobre ésta, se arma la parte móvil y se integran los sistemas mecánicos de movimiento, los motores, encoders, sujeciones. Preferentemente, al lado del domo se construyen las instalaciones para montaje y desarme de los espejos e instrumentos.

Sistemas y enlaces para flujos de datos: Con mayor énfasis en los nuevos proyectos, la generación de datos es de tal volumen que no basta con pensar en soluciones de capacidad sino en soluciones de infraestructura dedicada.

Salas de control: Dependiendo del modo de observación (modo visitante, modo remoto), se requiere de una o de varias salas de control eventualmente en distintos lugares del mundo. Aparte de los edificios propiamente tales, es necesario configurar e instalar el Software y Hardware de los distintos sistemas que deben ser controlados y que van desde la óptica adaptativa, el sistema de guiaje, el control de exposición y filtros, y el monitoreo de variables de instrumentos, hasta la interfaz de usuario.

Edificios: construcción de instalaciones para mantenimiento, operación y alojamiento. Algunas de estas construcciones se realizan en el sitio mismo mientras que otras se realizan en centros urbanos.

Infraestructura y servicios: se trata de la instalación en el lugar del cableado eléctrico, sistemas eléctricos de respaldo, tendido de fibra óptica, equipos para comunicaciones de voz, video, internet, así como las instalaciones y conexiones a

redes de agua y de electricidad. Gran parte de este trabajo se realiza en el terreno mismo por empresas locales.

3.1.4 Etapa de Operación

Las principales actividades durante la fase de operación de un observatorio son:

Control de la observación: selección y control de los instrumentos científicos por parte del astrónomo, control de posicionamiento del domo, control de dirección (guiaje), filtros, tiempos, movimientos. Control de adquisición de datos, correladores, espectrógrafos, etc.

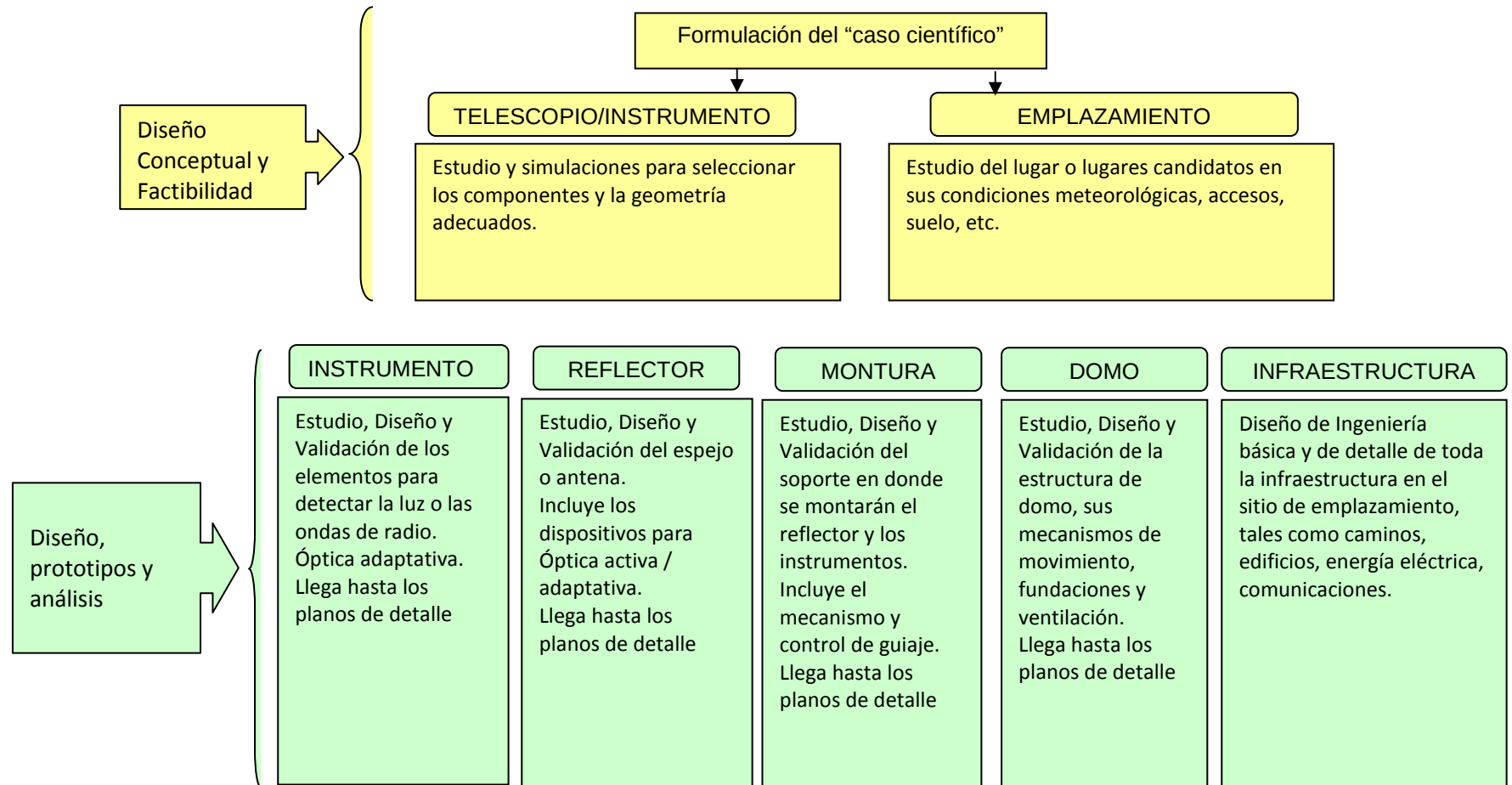
Gestión de datos: adquisición y procesamiento de las señales, transmisión y almacenamiento. Desarrollo de software especializado para el procesamiento de datos y extracción de la información científica de interés.

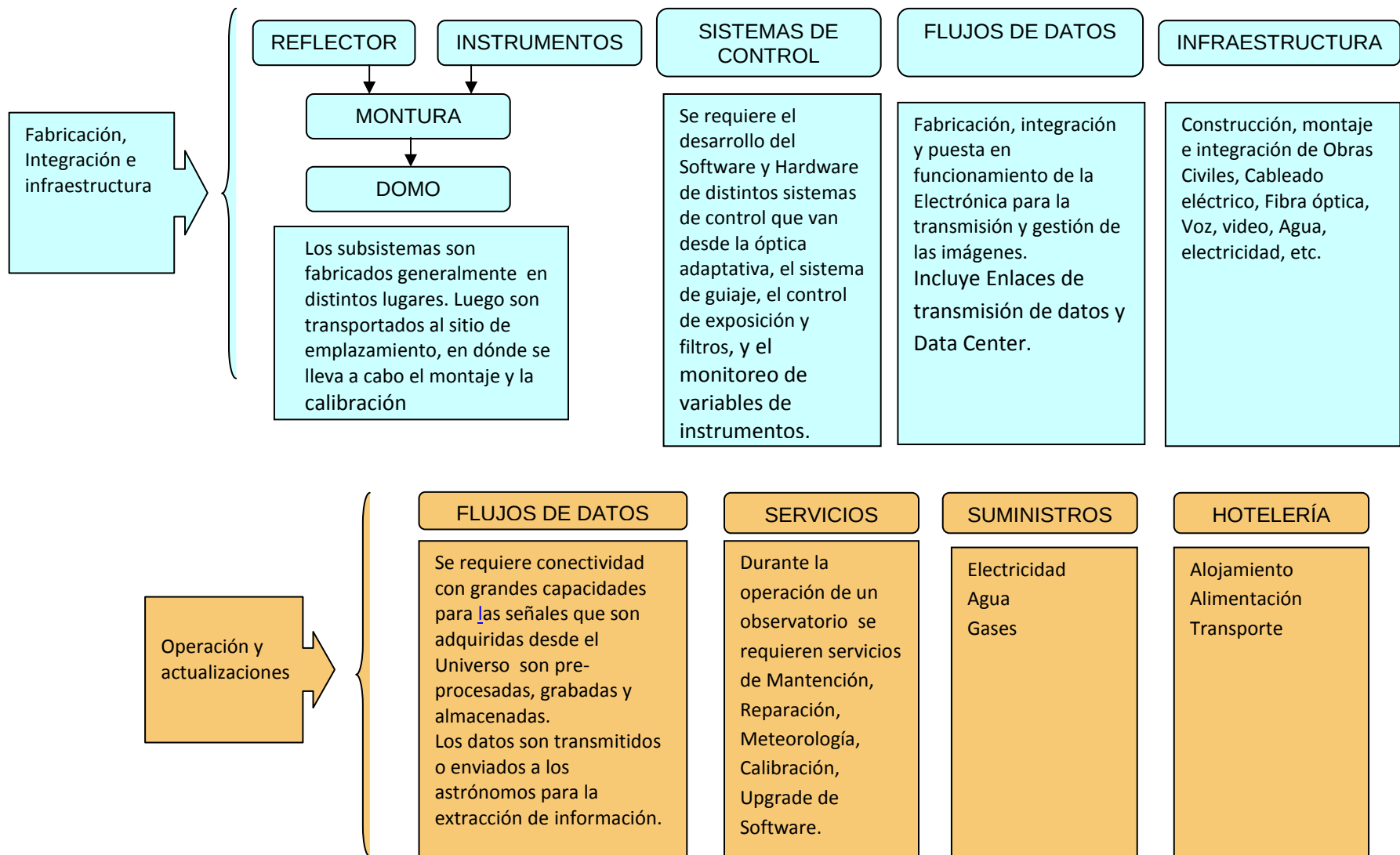
Servicios especializados: Mantenimiento preventivo y predictivo de instrumentos y espejos, reparación, servicios de meteorología, calibración, actualización de Software, insumos para criogenia, fabricación de partes y piezas especiales.

Suministros generales: Energía eléctrica, agua, servicios de limpieza, mantenimiento no especializada (gasfitería, aire acondicionado, carpintería, mantenimiento eléctrica).

Hotelería y transporte: servicios de transporte, alojamiento y alimentación.

CICLO DE VIDA DE UN OBSERVATORIO ÓPTICO O RADIOASTRONÓMICO





3.2 ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO DE LOS CONTRATOS INTERNACIONALES

DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN

- a. Existen limitaciones de acceso a la información de los observatorios acerca de la inversión en proyectos astronómicos anunciados para Chile en los próximos años. La información es considerada confidencial en sus detalles, estando accesibles de manera pública solamente las cifras agregadas.
- b. De acuerdo a los observatorios, respecto de las cifras de inversión no existe información pública adicional a la que se encuentra en Internet.
- c. No obstante, para algunos de los proyectos astronómicos se han publicado cifras de inversión con más detalle. De dicha información se ha seleccionado aquella que es más relevante para estimar la inversión potencial en Chile.
- d. Las cifras públicas que se manejan para cada proyecto están estructuradas de manera no homogénea y están en constante revisión.
- e. Las cifras estimadas varían en el tiempo por motivos técnicos (avance en ingeniería de detalle) de mercado (precios de insumos como el acero) y presupuestarios.

3.2.1 Presentación

Esta sección tiene como objetivo entregar una estimación del tamaño de los contratos internacionales de servicios y de desarrollo adjudicados por los observatorios en Chile, así como su inversión en el país.

Para una correcta lectura de las cifras entregadas en esta sección, es importante indicar la existencia de limitaciones de acceso a la información de los observatorios, ya que ésta es considerada confidencial en sus detalles, estando accesibles de manera pública solamente las cifras globales. No obstante, para algunos de los proyectos astronómicos se han publicado cifras de inversión con más detalle. De dicha información se ha seleccionado aquella que es más relevante para estimar la inversión potencial en Chile

Esta sección no se limita a estimar las inversiones efectivamente realizadas en Chile. En el presente estudio, uno de los objetivos es “identificar las oportunidades que presenta la instalación de nuevos proyectos astronómicos” en Chile. Se ha considerado relevante en consecuencia comenzar por una estimación global de cómo se asignan los montos de inversión a los principales ítems, independientemente de si esas inversiones se realizan en Chile o en otros países.

Muchas de las cifras pueden haber sido corregidas según los resultados de licitaciones, de la disponibilidad de financiamiento o de imprevistos. No obstante dichas cifras constituyen una estimación de los órdenes de magnitud esperados.

3.2.2 Características de la información disponible.

a. Información divulgada por los observatorios

En lo que respecta a los montos de inversión para la construcción de los grandes telescopios, para cada uno de los proyectos existen estimaciones globales con un nivel de desagregación menor a una decena de ítems. Estas estimaciones se modifican en el tiempo según el proyecto avanza en la ingeniería de detalle y según los resultados de las licitaciones de contratos de construcción y de montaje.

Las cifras entregadas por los observatorios incluyen estimaciones de contingencia, a veces integrados en cada ítem, otras veces como un ítem aparte.

Un factor adicional que provoca variación de las cifras es la corrección monetaria según el año de referencia del dólar así como de la tasa de cambio del euro respecto del dólar cuando se trata de proyectos europeos.

Respecto del porcentaje de la inversión que se materializa en Chile, los observatorios entregan estimaciones globales que se sitúan el gasto en Chile entre el 10% y el 20% del total de la inversión estimada.

En lo que respecta a contratos específicos, por ejemplo contratos de construcción o de montaje ejecutados en Chile, el monto exacto de cada contrato se define en el momento de resolver la licitación y dichos montos exactos no son divulgados ni antes

ni después de la ejecución de los contratos, contando en algunos casos solamente con un orden de magnitud.

Es ilustrativo de esta práctica, el texto de una “solicitation” de la Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. (AURA), October 5, 2005 (el subrayado es nuestro):

“The Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. (AURA) invites letters of intent for the development of key technologies and design studies needed to advance an alternative concept for an Extremely Large Telescope (ELT). The funding available for the full term of this subaward cannot be fully described at present in view of the annual funding available from the NSF. However it is AURA’s goal, in accordance with our proposal of July 2004, to provide a total of \$14,000,000 pending funding actions by the National Science Foundation.”

Respecto de los gastos de operación, la información también es divulgada de manera agregada.

b. Información divulgada por las empresas en Chile

Las empresas chilenas que han ejecutado contratos con los grandes observatorios, no entregan información de detalle de los montos de los contratos por razones de confidencialidad.

c. Información adicional

Una parte de las estimaciones de costos de inversión y de costos de operación que se presentan en este estudio han sido ajustadas utilizando información adicional que fue entregada de manera personal por profesionales que han trabajado en proyectos de astronomía. Se trata por tanto de información no oficial cuya importancia es entregar estimaciones más precisas sobre ítems particulares.

3.2.3 Las cifras globales de inversión

Se estima que los grandes proyectos astronómicos que se materializarán en Chile en los próximos años demandarán inversiones del orden de los 3.000 millones de dólares.

A este monto se agrega el proyecto ALMA, actualmente en fase de construcción y ya con una parte en operación. El proyecto ALMA presupuesta una inversión de casi 800 millones dólares para la construcción a lo cual se agregan gastos de operación que llevan la inversión proyectada a unos 1.000 millones de dólares o más.

Por su parte, los grandes proyectos en Chile que ya están en operación, han significado inversiones de más de 1.000 millones de dólares, lo que significa que los montos totales invertidos para la construcción de grandes observatorios en Chile superarían los 4.000 millones de dólares.

Sin embargo, como sucede en todo proyecto de inversión por ejemplo en minería, solamente una parte de estos montos corresponde a insumos, servicios o desarrollos originados en Chile.

En efecto, los componentes cruciales de los observatorios son elementos de alta tecnología, fabricados uno por uno, cuya responsabilidad recae en entidades académicas y en empresas de los países que financian la construcción. Se destaca que la prioridad de los contratos la tienen los proveedores que pertenecen a los países que aportan los recursos para el diseño, construcción y operación de los observatorios.

Tabla n° 2 .1. Costos de Construcción de los Grandes Observatorios en Chile	
En Operación	Costo aproximado (millones de USD)
Magellan Telescopes	100
Gemini	300
VLT	700
ACT	40
TOTAL CONSTRUIDO	1.140
En construcción	
ALMA	1.000
Proyectado	
TAO	100
LSST	500
CCAT	200
GMT	800
E-ELT	1.500
TOTAL PROYECTADO	3.100

Fuente: elaborado a partir de Dr. Mónica Rubio, “**Overview of Astronomy Facilities in Chile**”, Pucón Symposium 2011:Advanced Mathematical Tools for Frontier Astronomy and other Massive Data-driven Sciences. 16.08.2011

Los montos señalados son en gran parte ejecutados en los países miembros de los consorcios y no significan capitales que ingresan al país sino equipamiento de alta tecnología que llega ya fabricado al país, mientras que en Chile los gastos se concentran en bienes y servicios no transables tales como construcción de caminos, de edificios, suministro eléctrico y otros ítems no diferenciados.

Se requiere por tanto un análisis más desagregado de cómo los montos señalados en la Tabla n° 2.1 se reparten en los distintos ítems.

3.2.4 Los principales ítems de inversión

Para este análisis se han considerado los proyectos ALMA, LSST, CCAT, GMT y E-ELT.

Respecto del proyecto TAO, no se ha considerado debido a que se trata de un monto menos importante y no se cuenta con información de detalle.

Las cifras que se entregan a continuación han sido obtenidas de la información pública más reciente que ha sido posible encontrar.

PRINCIPALES ASPECTOS DEL GASTO DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS

De los miles de millones de dólares de inversión en proyectos astronómicos anunciados para Chile en los próximos años, es importante destacar que:

- a. En lo que concierne al diseño y la fabricación, una parte importante de la inversión se materializa en los mismos países que financian la construcción del observatorio. Esto es particularmente relevante en el caso de los instrumentos científicos, de los espejos y de las antenas que históricamente se han construido en los países miembros de los consorcios. A Chile llegan los sistemas una vez fabricados. Localmente, se ensamblan, se calibran, actividades que tienen costos inferiores a los que representa el diseño y construcción.
- b. Un porcentaje de los gastos de construcción corresponden a bienes no transables tales como edificios, caminos, suministro eléctrico, de agua, que por ende solamente pueden ser provistos por empresas con base local.
- c. Existe una zona de ítems de inversión que está en niveles intermedios de tecnología o de ingeniería. Es decir, tienen un nivel superior a la tecnología "commodity" o no diferenciada pero sin llegar a los niveles de tecnologías de frontera. Esta zona podría ser abierta a que en la competencia participen empresas chilenas.
- d. El monto de los gastos de operación, considerados en el total de la vida útil de un observatorio, supera nominalmente los costos de inversión.
- e. Los gastos de operación son primordialmente gastos en recursos humanos. Los subcontratos de mantención durante la fase de operación de los observatorios, representan montos menores y se trata principalmente de servicios de telefonía, Internet, mantención de edificios, mantención de instalaciones, jardinería, gasfitería.
- f. Respecto de la mantención más especializada, tales como mantención de los instrumentos científicos y de los telescopios, así como de electrónica especializada y mecánica de precisión, se observa una preferencia de los observatorios por el trabajo interno ("in house") a cargo de ingenieros que forman parte de la planilla de los consorcios.
- g. La preferencia por personal interno es también válida para las labores de operación y control de observación.
- h. En el estado actual, el límite de gasto en el sitio alcanza un 20% del costo total.

De acuerdo a lo señalado por la ESO, para los proyectos europeos o con participación europea, no existe información adicional a dichas cifras.

Los valores se han estructurado con el objetivo de analizar los porcentajes asignados a los distintos ítems y no tienen validez oficial.

En algunos casos, los datos de un mismo proyecto provienen de diferentes fuentes y se ha intentado ajustar las cifras para lograr un resultado coherente.

Por ejemplo, para el proyecto ALMA se ha utilizado como referencia del costo del diseño, el monto informado por la NSF. Para los ítems generales de ALMA se ha utilizado la base de Rafal (2002) ajustada con datos de Beasley (2005). El total del costo de ALMA no incluye costos adicionales que llevan el proyecto a los 1,3 mil millones de dólares que es la estimación a la fecha.

Tabla n° 2.2. Costos Estimados de Construcción de proyectos de Observatorios en Chile. Incluye contingencia		
Observatorio	Costo total estimado (incluye contingencia)	Contingencia
LSST	473	102
CCAT	108,75	0
E-ELT	1.407,9	130
GMT	611	
ALMA	855	0
TOTAL	3.456	231

Fuente: elaboración propia a partir de información pública

La Tabla n° 2.2. resume las estimaciones de los observatorios respecto del monto total que requiere la construcción en instalación de cada telescopio o radio telescopio en el sitio. Se indica cuándo un presupuesto incluye un monto de contingencia que considera tanto el riesgo tecnológico del proyecto como el riesgo económico. El riesgo tecnológico se refiere especialmente a la eventual necesidad de incorporar nuevos materiales, nuevos dispositivos o mayor complejidad de programación para lograr las prestaciones requeridas. El riesgo económico se refiere a las fluctuaciones de precio de insumos claves como por ejemplo el acero.

Tabla n°2.3 Costos Estimados de Diseño de Observatorios en Chile			
Observatorio	Costo total estimado (sin contingencia)	Costo estimado del Diseño	Porcentaje
LSST	371	40	10,8%
CCAT	109	10	9,2%
E-ELT	1278	74	5,8%
GMT	611	57	9%
ALMA	855	32	3,7%

Fuente: elaboración propia a partir de información pública

La Tabla n° 2.3 resume las estimaciones de los costos de diseño de los diversos proyectos. La cifra que corresponde a ALMA ha sido obtenida del sitio WEB de la NSF norteamericana y corresponde al gasto en el año 2003.

Se observa que el costo del diseño oscila entre el 5% y el 10% del total del proyecto. El diseño es generalmente asumido por consorcios de universidades y empresas bajo la dirección de personal de los observatorios. Concurren también expertos externos. Los costos del personal propio de los observatorios o de los expertos pueden estar incluidos no en los costos de diseño sino en los costos de operación. Por ejemplo, el costo señalado del diseño del E-ELT corresponde al monto del contrato con el consorcio encargado del diseño y no toma en cuenta los costos de recursos humanos de la ESO.

La Tabla n° 2.4 indica los costos estimados del componente central del telescopio. Este costo incluye los espejos o antenas, los instrumentos científicos (detectores de fotones, espectrógrafos) la montura de los espejos o antenas y domos. Incluye también los dispositivos de control de posición de los telescopios, la electrónica de adquisición y transmisión de datos, correladores y hardware en general.

Estos datos se presentan agrupados en un solo monto para entregar una idea del orden de magnitud del gasto que se efectúa en los países miembros de los consorcios de observatorios.

Tabla n°2.4 Costos Estimados de Construcción de Telescopios e instrumentos			
Observatorio	Costo total estimado (sin contingencia)	Costo estimado de construcción del telescopio, instrumentos científicos, domos, hardware	Porcentaje
LSST	371	307	82,6%
CCAT	109	75	69,2%
E-ELT	1278	1128	88,3%
ALMA	855	586	68,5%
GMT	611	506	82,8%

Fuente: elaboración propia a partir de información pública

En efecto, si bien dentro de las cifras indicadas en la Tabla n° 2.4 están incluidos gastos de integración y de montaje en Chile, los montos asociados a esos gastos son un porcentaje menor. La parte importante son los instrumentos científicos que, como se detalla más adelante, cada uno de ellos puede tener un costos del orden de 30 a 50 millones de dólares mientras que un espejo de gran dimensión puede alcanzar cerca de los 100 millones de dólares incluyendo el soporte o montura y la óptica adaptativa.

En el caso de ALMA, la cifra contiene el monto de 50 millones de dólares de electrónica que incluyen el correlador y el subsistema de computación.

Es relevante por tanto considerar que casi un 70% de los costos estimados de un gran proyecto de astronomía se ejecuta en los países miembros del consorcio y en el caso de ALMA, no representa necesariamente los costos reales sino las estimaciones de los aportes de los países miembros. A Chile llegan los sistemas ya construidos para ser integrados o montados. La participación de empresas chilenas en estos ítems es aún marginal.

La Tabla n°2.5 presenta las estimaciones del gasto en la habilitación del sitio en que será instalado el telescopio. Incluye la edificación de oficinas en ciudades chilenas y las instalaciones para mantención del equipamiento.

Este gasto se refiere fundamentalmente a bienes y servicios no transables, si bien puede incluir elementos importados como equipos de aire acondicionado, telefonía, iluminación.

Tabla n°2.5 Costos Estimados de Desarrollo del sitio para proyectos de Observatorios en Chile			
Observatorio	Costo total estimado (sin contingencia)	Desarrollo del sitio	Porcentaje
LSST	371	17	4,4%
CCAT	109	12	10,6%
E-ELT	1278	75	5,9%
ALMA	855	141	16,4%
GMT	611	48	7,9%

Fuente: elaboración propia a partir de información pública

Se aprecia que el gasto en el sitio fluctúa entre un 5% y un 16%.

No obstante, estas cifras se refieren a los subcontratos que se realizan con empresas constructoras o de servicios. Es necesario agregar el costo de los recursos humanos que los observatorios deben destinar en Chile así como sus gastos de operación.

Si a ello se suman los costos de test en terreno, el montaje de los sistemas, la calibración de los instrumentos, esta cifra aumenta en algunos puntos. La ESO estima que del total del costo de un proyecto de observatorio astronómico, hasta un 20% puede ser gastado en el sitio. (Comunicación verbal del Dr. Massimo Tarenghi, Director General de ESO en Chile)

En el estado actual de la participación chilena en los proyectos de observatorios, este 20% representa el máximo que podría ser facturado en Chile.

La Tabla n° 2.6 presenta las estimaciones de los gastos anuales de operación de cada proyecto. Estas cifras incluyen recursos humanos, depreciación, mantenimiento y algunos gastos de desarrollo científico. Típicamente se estima que un 70% de este gasto de operación se ejecuta en Chile. Sin embargo, estas cifras están sujetas a constante revisión en función del presupuesto real asignado año a año a cada proyecto.

Tabla n°2.6 Costos Anuales de Operación Estimados de proyectos de Observatorios en Chile			
Observatorio	Costo total estimado (sin contingencia)	Gastos de operación por año	Porcentaje
LSST	371	37	10,0%
CCAT	109	10	9,2%
E-ELT	1278	65	5,1%
ALMA	855	65	7,6%
GMT	611	32	5,2%

Fuente: elaboración propia a partir de información pública

Lo relevante de esta tabla es indicar que, considerando una esperanza de vida de 30 años para cada observatorio, el gasto de operación en todos los casos supera a la inversión inicial de diseño y construcción de un telescopio.

3.2.5 Desglose de cifras de inversión de los principales proyectos astronómicos en Chile

3.2.5.1 Proyecto European Extremely Large Telescope (E-ELT)

El proyecto E-ELT se ha estado desarrollando desde el año 2005, a cargo de la ESO.

Este telescopio contará con un espejo de 42 metros de diámetro. Para su instalación se eligió el cerro Armazones, en la región de Antofagasta, Chile.

El costo del proyecto bordea los 1080 EUR. En las referencias y reportes se considera este valor como el costo de la construcción del proyecto.

El costo de diseño se estima en 57 millones de euros, de acuerdo a la información del sitio http://www.eso.cl/e_elt.php.

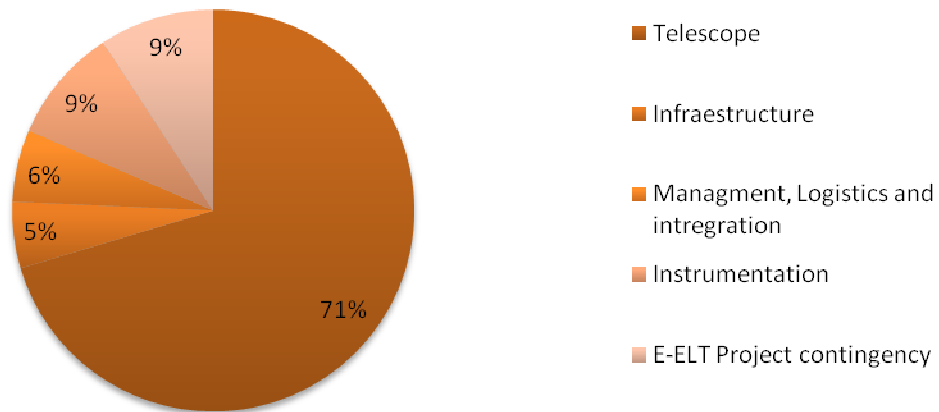
Los detalles del presupuesto de construcción se encuentran en el reporte oficial de ESO, “The E-ELT Construction Proposal” que informa los siguientes valores:

Tabla n° 2.7	
Budget E-ELT Construction Proposal	
Telescope	EUR (M)
Dome and main structure	€ 349
Optomechanical System	€ 366
Control System	€ 47
Infraestructure	
Civil and supporting infrastructure	€ 58
Managment, Logistics and intregation	
Project Office	€ 38
AI VC, Site Logistics and Data Operatio	€ 25
Instrumentation	
Instrumentation	€ 100
Sub-total	€ 983
E-ELT Project contingency	€ 100
Total	€ 1.083

Fuente: The E-ELT Construction Proposal ESO.

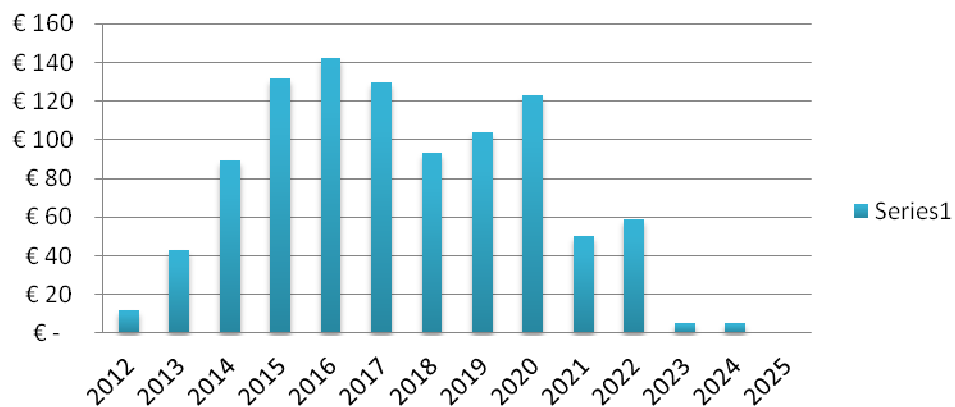
La distribución de inversión según el elemento se muestra en el siguiente gráfico, en el cual se puede observar de manera clara, que dentro de la construcción del proyecto, el gasto de inversión más grande se realiza en el propio telescopio, correspondiendo a un 71% del costo total de la inversión. Este ítem contempla, la estructura principal, el domo, sistema de control y sistemas mecánicos propios de la estructura.

Budget E-ELT Construction Proposal



Fuente: elaboración propia a partir del documento ESO "The E-ELT Construction Proposal"

E-ELT schedule foreseen cash flow during the execution of the project EUR(M)



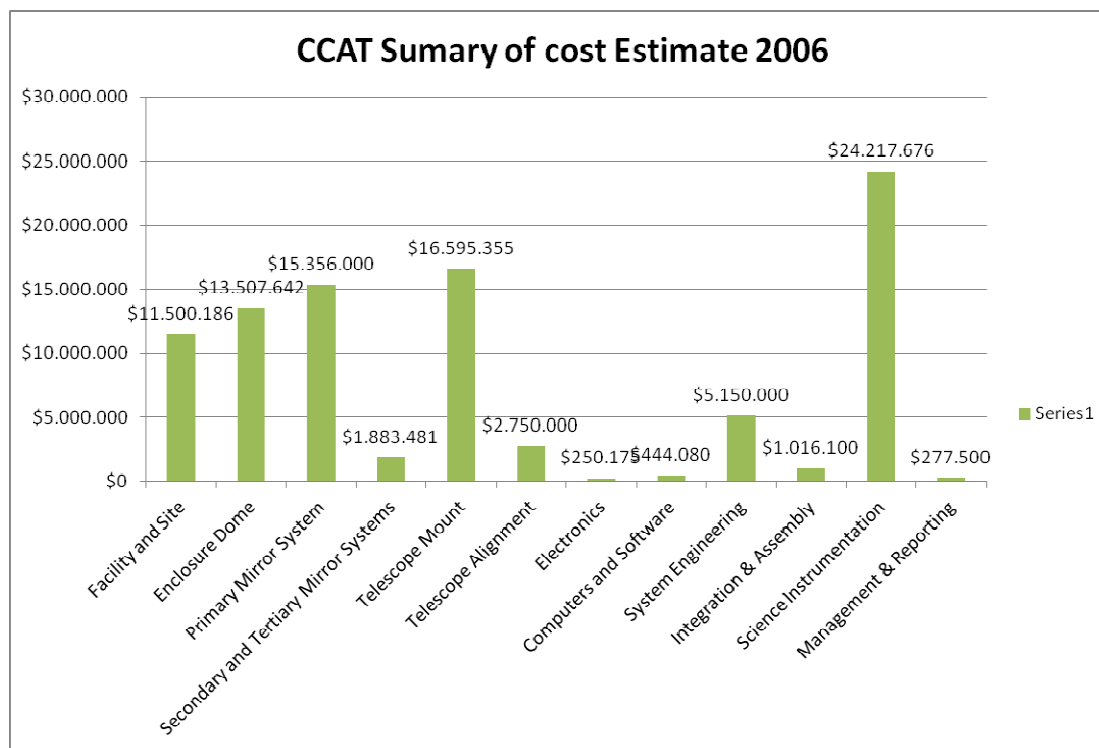
Fuente: The E-ELT Construction Proposal ESO.

3.2.5.2 The Cornell Caltech Atacama Telescope (CCAT)

The Cornell Caltech Atacama Telescope, es un proyecto de la Universidad y el Instituto de Tecnología de California. Este proyecto es administrado por un consorcio. La vida útil de este proyecto se contempla de al menos en 20 años.

El costo total del proyecto ha sido estimado por un estudio realizado entre el año 2004-2006 por Giovanelli, extraído de pagina web oficial del proyecto¹. Se estima un costo total de alrededor de US\$ 110,37 M.

La distribución de elementos para la construcción del CCTA, se muestran en el siguiente gráfico, en el cual se puede observar que la mayor inversión se realiza en 'Science Instrumentation'.



Fuente: CCAT Riccardo Giovanelli, John Carpenter, Simon Radford, Thomas Sebring, Thomas Soifer, Gordon Stacey, Jonas Zmuidzinas & the CCAT Collaboration

¹ <http://www.submm.org/doc/pubs.html>

Tabla n° 2.8	
CCAT Cost Summary (unit=10⁶ US\$)	
Wbs Area	Cost
Observatory Facility	\$ 7,62
Lower Elevation Support Facility	\$ 2,81
Telescope Dome	\$ 10,22
Primary Mirror	\$ 13,95
Secondary and Tertiary Mirrors	\$ 2,68
Mount	\$ 14,20
Optical Assemblies	\$ 2,02
Misc. Electronics	\$ 0,25
Telescope Control System	\$ 0,44
System Engineering Contracts	\$ 1,00
Integration & Commissioning	\$ 1,02
First Light Instrumentation	\$ 20,00
Management non-labor Costs	\$ 0,28
Total for Contracts & Purchases	\$ 76,40
Labor Cost	
Raw labor	\$ 7,16
Fringes & benefits 32%	\$ 2,29
Overhead 10%	\$ 0,94
Total labor cost	\$ 10,30
Additional Cost	
Travel 20% of raw labor	\$ 1,43
Contingency 25% of Budget	\$ 22,07
Total project Cost	\$ 110,37

Fuente: CCAT Riccardo Giovanelli, John Carpenter, Simon Radford, Thomas Sebring, Thomas Soifer, Gordon Stacey, Jonas Zmuidzinas & the CCAT Collaboration.

Este proyecto ha publicado información acerca del detalle de la asignación de costos de diseño por un monto de 3 millones de dólares, que se detallan en la Tabla 4.2.9.

Se aprecia que los subcontratos de estudios geotécnicos, diseño de caminos y de los edificios del sitio, suman unos 200.000 dólares.

Tabla n° 2.9 Detalle de costos de diseño del proyecto CCAT		
WBS	Tasks	\$3M
1.0 Facility and Site	Geotechnical Survey	\$50
	Road Design and Analysis	\$50
	Facility Conceptual Design Including Foundations	\$150
2.0 Dome	Dome Structure Design	\$100
	Dome Mechanisms Design	\$150
3.0 Primary Mirror System	Primary Mirror Truss Design and Analysis	\$50
	Segment Raft Concept Design Study	\$125
	Machined Al Tile Study/Demo	\$125
	Segment Sensor Development	\$50
	Integrated Optic/Truss/Sensing/Control Study	\$200
4.0 M2 and M3	M2 & M3 Optics Design Study	\$50
	M2 & M3 Mechanisms Study	\$75
5.0 Telescope Mount	Mount Concept Design Update and Analysis	\$200
6.0 Optical Assemblies	Calibration Interferometer Development	\$100
	Guider Concept Development	\$50
7.0 Electronics	Electronics Scope and Cost Study	\$50
8.0 Computers and Software	Control Architecture Concept Development	\$100
9.0 System Engineering	Telescope Performance Model	\$225
10.0 Integration & Assembly	staff	
11.0 Science Instruments	Instrument Design Studies	\$100
12.0 Staff Salaries		\$900
	Contingency	\$100
TOTAL		\$3,000

Fuente: CCAT Concept Design Phase 2010- 2011, www.astro.cornell.edu

3.2.5.3 Large Synoptic Survey Telescope (LSST)

El 'Large Synoptic Survey Telescope (LSST), es un proyecto de telescopio de 8,4 metros que será instalado en el Cerro Pachón, región de Coquimbo, y su inicio de funcionamiento está contemplado para el año 2012.

De acuerdo al informe de Donald Sweeney, LSST Project Management, el proyecto en si tiene una duración de 10 años, donde se contemplan las 3 grandes etapas:

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Diseño y Desarrollo

Construcción.

Operaciones.

El costo del diseño, contemplado en un periodo de 4 años (2005-2008) varía entre los US\$ 29 Millones², a los US\$ 40 Millones³.

El costo de construcción se estimaba en US\$ 295 millones en el año 2006, de acuerdo al reporte de Donald Sweeney. La distribución de costos según dicha estimación, se distribuyen según la Tabla n°2.10.

Tabla n° 2.10 Detalle de costos de diseño del proyecto LSST	
Asignación Total de costos de Construcción	US\$ M
Project Office	10,3
Data Managment	79,2
Camera	89,5
Telescope and Site	116
Total	295

Fuente: Reporte de Donald Sweeney, Director Project Managment LSST en el año 2006.

Una estimación posterior, del año 2007 estimaba el costo total en US\$ 390 millones⁴. Esta misma fuente estima un costo del equipo de operación en Chile de 15 millones de dólares anuales, si bien las estimaciones del total del costo de operación alcanzan un total de 37 millones⁵.

Los contratos de construcción que deben ser licitados se estima que alcanzarán unos 92 millones dólares, de acuerdo al detalle de la Tabla n°4.2.11.

² The Large Synoptic Survey Telescope Design and Development Proposal, submitted to the National Science Foundation by the LSST Corporation, December, 2003

³ Donald Sweeney, LSST Project Manager, LSST Project Management - LSST Director's Review – SLAC March 8-9, 2006

⁴ Dr. Charles F. Claver, Dr. Chris Smith, "LARGE SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE" presentado en SOFOFA, Santiago, Chile, Junio 2007.

⁵ DOE-NSF_Joint_Programs_Craig_Foltz.pdf

Si bien las estimaciones del costo total de la infraestructura que se instalará en Chile superan los 160 millones de dólares⁶, de ello solamente un poco más de 10 millones de dólares son claramente contratos que deben ser ejecutados por empresas chilenas o establecidas en Chile y comprende los edificios de oficina, el “Base Computing” y el “Data Access Center”⁷.

Tabla n°4.2. 11
Contratos de construcción del proyecto
LSST

Subsystem	Budget (US\$)
Summit facility	12 M
Telescope mount	23 M
Dome	10 M
Base facility	2 M
Primary Mirror	20 M
Secondary Mirror	10 M
Coating facility	10 M
Calibration telescope	4 M
Architect and engineering	1 M

Fuente: Dr. Charles F. Claver, Dr. Chris Smith, “LARGE SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE”
presentado en SOFOFA, Santiago, Chile, Junio 2007

⁶ Dr. Charles F. Claver, Dr. Chris Smith, “LARGE SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE” presentado en SOFOFA, Santiago, Chile, Junio 2007.

⁷ Idem.

Tabla n°4.2.12
Detalle de costos de construcción del proyecto LSST

LSST PROJECT		Subsystem Total	Componet Total
Project Mgmt Office		\$ 259.000.000	\$ 259.000.000
Contingency, project Managment		\$ 10.300.000	
			\$ 2.000.000
1.01	Project managment office		\$ 4.000.000
1.02	Project Controls		\$ 1.100.000
1.03	System Engineering		\$ 900.000
1.04	LSST Science		\$ 400.000
1.05	Safety and Enviornmental Assurance		\$ 400.000
1.06	Performance Assurance		\$ 400.000
1.07	Special Project and R&D		\$ 1.100.000
	Total		\$ 10.300.000
Data Managment		\$ 79.200.000	
	Contingency, Data Managment		\$ 15.840.000
2.01	System Managment		\$ 900.000
2.02	System Engineering		\$ 900.000
2.03	Safety and Enviornmental Assurance		\$ 500.000
2.04	Performance Assurance		\$ 500.000
2.05	Hardware/ Software Deliverables		
02.05.1.1	Nightly Data Pipelines and Products		\$ 12.100.000
02.05.1.2	Science Data Archive		\$ 8.200.000
02.05.2	Middleware		\$ 8.100.000
02.05.3.1	Mountain/Base Facility Infraestruture		\$ 3.560.000
	Telescope And Site	\$ 116.000.000	
	Contingency, Telescope and Site		\$ 23.200.000
4.01	System Managment		\$ 4.000.000
4.02	System Engineering		\$ 750.000
4.03	Safety and Environmental Assurance		\$ 500.000
4.04	Performance Assurance		\$ 500.000
4.05	Hardware / Software Deliverables		
04.05.1	Facilities and infrastructure		\$ 12.800.000
04.05.2	Dome		\$ 6.000.000
04.05.3	Telescope Mount		\$ 22.400.000
04.05.4	Mirrors		\$ 31.500.000
04.05.5	WFS and Aligment		\$ 1.000.000
04.05.6	Calibration System		\$ 4.000.000
04.05.7	Software and Control		\$ 4.300.000
04.05.8	Observatory Mointoring System		\$ 700.000
04.05.9	Equipment and Support Subsystem		\$ 11.500.000
4.06	Telescope Integration and Test		\$ 3.000.000
4.7	Observatory Integration, Test and Commissioning support		\$ 2.000.000

Fuente: Reporte de Donald Sweeney, Director Project Managment LSST en el año 2006.

3.2.5.4 Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA)

ALMA es un proyecto que ya está en operación con una parte del total de las antenas proyectadas.

Los contratos principales se refieren al diseño y construcción de las antenas y sus sistemas de instrumentos y correlador.

La construcción de un prototipo de antena, contratado a la empresa Vertex Antenna Systems, significó un monto de 6,2 millones de dólares el año 2000⁸.

Se estima que en total, el proyecto ALMA gastó \$31.99 millones de dólares en Diseño y Desarrollo⁹.

Para la construcción de las antenas, cada participante firmó contratos con empresas de su país o zona.

La ESO firmó un contrato por 147 millones de Euros (aproximadamente 190 millones de dólares) en diciembre del 2005, con un consorcio liderado por Alcatel Alenia Space, que incluye la empresa italiana European Industrial Engineering y la alemana MT Aerospace¹⁰ para construir 25 antenas.

Por su parte, el socio norteamericano firmó un contrato de 169 millones de dólares con General Dynamics C4 Systems en julio de 2005 para construir otras 25 antenas por su filial VertexRSI.

Japón aporta las antenas adicionales construidas por Mitsubishi Electric Co. (MELCO)¹¹.

En el acceso a conectividad internacional REUNA apoya a ALMA en estas necesidades para transferir los datos a Europa, Japón y Norteamérica.

⁸ NRAO Home - Press Releases - Contracts Awarded for ALMA Prototype Antennas *March 14, 2000*

⁹ Información de NSF web site: http://www.nsf.gov/about/budget/fy2003/nar_mrefc.htm

¹⁰ <http://www.eso.org/public/news/eso0540/>

¹¹ . Andrew Clegg, ED Online ID #14304, December 2006

Las estimaciones de costos son presentadas de manera referencial en la Tabla n° 4.2.11. Dicha tabla ha sido elaborada a partir de la información original de Marc Rafal, de NRAO, ALMA-US Project Manager. Las cifras de Rafal fueron ponderadas de acuerdo a la estimación de Tony Beasley.

Tabla n°4.2. 13 Costos de construcción del proyecto ALMA	
1 Management / Admin	86,3
2 Site Development	140,5
3 Antenna Subsystem	311,5
4 Front End Subsystem	116,7
5 Backend Subsystem	57,3
6 Correlator	10,9
7 Computing Subsystem	41,3
8 System Eng. & Integration	48,1
9 Science / EPO	10,4
Total	823,0

Fuente: elaboración propia a partir de Marc Rafal, NRAO, ALMA-US Project Manager, Project Science Workshop, January 18-19, 2002, Pasadena, California, corregidas con la información de Tony Beasley, ALMA

3.2.6 Gastos de operación de los principales proyectos astronómicos en Chile

Esta sección está basada en información aportada por profesionales que tienen experiencia en el trabajo de los observatorios, pero no constituye información oficial de los consorcios.

El observatorio de Tololo declara que en su presupuesto de operación, mantiene subcontratos con proveedores locales por unos 6 millones de dólares por año. Estos subcontratos son fundamentalmente servicios no diferenciados como jardinería, mantención de edificios, alimentación, transporte, Internet, telefonía de voz.

El objetivo de este punto es ilustrar las prácticas de gastos en mantención más especializada e indicar órdenes de magnitud de los gastos, si éstos son estimables.

No se consideran los servicios no diferenciados.

- a. Soporte de ingeniería para el telescopio y los instrumentos: provisto por staff interno o por especialistas contratados por periodos de tiempo limitados. El gasto anual puede estar entre US\$500K a US\$ 1 Millón para un observatorio grande y entre US\$100 a 500K para uno pequeño.
- b. Mantenimiento de partes mecánicas y estructuras: provisto por profesionales de la planta interna de los observatorios
- c. Mantenimiento criogénico: provisto por empresas extranjeras. Gasto entre US\$50.000 y US\$ 200.000 por año.
- d. Operación de maquinaria CNC para fabricación de piezas especiales. provisto por profesionales de la planta interna de los observatorios pero para trabajos de bajo nivel tecnológico se recurre a empresas locales. Gasto entre US\$50.000 y US\$-100.000 por año.
- e. Mantenimiento eléctrico: provisto tanto por profesionales de la planta interna de los observatorios como por contratistas externos. Gasto entre US\$50.000 y US\$-100.000 por año.
- f. Diagnóstico y reparación de dispositivos electrónicos: provisto tanto por profesionales de la planta interna de los observatorios como por los fabricantes extranjeros. Los observatorios pueden enviar las piezas al fabricante extranjero para su reparación. Gasto entre US\$50.000 y US\$-100.000 por año.
- g. Mantenimiento y reparación de componentes ópticos: provisto por los fabricantes extranjeros. Los observatorios pueden enviar las piezas al fabricante extranjero para su reparación. Gasto entre US\$5.000 y US\$-20.000 por año.
- h. Mantenimiento de espejos: provisto por profesionales de la planta interna de los observatorios. Gasto entre US\$100.000 y US\$ 200.000 por año.
- i. Mantenimiento de actuadores: la ESO Paranal planeaba originalmente repararlos en Europa, pero tomó la decisión de hacerlo en Chile, con personal interno. Gasto entre US\$10.000 y US\$ 50.000 por año.
- j. Mantenimiento del suministro eléctrico: por personal interno o contratistas locales. Existen casos como. Paranal cuyas turbinas son monitoreadas remotamente por un contratista suizo. Gasto entre US\$20.000 y US\$ 50.000 por año.
- k. Helio, nitrógeno y aire comprimido. Provisto por subcontratistas. Gasto de unos US\$ 50.000 por año
- l. Transmisión de datos: subcontrato con grandes empresas de telecomunicaciones.
- m. Servicios de meteorología: proveedores europeos o USA. Gasto entre US\$10.000 y US\$ 20.000 por año.

3.3 REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA Y SERVICIOS DE LOS OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS

REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA Y DE SERVICIOS

- a. Los espejos, las antenas, los instrumentos científicos tales como cámaras IR y espectrógrafos, son elementos construidos uno a uno y tienen requerimientos de funcionamiento que están en la frontera de la tecnología. No existe por tanto un estándar o normas predefinidas.
- b. Los elementos de soporte y protección de los telescopios, tales como monturas y domos, tienen exigencias menos elevadas, pero superan el estándar común de construcciones mecánicas o de edificios ya que tienen requerimientos especiales respecto de comportamiento térmico, vibraciones, precisión de movimientos.
- c. Para todos los componentes y dispositivos, electrónicos, mecánicos, hidráulicos, sean éstos diseñados específicamente para el observatorio o sean adquiridos “off the shelf”, se aplican las normas ISO, IEC, EN, MIL, EMC, que sean de aplicación en los países miembros del consorcio.
- d. Al igual que en las industrias productivas o de recursos naturales, existe la preocupación de que los sistemas o componentes que provienen de diferentes proveedores respondan a normas y protocolos comunes que garanticen la compatibilidad entre proveedores y faciliten el mantenimiento.
- e. Respecto de la infraestructura, todas las construcciones, las instalaciones eléctricas, las sanitarias, deben cumplir con las normas europeas o norteamericanas, a la vez que con las regulaciones chilenas. La práctica de los contratistas es cumplir con la norma más restrictiva de todas ellas.
- f. Se está difundiendo la práctica de que los servicios contratados por los observatorios se basen en un SLA (Service Level Agreement).
- g. Respecto de la mantención de equipos, partes y piezas de los telescopios e instrumentos, la práctica de los observatorios privilegia la contratación interna de profesionales para realizar estas actividades, debido a la especificidad de cada instrumento. La externalización no es una práctica.
- h. Con frecuencia se observa que los requerimientos de calidad por parte de los grandes observatorios se refieren con más fuerza a las capacidades profesionales y a la experiencia de los proveedores que a los productos y a los servicios mismos. El concepto de “trusted provider” y la experiencia previa de las empresas, grupos universitarios o consorcios, son dominantes.

Esta sección analiza los requerimientos de los proyectos de grandes observatorios. El producto ha sido definido como “Identificar y cuantificar los requerimientos, en cuanto a tecnología y servicios, de los observatorios astronómicos instalados y por instalarse en Chile; así como la calidad o nivel del servicio requerido”.

El análisis ha sido estructurado de acuerdo a los niveles de tecnología que demandan los diferentes componentes, niveles que van desde las tecnologías de frontera a los servicios no diferenciados.

3.3.1 Alta tecnología: Diseño y construcción del Telescopio, Montura y los Instrumentos Científicos.

Los observatorios son recurrentes en señalar que sus componentes más específicos, es decir los espejos o antenas y los instrumentos científicos tales como cámaras CCD, espectrógrafos, son diseñados y construidos uno a uno por lo cual no existen requerimientos genéricos ni estándares como es el caso del material militar o industrial.

Cada nuevo proyecto responde a una necesidad científica no satisfecha con los instrumentos en uso. Por tanto, cada nuevo proyecto se sitúa, según los científicos, “well beyond the state-of-art”.

El diseño y la construcción de los nuevos observatorios es por tanto una tarea de alto riesgo, de incertidumbres tanto respecto de la factibilidad tecnológica como de los costos y plazos en que se puede lograr el nuevo instrumento.

En atención a que cada uno de los proyectos es específico en sus requerimientos, se presentan aquí solamente ejemplos de cómo se especifican los sistemas y los desafíos que conllevan su diseño y su construcción.

Los espejos son especificados en primer lugar en cuanto a su diámetro y posiblemente respecto del número de segmentos que lo compondrían. También es parte del concepto inicial el sistema de óptica adaptativa.

Es común que la definición de los materiales y las geometrías específicas sean definidas por consorcios de universidades y/o empresas, según los requerimientos funcionales.

Dichos requerimientos funcionales tienen que ver con elementos tales como las máximas deformaciones aceptables en condiciones de gradientes de temperatura así como las deformaciones gravitacionales producto del movimiento de los espejos o antenas.

A modo de ejemplo, el diseño del E-ELT especifica que¹²:

“Industrial and academic teams across Europe have been mobilised to answer the primary design questions on how to build this ambitious telescope within reasonable bounds of cost and risk, whilst meeting the demanding requirements generated by the science teams.”

“The E-ELT primary mirror will need to maintain its surface shape to around 10nm rms across its 42m diameter – proportionally equivalent to limiting waves to 2mm in height across the Atlantic Ocean. The E-ELT primary mirror will be made from 984 near-hexagonal segments, each 1.4m across. The challenge of manufacturing these segments was the subject of a previous article in Ingenia 35 (Precision Surfaces, June 2008). Each of these segments will be supported by three actuators, and have sensors that enable its position to be maintained against gravitational and low-speed wind forces.”

“The critical engineering challenges to be addressed in designing and building this giant telescope are all to do with maintaining optical performance of the system in the face of perturbations. These are caused by the fluctuations of refractive index of the atmosphere, variable mechanical loads as the telescope slews round the sky to follow astronomical targets and mechanical disturbance caused by wind forces. There is also the added consideration of possible earthquakes to factor in, if one of the anticipated locations in Chile is chosen.”

El proyecto CCAT por ejemplo, especifica el estudio para el diseño del soporte del espejo, estudio que es encargado a empresas de ingeniería¹³:

“The current efforts are intended to validate whether open-loop control of PM segment positions based on look-up tables will perform adequately to meet CCAT specifications. Depending on the outcome of these studies, conceptual design of either the CFRP truss or a steel truss (if a closed-loop control option is selected) will be performed. This will include the truss interface to segments via the segment actuators, detailed design of tubes and joints for the truss, mounting of the truss to the telescope mount, development of assembly plans, and detailed FEM analysis of the truss. The FEM will be a deliverable item suitable for integration into a full telescope FEM. The work will include an estimate of cost. The design of the truss is likely to best be performed by Stutzki Engineering of Milwaukee, the current truss study contractor.”

¹² www.eso.org/sci/facilities/eelt

¹³ CCAT Concept Design Phase 2010- 2011

Este mismo proyecto, especifica para el diseño de la montura:

“The study proposed here would take the design of the mount to the next level of detail; developing designs for the structures, bearings, drives, encoders, brakes, interfaces, and other critical system elements. The designs would be developed in an integrated CAD model suitable for use as part of the CCAT Integrated System Model. Analysis would provide accurate estimates of thermal and gravitational deformations and deflections due to acceleration during scanning modes of operation. The study would also include initial servo control modeling to assist in selection of motors and prediction of following errors and other control parameters. The overall output would include a detailed FEM/control model suitable for inclusion in the overall TPM”

En lo que respecta a los instrumentos científicos, el E-ELT es un ejemplo de la manera en que se especifican los requerimientos:

“An example of the technology challenges is shown here from the UK-French EAGLE concept. This instrument aims to improve the efficiency of the telescope by collecting and analysing infrared light from 20 galaxies simultaneously. The robotic target selection system is used to place pick-off mirrors on the focal plane of the instrument at the images of the galaxies. The beam steering mirrors relay these images to a set of imaging spectrometers. Each channel incorporates an adaptive optics system using a new technique called Multi-Object Adaptive Optics. The EAGLE instrument will enable dynamics of galaxies in the early universe to be studied, to help understand how they came to exist and how rapidly star formation occurred in them.”

Los requerimientos de los espejos, antenas, monturas e instrumentos científicos son por tanto un terreno en el cual cada proyecto tiene su especificidad y que representan desafíos de ingeniería, si bien algunos elementos como la criogenia y la electrónica de bajo ruido son recurrentes.

En todos los casos, los diseños son altamente exigentes en cuanto a la precisión de funcionamiento, la complementariedad entre las diferentes partes y la modelación matemática mediante métodos de FEM para asegurar el comportamiento térmico, la deformación mínima y la precisión geométrica.

En este nivel, los observatorios identifican a proveedores de confianza (trusted providers) para abordar las etapas desde el diseño conceptual hasta la fabricación. Dichas etapas típicamente son:

- Especificaciones conceptuales.
- Diseño de detalle
- Modelamiento
- Validación de los diseños,
- Estimación de costos
- Análisis de riesgo
- Fabricación de prototipos.
- Fabricación de partes
- Integración
- Calibración
- Test final

Para aportar un ejemplo de marco de trabajo entre la ESO y el consorcio tecnológico encargado de MATISSE (Multi-AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment), puede verse el documento: G. van Belle, G. Rupprecht, M. Casali, **VERY LARGE TELESCOPE INTERFEROMETER – MATISSE, Statement of Work**, Doc. No.: VLT-SOW-ESO-15860-4819, Issue: 1 (draft 6), Date: 13.05.2011

3.3.2 Mediana tecnología: Sistemas, componentes y dispositivos mecánicos, eléctricos, electrónicos, hidráulicos, ópticos.

Se ha indicado en secciones anteriores que los telescopios son sistemas complejos que, para la operación de los espejos, antenas e instrumentos científicos, necesitan diversos sistemas y dispositivos que tienen un menor nivel tecnológico en el sentido de que su diseño y fabricación representa una menor incertidumbre o bien que los componentes pueden ser adquiridos “off the shelf” en el mercado.

A esta categoría pertenecen los componentes mecánicos de movimiento de montura y de domo, los sistemas electrónicos de control de movimiento y de guiado de los telescopios así como los sistemas para la adquisición y gestión de los datos científicos, los elementos de monitoreo de variables críticas tales como temperatura y vibraciones.

Para los instrumentos, se requieren suministros particulares como los sistemas de criogenia, el control de exposición, control de filtros. Para el domo, se requieren sistemas mecánicos de movimiento, motores, encoders, sujeciones. Para las salas de control, es necesario configurar e instalar la interfaz de usuario, realizar el monitoreo de variables de instrumentos. La adquisición y gestión de los datos científicos puede requerir de filtros digitales correladores y otros soportes para el procesamiento de señales.

Como se ha indicado, estos componentes y dispositivos, electrónicos, mecánicos, hidráulicos, pueden ser diseñados específicamente para el observatorio, pueden ser programados como el caso de los filtros digitales implementados con FPGA o pueden ser adquiridos directamente “off the shelf”.

Para este tipo de componentes, dispositivos o sistemas, tanto las organizaciones norteamericanas como las europeas aplican los conceptos de¹⁴:

- En cada dominio, si existen soluciones “off the shelf” ofrecidas por la industria, deben seleccionarse éstas. Si no son satisfactorias, nuevas soluciones deben ser diseñadas.
- Si son de aplicación normas ISO, IEC, EN, CE, MIL, etc, deben ser cumplidas. Las normas específicas dependen del país o región de cada observatorio. Los proyectos conjuntos como ALMA, en que participan USA, Europa, Japón, elaboran la lista de normas y regulaciones que deben ser aplicadas.
- Las regulaciones de seguridad deben ser estrictamente cumplidas.

Un documento de la ESO¹⁵, preparado para el VLT, sintetiza también la modalidad de aplicación o no de las normas estándares:

¹⁴ Interpretación libre de los documentos “ELT LGS WFS Controller Requirements, Author Javier Reyes. Reference Issue 1.0, Updated: 10.08.10” y “ALMA FE - Hazard Analysis & Risk Assessment, FEND-40.90.00.00-006-B-REP, Version: B (draft) 2009-05-14”

“Many Electro-mechanical hardware assemblies and software are developed by ESO for the telescope control and data acquisition systems. In addition, many other commercially available components and standards are adopted for the various VLT systems and sub-systems. Even if not mandatory, it is advisable that as far as possible these standardised items shall also be used for VI control in order to:

- Improve the maintainability of the instruments (hardware and software),
- Increase the reliability of the complete system.
- Standalone instruments are not required to use standardised items.”

“Electronic standards were an important issue during the construction of the VLT and were a major contribution to its widely recognised reliability. With equipment provided by dozens of firms and institutions, maintenance would have been extremely troublesome if each supplier selected their own components and standards”

“It is obviously still too early to specify all the E-ELT standards; and these will in any case evolve as the project develops. Manufacturers receiving major contracts may also select standards that will thereafter become de facto E-ELT standards. But the process of selecting standards is not easy and requires many considerations”. “Standards should also have a broad industrial acceptance to allow multi-vendor procurement”

En este nivel por tanto, los requerimientos pertenecen a tres categorías:

Primera categoría: Normas de aplicación general a todos los productos o sistemas de una industria, por ejemplo normas de compatibilidad electromagnética, que son aplicadas a los insumos de la astronomía.

En atención a que se trata de normas universales y conocidas por todo profesional de las áreas respectivas, este informe sólo se limita a indicar el tipo de norma aplicable sin entrar en detalle ni explicaciones de cada norma. Una lista más completa se encuentra en el punto 3.3.6 al final de esta sección.

Segunda categoría: Normas específicas para la astronomía.

No se han identificado normas particulares, exceptuando la recomendación ITU:

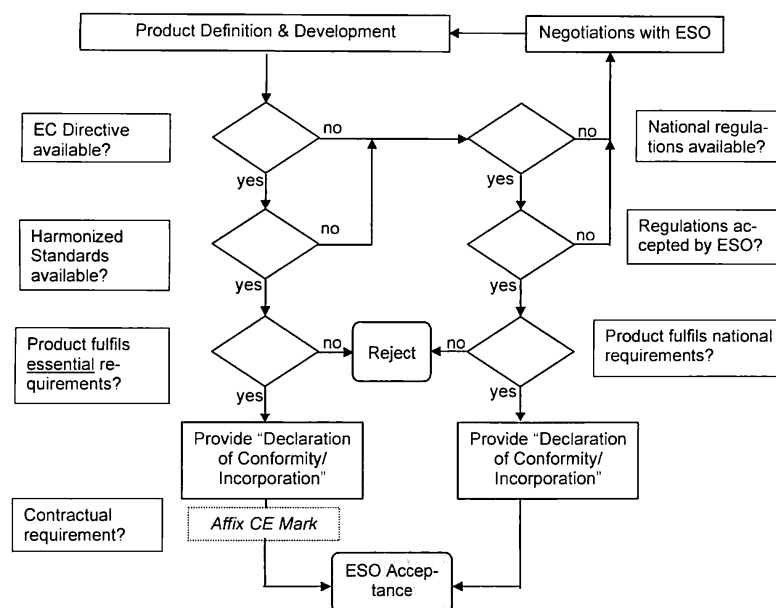
¹⁵ VERY LARGE TELESCOPE, VLT Observatory requirements for visitor instruments at the VLT, Doc. Nr.: VLT-ICD-ESO-15000-4824, Issue: 1, 19.08.09, Prepared by: P. Haguenaer

“Protection criteria used for radio astronomical measurements” RECOMMENDATION ITU-R RA.769-2 Question ITU-R 145/7, 1992-1995-2003, The ITU Radiocommunication Assembly.

Tercera categoría: Normas específicas de una organización (EOS, NRAO, AURA) o para un proyecto astronómico específico (E-ELT, ALMA).

Desde el punto de vista de las normas de una organización, aplicables a todos los proyectos, la ESO, ha anunciado la publicación de un documento sobre los estándares técnicos: “ESO Technical Standards’ document no. GEN-SPE-ESO-00000-2961”. Su publicación está pendiente. Está disponible el document “ESO - Safety Conformity Assessment Procedure For All Project Phases Until Preliminary Acceptance” Doc. No.1 SAF-1N S-ESO-00000-3444, Issue: I, Date: 10.10.2006

La ESO ha elaborado un diagrama de flujo aplicado para evaluar la conformidad de los productos con los estándares de riesgo. El diagrama es reproducido en la figura siguiente:



El proyecto para el cual existe la mayor documentación respecto de normas es ALMA. Lo cual resulta evidente dado que en la construcción de ALMA concurren actualmente tres asociados cuyos aportes tecnológicos deben ser compatibles entre sí.

Los documentos de requerimientos de ALMA han sido elaborados tanto bajo la responsabilidad de NRAO como de la ESO. Éstos se basan en los estándares de cada país o zona y agregan requerimientos específicos al proyecto.

Los principales documentos son:

ALMA-80.11.00.00-001-D-GEN, "ALMA Product Assurance Requirements"

ALMA safety standards, policies, and procedures Conditions Governing the Call for Proposals

ALMA-80.02.00.00-003-G-STD ALMA "Documentation Standards"

ALMA-80.02.00.00-011-C-PLA ALMA "Documentation Control Plan"

ALMA-80.02.00.00-016-A-SPE ALMA Guidelines for Identification and Labeling of ALMA Components

ALMA-80.03.00.00-001-M-LIS, "ALMA Product Tree".

ALMA-80.04.00.00-005-B-SPE "ALMA System Technical Requirements"

ALMA-80.05.00.00-001-B-SPE "ALMA Power Quality Specification"

ALMA-80.05.00.00-005-C-SPE "ALMA System Electrical Design Requirements"

ALMA-80.05.01.00-001-B-SPE, "ALMA System Electromagnetic Compatibility Requirements"

ALMA-80.05.02.00-001-B-SPE "ALMA Environmental Specification"

ALMA-80.05.00.00-004-B-STD "Standard for Plugs, Socket-outlets, and Couplers"

ALMA-80.09.00.00-001-D-PLA, "ALMA Design Reviews - Definitions, Guidelines and Procedures"

ALMA10-08.00.00.003-G-STD ALMA "General Safety Design specification"

ALMA-10.08.00.00-004-A-GEN ALMA "Safety Risk Analysis Procedures"

ALMA-80.07.00.00.001-D-PLA ALMA Interface Management Plan

3.3.3 Diseño y construcción de la Infraestructura

La infraestructura que se construye en las ciudades no tiene requerimientos especiales.

La infraestructura que debe albergar al telescopio o soportar el peso de las antenas presenta desafíos de ingeniería especiales.

Además de las consideraciones sísmicas, es necesario diseñar las instalaciones de manera que las estructuras no transmitan a los telescopios y a los instrumentos vibraciones que afecten la observación. El diseño de las estructuras debe considerar por

tanto las frecuencias propias de los telescopios y modelar los modos propios de los edificios así como las condiciones de amortiguación de movimientos.

Uno de los desafíos de ingeniería son los domos, que se componen de una parte fija y de un parte móvil. Ambas partes pueden ser diseñadas y construidas por empresas distintas, en estrecha colaboración.

Este elemento resulta más estandarizado que los instrumentos señalados en el párrafo anterior y tiene como exigencia primaria proteger el telescopio del clima y el polvo, pero permitiendo abrir la estructura para el trabajo de observación del cielo¹⁶.

Para estas estructuras, existen requerimientos que son adicionales a toda construcción de estructuras mecánicas o de edificios:

- a. Capacidad de movimiento de rotación preciso a la vez que rápido para apuntar el telescopio en la dirección deseada en el mínimo tiempo.
- b. Un control preciso de la temperatura al interior del domo, minimizando las variaciones de la temperatura media así como minimizando los gradientes de temperatura interna.
- c. Proveer atenuación de las fuerzas de vientos.
- d. Elementos para manipular las partes del telescopio para mantenimiento de componentes.
- e. Mecanismos de control de la posición, que incluye encoders, electrónica y software de control de posición.
- f. Diseño de partes que facilite el montaje en el sitio.

Mientras que para la parte móvil de un domo es posible la fabricación en el extranjero y luego el montaje en Chile, la infraestructura fija, de carácter “no importable” (no transable) necesariamente debe contemplar proveedores locales y considerar los permisos y normas chilenas.

¹⁶ “With a telescope of big size, even the enclosure is challenging. It has more in common with modern sports stadiums than existing telescope enclosures, given the huge opening doors needed to allow the telescope to view the sky”

Para las firmas de ingeniería y para las empresas constructoras de obras civiles, proveedores de cableado e instalación eléctrica, resultan de aplicación tanto las normas vigentes en los países de origen de los observatorios, como las normas chilenas.

Un ejemplo de esto se puede ilustrar con la documentación de llamado a presentar ofertas para construir la fundaciones de APEX.

Para el concreto, el contratista debe ceñirse a dos conjuntos de normas¹⁷:

a. American Concrete Institute Standards

ACI-301- 89 "Specifications for Structural Concrete in Buildings"

ACI-302.1 " Guide for Concrete Floor and Slab Construction"

ACI-318 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

ACI – 306 R- 88 "Weather Concreting"

b. Estándares Chilenos

Norma Chilena Oficial 170.Of.85 "Hormigón- Requisitos Generales-"

Norma Chilena Oficial 429.EOf 57 "Hormigón Armado -I parte-"

Norma Chilena Oficial 430.EOf 61 " Hormigón Armado - II parte-"

Norma Chilena Oficial NCh 163 " Aridos para Morteros y Hormigones"

Norma Chilena Oficial NCh 203.Of.77 " Acero para uso estructural-Requisitos"

Norma Chilena Oficial NCh 204.Of.77 "Acero-Barras laminadas en caliente para hormigón armado"

Norma Chilena Oficial NCh 209.OF.71 "Acero-Planchas gruesas para usos Generales de construcción mecánica".

Norma Chilena Oficial NCh 212 "Acero-Planchas delgadas laminadas en caliente para usos Generales.

Norma Chilena Oficial NCh 217 OF.68 "Acero-Planchas delgadas para usos Estructurales.

Norma Chilena Oficial NCh 218 and 219 "Mallas de Alta resistencia para hormigón armado"

¹⁷ European Southern Observatory, Construction of the ESO Atacama Pathfinder Experiment, Radio Telescope Antenna Foundation, Tender document, Doc.: APEX-TDo-ESO-xxxx-xxxx, Issue : 1, Date: September 26, 2002.

Norma Chilena Oficial NCh 434.Of 69 " Barras de Acero de alta resistencia en obras de Hormigón Armado"

A los participantes de la licitación, se les solicita¹⁸:

"For products specified in accordance with ASTM, Chilean standard or other U.S. Standards, BS, DIN, ISO, VDE, IEC, CENELEC and Eurocodes or similar association standards, upon request, the Contractor shall provide an acceptable affidavit by independent testing laboratory, or other source approved by ESO, certifying that the product furnished for this Project complies with the particular standard specifications. Where necessary, requested or specified, supporting test data shall be submitted to substantiate compliance. The manufacturer is subject to ESO's acceptance."

De acuerdo a lo señalado por empresas chilenas constructoras que han trabajado para los observatorios, es común que para los trabajos de infraestructura en Chile el mandante imponga un conjunto de reglas combinando las normas chilenas con las normas europeas o norteamericanas.

Las empresas contratistas deben entonces trabajar en la perspectiva del "peor caso" o de cumplimiento de la norma más exigente de entre ellas.

Adicionalmente, los contratistas deben considerar aspectos particulares como el diseño sísmico, aunque no estuviera explicitado en las bases de los llamados a licitación.

3.3.4 Servicios especializados de mantención, reparaciones y gestión de datos

En la actualidad, la mantención preventiva y predictiva de instrumentos y espejos, reparación, servicios de meteorología, calibración, actualización de Software, insumos para criogenia, fabricación de partes y piezas especiales, son provistos en dos modalidades:

- a. Los dispositivos e instrumentos son enviados al fabricante para el test o reparaciones. Generalmente el fabricante tiene las facilidades de test y reparación en los países de origen de los observatorios.

¹⁸ Idem.

- b. Para reparaciones y mantenimiento de rutina, los observatorios prefieren contratar profesionales que se integran a la planta local del observatorio. Esto es justificado por la alta especificidad de los instrumentos y componentes de alta tecnología.

Esto mismo es actualmente válido para el almacenamiento y la gestión de datos astronómicos, si bien los centros de datos pueden estar físicamente localizados en los países de origen de los observatorios.

Esta situación podría evolucionar hacia un escenario distinto en la medida que en los nuevos proyectos, la generación de datos es de tal volumen que se requieren de enlaces de datos de alta capacidad para la transmisión de la información y Data Centers para su almacenamiento. En este marco, existe una necesidad creciente de contar con un enlace dedicado de alta capacidad, ya no tan solo para facilitar un modelo de operación y la transferencia de los datos sino que también para contar en tiempo real con ingenieros expertos que por tiempo y costo no pueden hacer un diagnóstico en el mismo sitio donde se encuentra el telescopio, lo que con un enlace adecuado permitiría ahorrar tiempo y dinero.

Hay que distinguir que este tipo de telescopios tienen dos tipos de necesidades en materia de conectividad, una para el área administrativa (servicios básicos, acceso a correo, sitios web, etc.) lo que puede ser resuelto con algún mecanismo estándar pero, por otro lado, para el área científica se requiere una conectividad diferente con grandes capacidades (sobre los Giga bit por segundo) y dinámicas, es decir, que permitan experimentación de manera de ajustarse a las necesidades, cambios tecnológicos que van implementando los observatorios sobre todo en materia de transferencia de datos. Un ejemplo de esto serán el LSST y ALMA. El primero, además de las grandes capacidades de transferencia, requerirá el diseño de un mecanismo eficiente de transferencia de información, distinto a lo que se usa convencionalmente. En ALMA sucede algo similar al requerir a futuro una optimización en la transferencia de la información hacia los repositorios en los distintos sitios. En este sentido las redes académicas juegan un rol relevante y es el modo en que los observatorios en los otros países han resuelto sus necesidades de conectividad para el ámbito científico.

En lo que respecta a los servicios de tecnologías de la información relacionados con factores de menor criticidad¹⁹, es decir computadores de escritorio, servidores, páginas Web, servidores de correo electrónico, bases de datos de administración, software de administración, existen normas especiales que normalizan tanto el software como los niveles de servicios.

En el caso de la ESO, esta práctica se ha ido haciendo más sistemática con los años. Un estudio²⁰ cita la declaración de uno de los responsables de la ESO en el sentido de que muchos de los servicios se han contratado sobre una base de confianza más que de acuerdos formales.

Este mismo informe propone una estructura de SLA que es presentada en la información de soporte.

El servicio de energía eléctrica puede significar un desafío en cuanto se requiere de generación propia o del recurso a energías renovables.

Como se ha señalado, también la transmisión de datos por redes de alta capacidad comienza a ser un servicio diferenciado.

3.3.5 Bienes y servicios no diferenciados.

Por último, existe la necesidad de los observatorios de contar con servicios comunes a toda empresa y/o que comparte las condiciones de los proyectos mineros en el norte de Chile.

A esta categoría pertenecen los suministros generales tales como energía eléctrica, telefonía, internet, agua, servicios de limpieza, mantención no especializada (gasfitería, aire acondicionado, carpintería, mantención eléctrica). También los servicios de transporte, alojamiento y alimentación.

¹⁹ Por contraposición al software de control de telescopios, control de instrumentos, óptica adaptativa, movimiento del domo, cuya falla deja fuera de funcionamiento a todo el observatorio.

²⁰ STUDY of ESO's IT INFRASTRUCTURE & SERVICE REQUIREMENTS, TEKOM Industrielle Systemtechnik GmbH

Para el presente estudio, los requerimientos de estos servicios no diferenciados no constituyen un tópico de interés en atención a que:

- Existe en Chile un mercado competitivo de estos servicios.
- No existen en Chile fallas de mercado asociadas a estos servicios.
- Las calidades ofrecidas por las empresas están al menos al nivel de las necesidades de los observatorios.
- Los procedimientos de licitación, evaluación y adjudicación por parte de los observatorios están establecidos y son rigurosos.
- Al no existir una diferenciación de estos servicios respecto de otros clientes como por ejemplo las empresas mineras, el lograr contratos con los observatorios no tiene externalidades tecnológicas.

3.3.6 Normas de aplicación general utilizadas por los observatorios

La ESO y NRAO definen como aplicables normas IEC, MIL, ETS, EN.

La siguiente lista detalla algunas de las normas que se aplican en los proyectos y adquisiciones de los observatorios se entrega como referencia y no es exhaustiva.

Normas aplicables por NRAO / AURA

- IEC 61000 Electromagnetic compatibility (EMC) (the entire series as applicable)
- MIL-STD-461E Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment
- IEC 61204-3 Low-voltage power supplies, d.c. output – Part 3: Electromagnetic Compatibility
- IEC 61326-1 Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements
- IEC 61543 Residual current-operated protective devices (RCDs) for household and similar use - Electromagnetic compatibility
- IEC 61547 Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements
- IEC 61587-3 Mechanical structures for electronic equipment – Electromagnetic shielding performance tests for cabinets, racks, subracks
- IEC 61800-3 Adjustable speed electrical power drive systems - EMC product standard including specific test methods
- IEC 62040-2 Uninterruptible power systems – EMC requirements
- ETS 300 329 Radio Equipment and Systems (RES); EMC for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) equipment

- ETS 300 447 Radio Equipment and Systems (RES); EMC standard for VHF FM broadcasting transmitters
- ETS 300 682 Radio Equipment and Systems (RES); EMC standard for On-Site Paging Equipment

Por su parte, la ESO aplica principalmente las normas ISO y normas EN:

- ISO 12100-1. 2003-1 I-OI.
- ISO 12100-2, 2003-1 1-01.
- EN 954-1, 1996-07-II . General Principles for design.
- EN 1050, 1996-08-22 Principles of Risk Assessment,
- ISO/IEC 15288: 2002. Systems engineering -- System life cycle processes
- MIL-STD-882D. 2000-02-10. Standard Practice for System Safety.
- EN ISO 11688
- EN ISO 11690
- EN ISO 15667
- Low voltage directive 72/23/EEC
- EN 60204-1
- EN 563
- EN 1299
- EN 12100 1
- EN 12100-2
- EN 294
- EN 349
- EN 811
- EN 982
- EN 983
- EN 953
- EN 999
- EN 1005-3
- EN 574
- EN 1760
- EN 61496

Ejemplos de normas aplicables al desarrollo de software

- IEEE 1228-1994 Software Safety Plans
- Underwriters Laboratories Inc. Standard for Safety 1998 Standard for Software in Programmable
- ISO/IEC 15288:2008 System life cycle processes
- C Coding Standards, UK Astronomy Technology Centre
- IEEE Std 829-1998, IEEE Standard for Software Test Documentation
- IEEE 1012-2004 AD12 Standard for Software Verification and Validation
- ISO/IEC 12207:2008 AD12 Software life cycle processes

Ejemplos de normas aplicables al desarrollo con productos láser

- IEC 60825-1, Ed. 1.2 Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide
- AD19 Safety of laser products – Part 4: Laser Guards IEC 60825-4, Ed. 1.2
- AD20 Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 IEC/TR 60825-5, Ed. 2.0
- AD21 Safety of laser products – Part 5: Manufacturer's checklist for IEC 60825-1 IEC/TR 60825-5, Ed. 2.0

Ejemplos de normas aplicables a la calidad del suministro eléctrico (ALMA)

- ALMA-80.05.00.00-001-C-SPE Version: C Status: Released 2003-12-15
- European Standard EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", November 1999.
- IEC 60050-161 International Electrotechnical Vocabulary
- European Standard EN 50160 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", November 1999.

Ejemplos de normas de seguridad

- National Electric Manufacturers Association 250-1997 Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum)
- National Fire Protection Association (NFPA) NFPA 70, 2008 edition National Electric Code S
- Underwriters Laboratories Inc. Standard for Safety 94 Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

Normas de compatibilidad electromagnética

- CENELEC EN 61000-6-1:2001 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments
- Department of Defense MIL-STD-464A Electromagnetic Environmental Effects, Requirements for Systems
- Department of Defense MIL-STD-810F Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests
- FCC Title 47 CFR Part 15 Radio Frequency Devices
- EN 300 386-2 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Telecommunication network equipment; EMC requirements; Part 2: Product family standard
- CISPR 11 Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Electromagnetic disturbance characteristics - Limits and methods of measurement
- CISPR 22 Information technology equipment - Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement
- Serie MIL-F-3922/ Waveguide Flanges for ALMA Instrumentation

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Normas eléctricas

- TIA/EIA TIA/EIA-568-B Commercial Building Telecommunications Cabling Standards
- TIA TIA-485 Electrical Characteristics of Generators and Receivers for use in Balanced Digital Multipoint Systems
- IEC 60309 Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes
- IEC 60083 Plugs and socket-outlets for domestic and similar general use standardized in member countries of IEC
- IEC 60320 Appliance couplers for household and similar general purposes
- IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary
- IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
- IEC 61140 Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment
- IEEE 802.3U revision 95 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method & Physical Layer Specifications: Mac Parameters, Physical Layer, Medium Attachment Units and Repeater for 100 Mb/S Operation

3.3.7 Ejemplo de estructura de un Service Level Agreement para contratos de servicios de un observatorio

La Información de soporte entrega un ejemplo de contenido de un SLA

4 INDUSTRIA: ACTORES NACIONALES E INTERNACIONALES

4.1 MUESTRA DE EMPRESAS PROVEEDORAS DE LA ASTRONOMÍA A NIVEL MUNDIAL.

La cantidad de empresas que han realizado al menos una vez un trabajo relacionado con la astronomía es grande, por lo que se ha seleccionado una muestra de las principales empresas, con énfasis en las que están relacionadas con los últimos grandes proyectos de astronomía en el mundo.

La tabla siguiente presenta un resumen de las empresas identificadas. En anexo se entregan los datos principales de ellas en formato de fichas.

HITECH		
Ámbito	Nombre de la empresa	comentarios
Interferometría	4D Technology Corp.	
Óptica Adaptativa	ALPAO	Spin-off de la empresa Grenoble (Univerisidad Joseph Fourier) y Floralis
	CSEM	Posee acuerdos de colaboración con industrias como BASF y también con centro de investigación y universidades como: Alpict, MCCS, Swissmem, EUCEMAN entre otros
	Canon Inc.	sedes en prácticamente todos los países
Óptica Activa	Sagem	Pertenece al grupo Safran
Filtros Ópticos	Asahi Spectra USA Inc.	
Componentes Mecánicos	AMOS	
	ASTELCTO Systems GmbH	
	ETEL S.A	
Correlador	Fujitsu	
Construcción Espejos	Hextek	No Aplica
	Schott	
Detectores/receptores de radiofrecuencia	e2v technologies	E2v technologies (uk) ltd, e2v ltd, e2v sas, e2v scientific instruments, e2v semiconductors, e2v aerospace and defense inc., e2v asia pacific.

HI-TECH		
Ámbito	Nombre de la empresa	comentarios
<u>Camaras/sensores/ espectrografos opticos</u>	Apogee Instruments Inc.	
	ASTELCO Systems GmbH	
	e2v technologies	.
	First Light Imaging	Compañía derivada de los centros de investigación más grandes en Francia como laboratoire d'Astrophysique de Marseille, Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble y Observatoire de Haute-Provence
	General Dynamics SATCOM Technologies	Vertex Antennentechnik GmbH.
	Astronomical Research Cameras Inc	
	Nikon	
	Blue Line Engineering	
	Fogale Nanotech	
<u>Diseño y/o Construcción telescopios/antenas y componentes estructurales</u>	Vertex Antennentechnik GmbH	Division de General Dynamics SATCOM Technologies
	AMOS	
	ASTELCO Systems GmbH	
	EOS Technologies	EOS-AUS
	General Dynamics SATCOM Technologies	
	AEM Consortium (Filial en Chile MT-Mecatronica Ltda.)	Thales Alenia Space, Thales Alenia Space France, European Industrial Enginerring S.r.L, MT-Mechatronics
	M3 Engineering	
	Mitsubishi Electric Corp.	Parte de Mitsubishi Global.
	AMEC	
<u>Fotonica</u>	Toptica Photonics	
	Teraxion Inc.	
<u>Software</u>	Observatory Sciences Ltd.	
	EOS Technologies Inc.	EOS-AUS
	ASTELCO Systems GmbH.	
<u>Encoders</u>	Heidenhein	
<u>Gratings</u>	Centre Spatial de Liège	Grupo de investigación de la Université de Liège
	Richardson Gratings	Parte de Newport Corp.

SISTEMAS Y SERVICIOS		
<u>Criogenicos</u>	ColdEdge Technologies	Posee acuerdos de colaboración con diversas empresas como Valley Research, AVACO, Quantum Design, Hostirad, VALTEX-ST
	Cryoconnect	Division de Tekdata Interconnections Ltd.
<u>Fibra Optica</u>	CeramOptec Industries Inc.	
	Le Verre Fluoré	
<u>Limpieza y/o Recubrimiento de espejos</u>	Dynavac	
	Evaporated Metal Films Corp.	
	Australian Centre for Precision Optics	Forma parte de Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
	SESO	
	IRSA Lackfabrik	
<u>Fabricación Domo o infraestructura de subsistemas</u>	Triodetic	
	CST Industries	Temcor, Conservatek
	Stutzki Engineering	

4.2 EMPRESAS INSTALADAS EN CHILE QUE PROVEEN SERVICIOS A LOS CENTROS ASTRONÓMICOS

Empresas chilenas han prestado servicios, desarrollo de proyectos, fabricación o construcción a los observatorios astronómicos instalados en Chile. La tabla siguiente resume las empresas que han sido identificadas. En anexo se entrega mayor información acerca de cada una de ellas.

Ámbito de especialidad	Empresa Privada
Fabricación circuitos electrónicos, Fibra óptica	AXYS S.A
Sistemas Eléctricos	Gismac
Automatización de Procesos	ASINPRO
Integración de sistemas y obras civiles especializadas	Arcadis
	Ocegtel S.A
	Conpax
	DCS
Construcción Sitio/Rutas	Constructora Agua Santa S.A
	Consortio Vial y Vives
Recubrimiento y aislantes térmicos	CYM San Pascual S.A
Servicios de operación	AstroNorte

Ámbito de especialidad	Grupo académico
Interferometría	Centro de Óptica y Fotónica Universidad de Concepción
Óptica Adaptativa	Centro de AstroIngeniería Pontificia Universidad Católica de Chile
Detectores/receptores de radiofrecuencia	RadioAstronomical Instrumentation Group Universidad de Chile
Astroinformática	Depto. Informática UTFSM CMM (Universidad de Chile)
Meteorología	Astrometeorología U. de Valparaiso.
Redes Avanzadas.	REUNA

4.3 IDENTIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE EMPRESAS NACIONALES

Se realizó una encuesta que fue enviada a todos los asociados de la AIE (Asociación de la Industria eléctrica y electrónica), de la ACTI (Asociación Chilena de Tecnologías de la Información) y de la GECHS (Grupo de empresas chilenas de software). Adicionalmente, se envió dicha encuesta a empresas que no pertenecen a estas asociaciones y que integran una base de datos de empresas chilenas que fue elaborada en el marco del presente estudio.

Se recibieron solamente 15 respuestas de empresas que manifestaron interés en participar en proyectos para los observatorios y que cuentan con capacidades de ingeniería o que comercializan insumos tecnológicos.

La información entregada por esas empresas se entrega en anexo.

Empresa	GIRO PRINCIPAL
AXYS	Desarrollo de proyectos de Ingeniería, diseño y fabricación de equipos industriales, Fibra Óptica
CONTROL & LOGIC	Ingeniería en Automatización y Control
DESA	Diseño, desarrollo y comercialización de sistemas electrónicos y computacionales
DMH INGENIEROS	Ingeniería, Electricidad industrial, Automatización de procesos, Desarrollo de líneas de producción, Consultoría
IMPORTADORA POIROT S.A.	Importación de herramientas y equipos para la reparación y ensamblaje de circuitos impresos electrónicos.
KONCEPT Ltda	Consultoría de negocios en innovación y tecnología, diseño funcional de productos.
LEYTON ALVAREZ	Venta, Desarrollo y/o Fabricación Mecánica, Infraestructura y obras civiles
MEC. IND. MJM S.A	Metal mecanico
NECTIA S.A	Soluciones TI, Desarrollo de Software e integración de Sistemas
NET SERVICE & CONSULTING LTDA	Servicios y consultoría en áreas de tecnologías de información y comunicaciones (TIC), climatización y electricidad
RIEGEL E.I.R.L.	Automatización y Control Industrial
SCHÄDLER Y CÍA. LTDA	Importación y comercialización de componentes electrónicos para la industria
Sistemas Criogénicos	DICTUC - Sistemas criogénicos para astronomía
SOLSIS LTDA	Desarrollo y venta de equipos de control
TECNOCAL	Desarrollo de soluciones electrónicas a la medida

4.4 CASOS DE TRABAJOS CON LOS OBSERVATORIOS.

AXYS S.A

Descripción de la empresa

AXYS S.A. es una empresa dedicada a proyectos de ingeniería, integración de sistemas y servicios de diseño y manufactura electrónica, que ofrece soluciones a sectores de telecomunicaciones, transporte, industria y defensa.

Esta empresa aborda proyectos en las siguientes áreas tecnológicas:

- Procesamiento, transmisión y distribución de datos, video y voz, sobre diferentes tecnologías de redes de comunicaciones - Satélite, Wireless, Fibra Óptica y Banda Ancha;
- Automatización de Procesos, Instrumentación Industrial y Telemetría;
- Diseño y fabricación de equipos electrónicos para aplicaciones ferroviarias en trenes y metros.

La empresa está estructurada en dos divisiones operacionales:

DIVISIÓN INGENIERÍA Y PROYECTOS, focalizada en proyectos de ingeniería, integración de sistemas, desarrollo de tecnologías y proyectos de infraestructura.

Entre los servicios de esta división se cuenta con:

- Diseño y desarrollo proyectos de ingeniería
- Desarrollo proyectos de integración tecnológica
- Estudios de ingeniería, consultoría y capacitación
- Reingeniería de sistemas
- Montaje y puesta en marcha de proyectos
- Diseño y fabricación de sistemas electrónicos.

DIVISIÓN INDUSTRIA ELECTRÓNICA PROTONIC, que provee servicios de diseño, desarrollo y fabricación de sistemas, módulos y productos electrónicos de tipo industrial (diseño electrónico, fabricación de circuitos impresos (PCB), montaje y pruebas), destinado al mercado nacional e internacional.

En esta área se aborda:

- Sistemas de comunicaciones y radiocomunicaciones
- Sistemas de control automatizados
- Sistemas de comunicaciones por fibra óptica
- Sistemas de televisión
- Sistemas energía solar
- Sistemas de telemetría
- Sistemas de iluminación de estado sólido de alta eficiencia.

Ambas divisiones operan en forma integrada permitiéndole una mejor gestión de costos y tener flexibilidad en las soluciones técnicas.

Entre los clientes a los que ha prestado servicios la empresa se encuentran:

- Telefónica CTC Chile
- Metrogas
- Empresa de Transporte de Pasajeros de Santiago Metro S.A.
- VTR
- TV Red S.A. (Punta Arenas)
- Manquehue Net S.A.
- Megavisión
- SubTV (Metro TV)
- Codelco
- Armada de Chile
- Fuerza Aérea de Chile
- Carabineros de Chile
- European Southern Observatory (ESO)

Trabajos para los Observatorios:

- **ALMA (NRAO)** integración en Chile de los racks de electrónica para los 60 radiotelescopios del proyecto ALMA (San Pedro de Atacama).
- Proceso de pruebas y mediciones electrónicas de los Radiotelescopios ALMA en planta AXYS.
- **ALMA-ESO** (2006) estudio y evaluación del comportamiento de la fibra óptica en grandes alturas (5.500 metros sobre el nivel del mar)
- **ALMA** (2008) sistemas de fibra óptica para los primeros radiotelescopios.
- Instalación de sistemas de distribución y terminación de fibra óptica en el A.O.S (Array Operations Facilities) a 5.050 metros de altura.
- **ALMA** (2009) Entrenamiento y capacitación en tecnologías de fibra óptica para 28 Ingenieros de ALMA.

- **ALMA** (2009) Diseño de ingeniería para los sistemas de acoplamiento por fibra óptica para los Pad de fundación de antenas de radiotelescopios, instalación y comprobación en los primeros pad
- **ESO** (2010) desarrollo de ingeniería y operación de sistemas de acceso de comunicaciones por fibra óptica del telescopio European Extremely Large Telescope (E-ELT) instalado en el cerro Armazones, Región de Antofagasta (Contrato de operación por 10 años con ESO y Astronomisches Institut Ruhr-Universität Bochum-Alemania) El proyecto considera los sistemas de comunicaciones desde Cerro Armazones hacia el Observatorio Paranal (20Km) y desde Observatorio Paranal hasta la ruta 5 Norte (80Km), donde se interconecta con los sistemas de fibra óptica existentes en la zona norte del país para el acceso desde Santiago y desde Europa, y como parte del proyecto global de ESO para conectividad denominado EVALSO (Enabling Virtual Access to Latin-America Southern Observatories). El proyecto EVALSO busca permitir el acceso virtual a los observatorios de América del Sur.

Desafíos tecnológicos

Si bien todos los trabajos para los observatorios relacionados con la electrónica y las comunicaciones comportan un nivel de especialización diferenciado, dos de los trabajos de Axys han significado un trabajo de tecnología y de calidad competitivo a nivel mundial.

El primero de ellos, es la integración en Chile de los racks de electrónica para los 60 radiotelescopios del proyecto ALMA.

Los sistemas del Back End de ALMA entregan al correlador instalado en el Edificio Técnico del AOS (Sitio de Operaciones del Conjunto) las señales generadas por las unidades del Front End instaladas en cada antena.

Adicionalmente, el Back End tiene como tarea transmitir la señal recibida por las antenas al computador central (correlator). Adicionalmente, el backend debe enviar a todos los componentes un pulso de referencia generado por el reloj atómico que se encuentra en el edificio central. Esta referencia es básica para la coordinación del movimiento de las antenas.

También, el backend envía una señal láser a todas las antenas para monitorear continuamente la longitud de las fibras ópticas, ya que éstas se contraen o expanden debido a las variaciones de temperatura en el sitio. Estas variaciones deben ser corregidas para mantener la sincronización del sistema.

Los racks una vez fabricados e integrados, son sometidos a rigurosos test de funcionamiento antes de ser conectados a las antenas de ALMA.

Un segundo trabajo de Axys que significa un aporte a la ingeniería, es el estudio y evaluación del comportamiento de la fibra óptica en grandes alturas (5.500 metros sobre el nivel del mar).

Los estándares de la industria para las pérdidas por empalme de fibras ópticas están establecidos para condiciones a nivel del mar. Antes del trabajo de Axys, no existían pruebas reales de trabajo con fibra óptica a esa altura sobre el nivel del mar²¹.

Lecciones aprendidas

El trabajo de Axys se origina en una licitación en que compitieron empresas de Japón, Taiwán, Alemania, Estados Unidos y Chile.

Los factores que fueron determinantes para que Axys lograr ganar esa licitación, fueron:

- a. Los estándares de calidad que emplea la empresa en todos sus trabajos, tanto nacionales como internacionales.
- b. El equipo profesional de la empresa.
- c. Los procesos e instalaciones, sujetos a los estándares internacionales.
- d. Un currículum de trabajos en el área, que entrega confianza a los contratantes.

²¹ Fibre splicing at 5 000 m: Experience from the APEX project, which also operates at Llano de Chajnantor, suggests that the harsh operating environment (dust, strong wind, extreme temperatures and low air density) might prevent any contractor from reliably meeting the 0.15 dB splice loss (at the sea level) assumed as a standard in the industry and as a baseline for the optical budgets used in ALMA. As a matter of fact, no splicing equipment existed that was rated for that altitude. Alain Baudry, Fabio Biancat Marchet, Herve Kurlandcyk, Silvio Rossi, **“The ALMA Back-End”**, The Messenger 125 – September 2006



REUNA

Descripción de la institución

REUNA es la Corporación Red Universitaria Nacional, creada en 1986 como organización cooperativa de interconexión universitaria, una iniciativa de colaboración impulsada por instituciones de investigación y educación superior. Está interconectada globalmente con las Redes Académicas Internacionales. Provee servicios avanzados de comunicación y conectividad nacional e internacional.

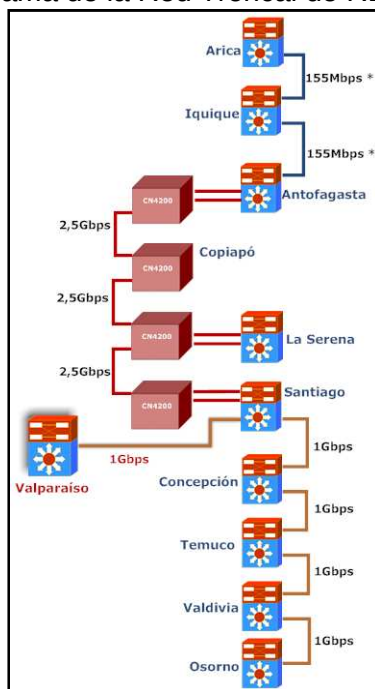
En 1991, se constituye como corporación de derecho privado sin fines de lucro. El 2 de enero de 1992, gracias a la autorización de la National Science Foundation (NSF) – Estados Unidos- y al aporte de CONICYT, Fundación Andes y la Organización de Estados Americanos (OEA), REUNA conecta Chile a Internet, a través de la red NSFNet.

En 1998, luego de vender el negocio de conectividad a la empresa CTC Internet S.A con el fin de satisfacer necesidades de innovación y conexión nacional e internacional crea REUNA2, una red de banda ancha que conecta a todas las instituciones miembros de la Corporación, desde Arica hasta Osorno a 155 Mbps, convirtiéndose en la primera Red de Alta Velocidad de América Latina.

En noviembre de 2006, se implementa y despliega G-REUNA, red que supera a REUNA2 gracias al aumento y la mejora de las capacidades en la última milla de las conexiones a la troncal nacional, lo que posibilita a la Corporación, prestar un mejor servicio a las instituciones que la integran.

REUNA, tiene cobertura de Arica a Osorno y está compuesta por 11 nodos troncales, ubicados en las principales ciudades del país y 18 nodos de acceso. Las capacidades actuales de la red de REUNA están en el rango que va desde los 2,5 Gbps hasta 1 Gbps y cada institución socia conectada a la red lo hace vía un enlace de fibra mediante protocolo Giga Ethernet, es decir con una capacidad de última milla de 1 Gbps.

Diagrama de la Red Troncal de REUNA:



Gracias al desarrollo regional liderado por RedCLARA (Cooperación Latinoamericana de Redes Avanzadas) que interconecta a las redes académicas avanzadas nacionales de Latinoamérica y a éstas con las redes de Europa (GÉANT2), Estados Unidos (Internet2), Asia (APAN) y el resto del mundo, científicos, académicos e investigadores de la región, tienen a su disposición una infraestructura que les permite colaborar efectivamente con la comunidad científica global.

Trabajos para los Observatorios

REUNA desarrolló el proyecto EVALSO (Enabling Virtual Access to Latin-American Southern Observatories).

Se trata de un proyecto conjunto con la Università di Trieste, European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere, Consortium GARR, Nederlandse Onderzoekschool voor Astronomie, INAF – Osservatorio Astronomico di Trieste, Queen Mary University of London, Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas (CLARA), Corporación REUNA y Astronomisches Institut Ruhr-Universität Bochum.

Su objetivo fue conectar a los observatorios astronómicos de Paranal y Cerro Armazones con Europa y la comunidad académica nacional, mediante una red física de alta

velocidad. EVALSO extendió fibra óptica a través de 100 kilómetros del Desierto de Atacama y para completar la conectividad desde Antofagasta a Santiago se obtuvo un enlace basado en una longitud de onda que actualmente está alumbrada a 10 Gbps. Cabe destacar que esta infraestructura es de uso compartido entre los socios del proyecto. Además, a fin de completar la ecuación y que la ESO estuviera conectada a su sede central en Munich, se utiliza infraestructura ya existente de la red digital académica Latinoamericana.

El proyecto busca permitir el acceso virtual a los observatorios de América del Sur. Las instalaciones experimentales de nivel mundial se ubican habitualmente en sitios remotos, lo que hace que la explotación de ellos sea social y económicamente difícil. La comunidad de investigación europea depende de dichas instalaciones para mantener su rol y aquí es donde las tecnologías de redes avanzadas pueden jugar un rol preponderante. Este proyecto empleará estándares existentes cada vez que sea aplicable.

Desafíos tecnológicos

Los observatorios generan una gran cantidad de datos cuya gestión se hace cada día más compleja

Por ejemplo, los telescopios del observatorio Paranal producen más de 100 TBytes de información por noche, lo que equivale a más de 20 DVDs de archivos comprimidos. Los observatorios, al encontrarse aislados de la ciudad, no tenían acceso a las redes de alta capacidad, por lo que estaban obligados a depender de una conexión de microondas para enviar información científica a una estación situada cerca de Antofagasta o bien enviar por correo aéreo a la sede central en Alemania los discos con el material grabado, lo que ocasionaba una espera de días o incluso semanas antes de que las observaciones pudieran ser analizadas.

Las necesidades de transmisión y de almacenamiento de datos están resumidas en las tablas siguientes:

Telescopio	Tamaño	Observatorio	TB/día
VISTA	4.0m	Paranal	1.4
ALMA	66x12m	Chajnantor	0.5
DES/DECam	4.0m	CTIO	0.4
LSST	8m	Pachón	30

Telescopio	Almacenamiento de Datos
VLТ	20 TB/año
LSST	1000 TB/año ²²

Los volúmenes de datos generados seguirán creciendo, a la par que lo hacen los telescopios que se hacen cada vez más grandes y complejos, generando numerosas dificultades para los constructores, operadores y, finalmente, para los usuarios. Por ejemplo, si se consideran las proyecciones de algunos de los telescopios de Survey, como el LSST, que en sus observaciones recolectaría del orden de los 18 TB de datos por noche, se necesitará un ancho de banda desde los instrumentos al repositorio de los datos (archive) por sobre los 40 Gbps, enlace que adicionalmente debe contar con una disponibilidad altísima dado que los datos de una noche deben ser transferidos en su totalidad antes de la noche siguiente, para que en ella sea posible recopilar nueva información. Si a este requerimiento se suma la necesidad de los otros telescopios de Survey así como los tradicionales, las necesidades de anchos de banda se incrementan sustancialmente.

Lecciones aprendidas

REUNA estaba abierta a la posibilidad de que ESO se integrara a su red nacional y que luego a través de RedCLARA obtuviera su conexión con el resto del mundo, especialmente Europa. Así se iniciaron las conversaciones entre Sandra Jaque, Gerente de Tecnología y Operaciones, de REUNA, Florencio Utreras, Director Ejecutivo de RedCLARA, Giorgio Filippi de ESO y Fernando Liello, académico de la Università degli Studi di Trieste (Italia), quien había impulsado el desarrollo de importantes infraestructuras, como el Observatorio de Argentina (Pierre Auger), financiado a través del FP7. Este grupo estaba en conocimiento de que existía la posibilidad de financiar la construcción de redes o e-infraestructuras a través de fondos europeos, así que comenzaron a armar la propuesta y sumar aliados.

- a. REUNA junto con la ESO identificaron un problema de interés creciente para los observatorios, cuya solución tiene un impacto, potencial en otras áreas académicas.

²² Equivalente a 1 Petabyte, lo que significa 2x LHC (Large Hadron Collider)

- b. Previo a la formulación del proyecto, existían contactos de trabajo entre las instituciones que luego formaron parte del proyecto. La existencia de estas redes fue un factor de alta importancia para la formulación del proyecto.
- c. La valoración total del proyecto alcanza los 4,3 millones de euros. Un porcentaje importante del proyecto, 1,7 millones de euros, fue financiado por el Séptimo Programa Marco de la Comisión Europea.
- d. El establecimiento de una red con instituciones académicas europeas permitió una postulación ganadora al FP7.
- e. La experiencia de REUNA en gestión de proyectos de conectividad resulta determinante en la formulación, ejecución y gestión del proyecto.

Descripción de la empresa

Si bien ARCADIS es una empresa internacional dedicada a la ingeniería y consultoría, los orígenes de los trabajos para los observatorios se remontan a la empresa chilena *Geotécnica Consultores*, fundada en 1981 y con amplia experiencia en Chile y otros países de América Latina.

Geotécnica fue adquirida en 1997 por ARCADIS, empresa fundada en el 1888 y que está presente en 15 países ejecutando proyectos de infraestructura, medio ambiente y servicios mineros de mediana y gran envergadura. Cuenta con más de 16,000 empleados a nivel mundial y con un ingreso bruto mayor a 2 mil millones de euros.

Como Geotécnica Consultores, la empresa tuvo una gran actividad para la minería, ejecutando evaluación geomecánica de interfases de materiales granulares, estudios geotécnicos de estabilidad de taludes; estudios hidrológicos y de manejo de aguas, caracterización geotécnica de relaves, entre otros.

Como ARCADIS en Chile, tiene como mercado los sectores Minería, Energía, Transporte y Obras Públicas, Forestal e Industrial en general.

Su planta de ingenieros es marcadamente chilena.

Trabajos para los Observatorios

- Arquitectura e Ingeniería de Detalles para las Instalaciones de Apoyo del Gran Telescopio de Rastreo Sinóptico (LSST)
- Proyecto y asesoría en licitación y construcción excavación en roca Cerro Pachón, proyecto LSST, para AURA INC., 2009

El proyecto consistió en clasificar geológica y geomecánicamente el macizo rocoso donde se emplazarán las obras del futuro Telescopio LSST y, con estos antecedentes, definir los métodos de excavación más apropiados que permitieran garantizar el mínimo daño posible a la superficie final excavada.

También se analizaron las prospecciones geotécnicas realizadas y en base a estos antecedentes y a visitas a terreno realizadas por geólogos y geomecánicos de Arcadis, se realizó una caracterización geológica y una clasificación geomecánica del macizo rocoso.

Finalmente se elaboraron los planos de cortes y rellenos para las plataformas y caminos, especificaciones técnicas y documentos de licitación.

Servicios Incluidos:

- o Ingeniería de detalles
 - o Bases técnicas de licitación,
 - o Apoyo a la Declaración de Impacto Ambiental
 - o Visitas durante el período de los trabajos de excavación.
 - o Caracterización geológica.
 - o Clasificación geomecánica.
 - o Proposición de métodos de excavación.
 - o Evaluación de costos.
- Características Geológico-Geotécnicas preliminares Área Cerro Tolar, para AURA INC., 2003

ARCADIS GEOTECNICA (AG) realizó el estudio geológico en el Cerro Tolar, el cual fue complementado con un análisis de las características geotécnicas de la misma zona, también de carácter preliminar. Se incluyó, además, un programa de exploraciones o prospecciones geotécnicas que deberían ejecutarse en las etapas posteriores de la ingeniería de este proyecto.

Los objetivos del trabajo fueron:

- Determinar, mediante inspección visual, la presencia y características de las unidades de rocas y de suelos en la superficie del terreno del Cerro Tolar.
- En caso que no existieran rocas en la superficie del terreno, debería estimarse su profundidad y características probables de las mismas.

- Elaboración de informe con las observaciones de terreno, incluyendo un plan preliminar de exploraciones o prospecciones geotécnicas.
- Telescopio SOAR 4,2 m edificio de apoyo y cúpula Cerro Pachón, para AURA, Diciembre 1998 a Abril 2001

ARCADIS Geotecnica desarrolló los servicios de ingeniería y arquitectura consistentes en analizar y aprobar los planos confeccionados por la empresa "M-3 Engineering and Tchnology Corp." que se emplearon en la construcción del Edificio del Telescopio SOAR 4.2M, en cerro Pachón.

El servicio incluyó análisis servicios de todos los sistemas comprendidos en las especialidades de Geotécnica, Estructuras, Mecánica y Eléctricas.

Adicionalmente a lo anterior se incluyó el apoyo en la interpretación de documentos, especificaciones de materiales, métodos constructivos de tal manera que estuvieran dentro de los estándares, requisitos de seguridad, códigos de construcción y/o de la legislación Chilena vigente. El servicio de asesoría se concretó en recomendaciones, proposiciones, informes de evaluación y asistencia al Gerente del Proyecto.

Servicios Incluidos:

- Evaluación excavación en Roca – Capacidad de Soporte – Recomendaciones.
- Revisión de la arquitectura e ingeniería desarrollada por M- 3. Proposición de modificaciones al proyecto para adaptar al uso de materiales nacionales.
- Preparación de documentos de licitación
- Apoyo en licitación de obras. Revisión propuesta y recomendaciones de adjudicación.
- Visitas periódicas a la faena durante la Construcción.

Desafíos tecnológicos

Si bien algunos de los trabajos realizados por Arcadis para los observatorios no tienen gran diferenciación con los trabajos para las empresas mineras, el proyecto para el LSST comporta desafíos de ingeniería que son específicos para la astronomía.

El proyecto “Arquitectura e Ingeniería de Detalles para las Instalaciones de Apoyo del Gran Telescopio de Rastreo Sinóptico (LSST)” debía considerar aspectos estructurales, aerodinámicos y térmicos cuyo comportamiento resulta crítico para el correcto funcionamiento de los instrumentos científicos.

En efecto, las características del LSST lo hacen sensible a las vibraciones y a los gradientes de temperatura.

Las vibraciones son generadas o amplificadas por las estructuras metálicas y de concreto los edificios en que se alberga el telescopio o que están en su cercanía. Los gradientes de temperatura son afectados tanto por los vientos que circundan las instalaciones como por las características de aislamiento térmico interno y el diseño de las instalaciones de aire acondicionado.

El trabajo de los ingenieros de Arcadis ha tenido por tanto los siguientes desafíos:

Aspectos Estructurales: Diseño de estructura de columnas y muros de hormigón dentro de un revestimiento de paneles metálicas. Pedestal de Hormigón Armado para Apoyar al Telescopio. Rigidez Crítica. Diseño Sísmico.

Aspectos Aerodinámicos: Cúpula cilíndrica con ventilación máxima. Bandas de paneles captan flujo de aire hacia arriba y lo canalizan alrededor del edificio. Ventanas y aperturas para ventilación en el espacio entre paneles.

Un aporte esencial de la ingeniería fue el diseño de un perfil del edificio que minimiza los bordes que inducirían turbulencia, causa de enfriamiento irregular que afectaría el perfil del gradiente térmico. Por ello el diseño de la cúpula fue determinado por un modelo computacional de dinámica de fluidos y estudios de ingeniería, realizándose varias simulaciones aerodinámicas (CFD) de los nuevos elementos del edificio.

Aspectos térmicos: se estudió y se diseñó el sistema de Aire Acondicionado Activo dentro de la Cúpula.

Para el Edificio de Servicio, se estudió y se diseñó el control de particulados.



Lecciones aprendidas

Arcadis fue invitada a participar en una licitación cerrada, en que compitió con 8 empresas de Estados Unidos y de Chile.

Para ganar esa licitación, fue determinante su experiencia previa, que comenzó de manera paulatina, siendo su experiencia en el proyecto SOAR, en que fueron contraparte local de una empresa norteamericana, un caso relevante.

La ingeniería conceptual había sido realizada por los ingenieros del LSST. Los ingenieros chilenos hicieron una propuesta de ingeniería básica que cambiaba el aspecto exterior del edificio al incorporar las consideraciones aerodinámicas.

Las principales lecciones son:

- a. La entrada de la empresa a los proyectos de astronomía fue paulatina. Comenzaron como contraparte o haciendo estudios no diferenciados para luego abordar el diseño de ingeniería.
- b. La empresa pudo posicionarse en un nicho hasta ese momento ocupado solamente por empresas norteamericanas, gracias a dos factores que son en primer lugar su experiencia y su equipo de ingenieros y en segundo lugar la capacidad de hacer una oferta de calidad y de precio competitivo.
- c. No obstante su experiencia previa en proyectos de astronomía, fue necesario para los ingenieros aprender nuevos aspectos del negocio específico de la astronomía.
- d. Para el trabajo, fue necesario cumplir tanto las normas chilenas como las norteamericanas, eligiendo el caso más desfavorable entre ambas. Eso implica un aprendizaje de “cómo se hace” a nivel internacional.

5 CAPITAL HUMANO EN CHILE PARA TECNOLOGÍAS E INDUSTRIA LIGADAS A LA ASTRONOMÍA

Se ha señalado en secciones anteriores que las tecnologías, sistemas, productos y servicios que pertenecen al ecosistema de la astronomía son heterogéneos en su nivel tecnológico y en su diferenciación respecto de otras áreas productivas.

Tanto para el análisis del capital humano como para el análisis de las falencias, se ha considerado necesario recurrir a esa distinción de tres niveles:

- a. Desarrollo de tecnologías de frontera
- b. Proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.
- c. Proyectos, bienes y servicios no diferenciados

En el concepto de capital humano, tradicionalmente se incluyen varios componentes cuya característica es la capacidad de generar valor tanto tangible como intangible, garantizar la creación y mantención de la ventaja competitiva así como la eficiencia en la identificación de las oportunidades¹.

Es este estudio, se ha explicitado el capital intelectual, el capital de redes y el capital de confianza.

El capital intelectual se define como los conocimientos y habilidades profesionales y académicas adquiridas por las personas en su formación y experiencia laboral, incluyendo grados académicos.

El Capital de Redes se refiere a las vinculaciones formales e informales de personas y equipos de trabajo con sus pares extra organización, que puede incluir el conocimiento personal de investigadores internacionales del mismo campo de actividad, conocimiento

¹ Nick Bontis, Chun Wei Choo, "The Strategic Management of Intellectual Capital and Organizational Knowledge", Oxford University Press, New York. 2002.

personal de ejecutivos de grandes o medianas empresas. En lo formal, incluye la participación activa en reuniones, organizaciones y asociaciones de empresas o académicas.

Por último, el Capital de Confianza (trust capital) se refiere a la existencia de confianza mutua en las relaciones con sus pares, clientes y proveedores, ejecutivos de otras organizaciones.

5.1 CAPITAL HUMANO EN ASTRONOMÍA

Los caminos típicos seguidos en investigación en la explotación científica de grandes estudios del cielo (*surveys*) son la construcción de las muestras estadísticas de objetos o poblaciones de interés (p.ej., galaxias normales, cuásares, etc.) y su estudio (p.ej., probar su evolución, estructura a gran escala, etc.), o la selección de objetivos interesantes (p.ej., galaxias peculiares, cuásares distantes, enanas marrones, supernova, etc.) para observaciones de seguimiento. El potencial científico de esos estudios es realizado enormemente por conjuntos de datos federados (p.ej., combinando *surveys* del cielo óptico, infrarrojo y radio), que a menudo revelan rasgos importantes y poblaciones de objetos no distinguibles fácilmente en cualquiera de los conjuntos de datos tomados separadamente. Por ejemplo, un proyecto de datos habilitados por VO (*Virtual Observatory*) típico sería un *clustering* completo y un análisis de correlación de catálogos de fuentes combinados, usando una federación de datos multilongitud de onda de varios *surveys* astronómicos principales, desde radio, pasando por infrarrojo, óptico, UV, hasta rayos X, o incluso rayos γ . Las federaciones de datos de catálogos de fuentes de estos *surveys* resulta generalmente en un espacio de parámetros de $\sim 10^8 - 10^9$ vectores de datos en $\sim 10^2 - 10^3$ dimensiones. Las herramientas y algoritmos existentes no escalan bien a tales conjuntos de datos hiperdimensionales, entonces se debe ensamblar, probar, mejorar, y desplegar las herramientas de minería de datos (*Data Mining*), estadística, y de visualización necesarias para la exploración. Simultáneamente, se debe desarrollar la

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

infraestructura computacional y de red necesaria y la expertise para desarrollar, implementar, y utilizar estas herramientas.

Las líneas propias de la astronomía se resumen en las siguientes:

Planetas extra-solares, enanas marrón/blancas, formación de estrellas/ISM, estructura Galáctica, poblaciones estelares (Vía Láctea y galaxias satélites), AGN, dinámica de los agujeros negros, supernovas, IGM, estructura a gran escala y cosmología, instrumentación astronómica (radio).

Las capacidades de Astronomía en Chile están concentradas en las Universidades locales contando a la vez con amplias redes mundiales.

En el área de investigación astronómica, actualmente, son 8 las universidades chilenas que tienen programas de pregrado y/o postgrado en astronomía. Estas son: U. de Chile, Pontificia U. Católica de Chile, U. de Concepción, U. de La Serena, U. Católica del Norte, U. de Valparaíso, U. de Tarapacá, y U. Andrés Bello.

En los últimos años se ha experimentado un incremento en el número de astrónomos en las universidades chilenas (Figura n°5.1.).



1.

Figura n° 5.1: Número de profesores de astronomía en universidades chilenas.

Las líneas de investigación que se desarrollan en Chile se resumen en las siguientes:

1. El nacimiento y la evolución de las estructuras en el Universo, L. Infante (PUC).
2. Poblaciones estelares en el Universo local, D. Geisler (U. Concepción).
3. La escala de distancias extragalácticas, W. Gieren (U. Concepción).

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

4. Formación de estrellas, G. Garay (UCH).
5. Planetas extrasolares y enanas marrones, D. Minniti (PUC).
6. Supernovas y Energía Oscura, M. Hamuy (UCH).

De acuerdo a la tabla presentada a continuación, los resultados de la astronomía chilena, medidos en términos de publicaciones ISI, ubican al país en el lugar 11 mundial, mientras que en términos de citas por paper Chile se ubica en el 5° lugar mundial.

Research outputs in space science (inc. astronomy) 1999–2009

Country	Papers	Citations	Citns / paper
USA	53 561	961 779	17.96
UK (not NI)	18 288	330 311	18.06
Germany	16 905	279 586	16.54
England	15 376	270 290	17.58
France	13 519	187 830	13.89
Italy	11 485	172 642	15.03
Japan	8423	107 886	12.81
Canada	5469	102 326	18.71
Netherlands	5604	100 220	17.88
Spain	6709	88 979	13.26
Australia	4786	83 264	17.40
Chile	3188	57 732	18.11
Scotland	2219	48 429	21.82
Switzerland	2821	46 973	16.65
Poland	2563	32 362	12.63
Sweden	2065	30 374	14.71
Israel	1510	29 335	19.43
Denmark	1448	26 156	18.06
Hungary	761	16 925	22.24
Portugal	780	13 258	17.00
Wales	693	11 592	16.73

Fuente: ISI Thompson via Sciencewatch.com.

Citado por Andy Fabian, Presidential address, "The impact of astronomy" RAS A&G meeting, 12 Feb 2010.

"Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile"

5.2 CAPITAL HUMANO EN ASTROINGENIERÍA

Específicamente en lo que respecta a astroingeniería y astroinformática, se han identificado con un criterio amplio, seis grupos en el país:

1. **Pontificia Universidad Católica de Chile:** Centro de astro-ingeniería AIUC.
2. **Universidad de Chile:** Laboratorio de ondas milimétricas (Departamento de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional Cerro Calán, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas).
3. **Universidad Técnica Federico Santa María:** UTFSM Computer Systems Research Group (CSRG), Departamento de informática.
4. **Universidad de Concepción:** Laboratorio de Radioastronomía y Centro de óptica y fotónica.
5. **Universidad de Chile:** Laboratorio de Astroinformática del Centro de Modelamiento Matemático (CMM).
6. **Universidad de Valparaíso:** Grupo de astrometereología).

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

A la fecha del presente informe, el capital humano en esos grupos se detalla en las tablas a continuación:

		Por Grado Académico				
	Universidad	Doctores	Postdoc	M.Sc.	Licenciados	otros
1	Centro de astro-ingeniería AIUC Pontificia Universidad Católica de Chile	20	16		3	
2	Laboratorio de ondas milimétricas Universidad de Chile	2	1		4	2
3	UTFSM Computer Systems Research Group Universidad Técnica Federico Santa María	2		1		5
4	Centro de óptica y fotónica Universidad de Concepción	6	1			
5	Laboratorio de Astroinformática CMM	4				3
6	Grupo de astro meteorología Universidad de Valparaíso	4			1	

		Por Especialidad			
	Universidad	Ingenieros	Físico	Meteorólogo	S/ información
1	Centro de astro-ingeniería AIUC Pontificia Universidad Católica de Chile				39
2	Laboratorio de ondas milimétricas Universidad de Chile	6	2		1
3	UTFSM Computer Systems Research Group Universidad Técnica Federico Santa María	2			6
4	Centro de óptica y fotónica Universidad de Concepción	6			1
5	Laboratorio de Astroinformática CMM	6	1		
6	Grupo de astro meteorología Universidad de Valparaíso		1	4	

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

		Estudiantes			
	Universidad	Doctorado	Magister	Tesistas de grado	Licenciados
1	Centro de astro-ingeniería AIUC Pontificia Universidad Católica de Chile	2	2	38	3
2	Laboratorio de ondas milimétricas Universidad de Chile	2		2	
3	UTFSM Computer Systems Research Group Universidad Técnica Federico Santa María			4	36
4	Centro de óptica y fotónica Universidad de Concepción	4	8		11
5	Laboratorio de Astroinformática CMM	1		2	
6	Grupo de astro meteorología Universidad de Valparaíso			5	

5.2.1 Laboratorio de ondas milimétricas Universidad de Chile

Descripción

El Laboratorio de ondas milimétricas, creado en el 2004, es parte del Departamento de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional Cerro Calán, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Trabaja en colaboración con el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la misma universidad, laboratorio de fotónica.

El Laboratorio de ondas milimétricas se enfoca en el diseño y construcción de avanzados receptores de ondas milimétricas, componentes de front-end y espectrómetros digitales.

El departamento desarrolla proyectos de tecnología para receptores de la Banda 1 de ALMA. Incluye la construcción de un prototipo de cartridge de receptor banda 1 de ALMA; colaboración en la pre-producción de 6 unidades. Colaboración para la Banda 5, y para el upgrade de la Banda 9.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

El laboratorio mantiene actualizado y operacional el telescopio de 1.2 m 115 GHz en el Cerro Calán.

Equipamiento

Equipos para mediciones de ondas milimétricas, en alto vacío, baja temperatura, herramientas de alta precisión.

- Cartridge Test Cryostat de ALMA,
- Compresor Sumitomo y un dispositivo criostático.
- Máquina CNC KERN, precisión de 1 μm (una micra)
- 50 GHz Vector Network Analyzer;
- Instalación para medidas de radiación electromagnética;
- Bombas de alto vacío
- Scalar Network Analyzer;
- Medidor de potencia de 50 GHz
- MXG Signal Generator (3 GHz);
- Detector de fugas de helio
- Mm-wave Source Module (20 – 40 GHz);
- Analog Signal Generator (20 GHz);
- Frequency Counter (20 GHz),
- Power Meter (75 GHz- THz)
- GPS Time and Frequency Receiver.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Capital de Redes

El laboratorio desarrolla una colaboración tanto con observatorios como con redes académicas internacionales.

Asociados tecnológicos:

CalTech-JPL, US;

University of Cologne, Germany;

Herberzg Institute for Radio Astronomy (HIA, Canada);

Group for Advanced Receiver Development (GARD),

Chalmers University, Sweden;

STFC Rutherford Appleton Laboratory (RAL, UK);

Netherlands Institute for Space Research (NOVA/SRON).

Colaboración con:

Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics (ASIAA, Taiwan);

University of Manchester (UK);

Yebes Astronomy Center, Spain.

Proyectos para la construcción de componentes de receptores milimétricos y submilimétricos.

5.2.2 Centro de astro-ingeniería AIUC - Pontificia Universidad Católica de Chile

Descripción

Las Actividades de astroingeniería en la PUC se desarrollan en conjunto entre el Departamento de Ingeniería Eléctrica y el Centro de Astro-Ingeniería AIUC, en el cual participan también los Departamentos de Computación y de Física.

En el AIUC, las áreas de investigación son:

1. High Resolution Optical And NIR Echelle Spectrographs for astrophysical research.
2. Planet Finding (Jordán, Suc, et al.) AIUC is part of Hat---South, a Network Of 6 identical, fully automated Wide Field telescopes, located at 3 Sites (Chile, Australia, Namibia)
3. Fiber Optics for Astronomy
4. Adaptive Optics --- Wide---field Adaptive Optics (Multi---Object Adaptive Optics; Multi---Conjugate Adaptive Optics) --- Beam shaping for Laser Guide Stars --- Cn2 characterization
5. Astronomical "Site Testing", (sub)mm, radio and optical
6. Telescopes performance evaluation:
 - a. Cosmic Microwave Background (Dunner & Cactus group):
 - b. ACT (145, 220 and 280 MHz) in El Toco
 - c. AIUC team; testing and characterizing main reflecting surfaces and contributing to ACTpol
7. High Performance Computing, numerical simulations and astronomical database management

"Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile"

8. Design and fabrication of cryogenic cameras for astronomical instruments, running scientific CCDs and NIR detectors

Adicionalmente, el Departamento de Ingeniería Eléctrica tiene experiencia en las siguientes áreas que tienen relación directa con las tecnologías de astronomías:

Instrumentación Avanzada en Industria y Medicina

- Spectrometers for on---line sensors (Wood industry, Winemaking, Copper Mining)
- Magnetic Resonance Imaging (Wood industry, 3D Fourier algorithms)
- Visual sensors, visible & infrared (Wood, Ophthalmology)

Defensa

- Radar signal processing
- Tracking systems
- Servo systems for mount positioning and pointing

Equipamiento

- Espejo deformable MEMS de Boston Micromachines, de 140 actuadores.
- Shack-Hartmann WFS (hasta 16x16 subaperturas),
- Phasescreens para simulación de turbulencia,
- Detectores de cercano infrarrojo NICMOS,
- Criostatos de nitrógeno líquido,
- Mesas ópticas,
- Campana limpio de flujo laminar para instalación de los detectores,

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Capital de Redes

El laboratorio desarrolla una colaboración tanto con observatorios como con redes académicas internacionales.

Proyectos conjuntos:

- University of Durham, UK: el trabajo se desarrolla en tres áreas:
 - 1) tomographic reconstruction for multiobject adaptive optics
 - 2) pre conceptual design of an instrument for ESO;
 - 3) new instruments for turbulence profiling for ELT scales.
- Gemini Observatory: el trabajo se desarrolla en dos áreas relacionadas con el Multi-conjugate Adaptive Optics instrument en Gemini South,
 - 1) Using the laser beacons to implement SLODAR techniques for Cn2 characterization and
 - 2) Vibration mitigation for the instrument.
- CfA, Harvard: miembro del G-Clef instrument. El grupo de la PUC está encargado del diseño y construcción de dos planos focales criogénicos para el instrumento y el Exposure Time Calculator.
- SIMPLE, E-ELT instrumentation: forma parte del consorcio con grupos de Italia (INAF), Alemania (TIS) y Suecia (Uppsala)
- ACT Telescopio submm El Toco, junto con Princeton, Rutgers, Penn State, BC Universities.
- MOONS: Spectrograph MOS NIR para el VLT, international consortium
- VALTEC: Telescope 0.5m
- ESO: caracterización y uso de fibras ópticas en instrumentos astronómicos.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- INAF: trabajo en la fase A del estudio de SIMPLE, espectrógrafo de alta resolución en el cercano infrarrojo para el E---ELT.
- Universidad de Oviedo (España): algoritmo novel para tomografía en adaptadores ópticos (junto con Durham)
- Gemini sur; óptica adaptativa, caracterización atmosférica desde datos de Óptica Adaptativa, caracterización y mitigación de vibración.

5.2.3 Computer Systems Research Group (CSRG), Departamento de informática, Universidad Técnica Federico Santa María

Descripción

El CSRG tiene como objetivo aprender acerca de sistemas computacionales reales, complejos y distribuidos, trabajando lado a lado con proyectos de clase mundial, obteniendo conocimiento invaluable acerca de tecnologías de software. Fue iniciado en colaboración con ESO (European Southern Observatory)

El grupo ALMA-UTFSM fue creado como un equipo de investigación en sistemas distribuidos en aplicaciones astronómicas y no astronómicas en el año 2004.

La elección de la plataforma de desarrollo ALMA Common Software framework (ACS) proviene de la experiencia adquirida durante algunas prácticas realizadas en observatorios ESO.

El CSRG se ha integrado al desarrollo de tecnologías más complejas, como tópicos en Inteligencia Artificial, Generación de código. Hoy en día, ALMA-UTFSM es parte del Computer Systems Research Group y está involucrado en variadas contribuciones a ACS como el desarrollo de un sistema de control flexible de telescopio (gTCS).

Los principales proyectos son:

- SWAT: SoftWare development, Analysis and Testing
- GSME Generic State Machine Engine
- RAES Repackaging ACS for Embedded Systems
- APS AstronomicalProposalScheduler

Más información sobre el trabajo de este grupo se encuentra en la información de soporte.

Equipamiento

- Telescopio de aficionado Celestron NexStar 4 SE 4.0"/102m para la prueba del sistema de control, Meade Autostar Suite Planetary Imager (LPI).
- Equipamiento computacional.

Capital de Redes: El laboratorio desarrolla una colaboración tanto con observatorios como con redes académicas internacionales.

5.2.4 Laboratorio de Radioastronomía – Centro de óptica y fotónica - Universidad de Concepción

Descripción

El Departamento tiene un programa de construcción de radiómetros compactos y potentes que miden con precisión el contenido de vapor de agua en la atmósfera por encima del sitio de su emplazamiento, al igual que la variación vertical de la temperatura en la atmósfera.

Se realizan trabajos junto con el Departamento de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad de Concepción.

El desarrollo del Laboratorio de Radioastronomía ha abierto también una ventana para la interacción inter-disciplinaria con la Meteorología y Geofísica.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Áreas de investigación y desarrollo:

- Millimeter-VLBI: con el MIT, Haystack y un equipo internacional, colaboran en un proyecto del NSF Major Research Instrumentation (MRI) para instalar un backend millimeter VLBI en el radiotelescopio ALMA.
- Radiómetros 183GHz: se realizó un completo reacondicionamiento de dos radiómetros vapor de agua de 183GHz para ALMA. Ambos están instalados en el área de Chajnantor.
- Desarrollo de Radiómetros en colaboración con el Departamento de Ingeniería de la U. de Chile, desarrollan radiómetros para medir el contenido de vapor de agua y los perfiles de temperatura de la atmósfera (22 a 183GHz).

El Centro de Óptica y Fotónica de la Universidad de Concepción realiza trabajos relacionados con astroingeniería en colaboración con el Laboratorio de Radioastronomía.

El Centro de Óptica y Fotónica reúne a un grupo de físicos e ingenieros, ligados a la Óptica e Información Cuántica, Opto-electrónica, Caracterización No Destructiva de Materiales, Óptica No Lineal y Tecnologías de Teledetección Satelital.

Equipamiento:

Radioastronomía:

- Radiómetro de vapor de agua de 183GHz , facilitados por ALMA.
- ROACH board con 2GS/s ADC y FPGA Xilinx 5.
- Receptor integrado Vubiq de 50-60GHz
- Osciloscopios y generadores de señales hasta 100MHz
- Generadores de señales y analizadores hasta 40GHz

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Espectroscopia:

- Espectrofotómetro USB2000, HR2000
- Espectrómetro de alta velocidad NIR512
- Espectrómetro regulador de temperatura.

Sistema de Imagen Infrarroja y hiperespectrales:

- Cámara CEDIP (bolómetro),
- Cámara hiperespectral PFH,
- Cámara hiperespectral XEVA-NIR;
- Cámara monocromática enfriado Retiga;
- VariSpect (CRI) de cristal líquido de filtro sincronizable;

Fibra Optica:

- Reflectómetro de dominio de Tiempo óptico,
- Fusion splicer

Capital de Redes

- Colaboración en el NSF MRI grant con MIT, Haystack para desarrollar un Beamformer para ALMA e instalar un VLBI backend.
- Colaboración con CCAT, APEX, PolarBear, QUIET: caracterización del sitio y soporte de calibración con radiómetros.
- Universidad de nuevo México: intercambio académico
- Departamento de astronomía, Caltech: intercambio académico,
- Departamento Aeroespacial, Universidad de Liege intercambio académico
- Agencia federal para cartografía y Geodesia (Alemania): intercambio académico,

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- Universidad Católica de Río: intercambio académico.
- U. De Chile: desarrollo de radiómetro;
- PUC: integración de cámaras de cielo y estación del tiempo en radiometría para pruebas de sitio integradas.

5.2.5 Laboratorio de Astroinformática CMM

Descripción

El objetivo del laboratorio de astroinformática en el CMM, es el desarrollo de herramientas y capacidades humanas que apoyen el desarrollo de la astronomía actual. No hay duda de que parte de la astronomía se está convirtiendo en una ciencia de grandes volúmenes de datos, y el estudio y comprensión de estos datos requiere del desarrollo de nuevas ideas en: modelamiento matemático, minería de datos, estadísticas, procesamiento de imágenes, visualización de datos multidimensionales, almacenamiento y procesamiento de datos, entre otros. En el CMM se encuentra un grupo de matemáticos de clase mundial, con altas tasas de productividad e interés demostrado en aplicaciones en otras ciencias y la industria entre otros. Un cuerpo científico e ingenieros bien entrenados que trabajan con gran profesionalidad en los distintos laboratorios del CMM. En la actualidad, el laboratorio de astroinformática está trabajando en detección y clasificación automatizada de objetos astronómicos, análisis y clasificación de eventos transitorios, reconstrucción de imágenes interferométricas, y manejo y modelamiento de datos astronómicos. Todos estos proyectos están siendo desarrollados en colaboración con astrónomos de Chile y de otras universidades en el extranjero (Harvard, Caltech, U. Michigan, Georgia Tech, U. de Washington, U. de Nápoles). También se firmará un convenio de colaboración con la Universidad de Harvard.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Equipamiento:

HPC cluster (600 núcleos, con planes de extensión a 2000 núcleos)

Capital de Redes

- Visitas de profesores e investigadores extranjeros
- Proyectos conjuntos de co-investigación
- Programas de pasantías
- Colaboración con LSST y ALMA

5.2.6 Grupo de Astrometeorología Universidad de Valparaíso**Descripción**

El grupo de AstroMeteorología aplica las técnicas de la meteorología a escalas macro y micro a las operaciones de los observatorios en Chile.

De acuerdo a la información en su página Web², los proyectos desarrollados son:

El año 2006 se realizó un proyecto de investigación con ESO (European Southern Observatory) llamado “Análisis de condiciones meteorológicas sobre Macón ocupando el sistema de modelamiento MM5”.

El año 2007 se ganó un proyecto con GEMINI SUR que se tituló “Implementación de una herramienta de pronóstico meteorológico para GEMINI SUR”.

El año 2008 se ganó un proyecto por dos años con ESO (European Southern Observatory) que se titula “Estudio de Vapor de Agua Precipitable (PWV) en el Llano de Chajnantor”.

² <http://www.dfa.uv.cl/astrometeorologia/projects.html>

El año 2010 se ganó un proyecto por dos años, que se titula “Implementación del modelo meteorológico mesoescalar WRF para el Observatorio Paranal de ESO”.

Equipamiento:

Grupo Computacional de 24 procesadores Intel Xeon Quad Core con 128 GB de RAM en 12 nodos

Capital de Redes

Entrega servicios astrometeorológicos para ESO y TMT:

5.2.7 El capital de confianza de los grupos de astroingeniería en Chile

El capital humano identificado en los grupos académicos posee los siguientes indicadores de calidad:

- Alta motivación de los académicos y estudiantes que influye en la dedicación al trabajo de investigación y desarrollo.
- Académicos con publicaciones ISI y doctorados en universidades de prestigio.
- Integración a redes académicas internacionales.
- Relaciones con los observatorios nacionales

Existe un capital de confianza que ha sido construido sobre la base de varios elementos:

- a. Académicos chilenos o extranjeros trabajando hoy en Chile, que han realizado sus trabajos de postgrado (PhD principalmente) en Universidades extranjeras con grupos de excelencia en astroingeniería.
- b. Profesionales egresados de universidades chilenas que trabajan o han trabajado en observatorios internacionales instalados en Chile, a entera satisfacción de los observatorios.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- c. Trabajos de investigación y desarrollo en colaboración con grupos internacionales, en los cuales el aporte de los grupos chilenos ha sido significativo.
- d. Una colaboración permanente de los grupos académicos con los observatorios.

Se estima sin embargo que es necesario avanzar en esta línea, para lo cual un mayor protagonismo de los grupos chilenos en el desarrollo de astroingeniería es indispensable.

Una mayor participación requiere necesariamente de la construcción de un “track record” en tecnologías de frontera, para lo cual el apoyo gubernamental chileno es decisivo.

Respecto de la disponibilidad del capital humano, directores de los departamentos de astroingeniería mencionan dificultades para mantener equipos de investigadores estables, principalmente por falta de recursos económicos para salarios.

Por otra parte, la colaboración continua y formal entre los diferentes grupos de trabajo en astroingeniería, así como de éstos con los astrónomos, tiene aún un amplio espacio de crecimiento y mejoramiento.

5.2.8 Capital humano para los proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.

Estos proyectos y servicios son prestados por empresas privadas, si bien existe un importante porcentaje de la actividad de mantención, calibración y actualización de los instrumentos astronómicos que se lleva a cabo con personal interno de los observatorios.

Los requerimientos de capital humano son fundamentalmente respecto de ingenieros y técnicos especializados. Actualmente existe una formación en las universidades chilenas que cubre casi todos los campos de especialidad.

Por parte de los observatorios, se estima que existen hoy día en Chile profesionales de calidad en las áreas de software, eléctrica, electrónica y mecánica. Se señala la falta de profesionales en las áreas de óptica.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

De esta manera, los observatorios han ido por una parte contratando de manera interna profesionales chilenos para las labores de mantención especializada y para el upgrade de los sistemas y por otra parte han ido confiando progresivamente en las empresas chilenas para realizar proyectos y servicios en base a tecnologías consolidadas.

Respecto de las empresas chilenas, si se toman en consideración solamente las empresas de ingeniería que respondieron la encuesta sobre interés en participar en proyectos ligados a la astronomía, ellas totalizan 120 ingenieros y 182 técnicos. Indican sin embargo la necesidad de formación y entrenamiento rápidos para adecuar su trabajo a los requerimientos de los observatorios.

5.2.9 Capital humano para proyectos, bienes y servicios no diferenciados

Estos requerimientos de proyectos, bienes y servicios no diferenciados, son casi en su totalidad provistos por empresas que a la vez prestan los mismos servicios a la gran minería del cobre en el Norte de Chile.

Dado su bajo nivel de diferenciación, no existen observaciones particulares respecto a la calidad del capital humano básico. Este nivel se encuentra por tanto sin requerimientos particulares en el corto y mediano plazo.

El único factor de atención podría ser la competencia de las grandes empresas mineras que significara un aumento de los salarios. Para los observatorios, esto constituiría una carga adicional en su presupuesto de operación.

6 ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO DE UN ECOSISTEMA IMPULSADO POR LA ASTRONOMÍA

6.1 TRABAS Y FALENCIAS.

6.1.1 En el ámbito del desarrollo de tecnologías de frontera

Estos desarrollos poseen características especiales, las cuales implican trabas y falencias, algunas de ellas comunes a la gran mayoría de países y otras específicas para países como Chile.

- a. Los desarrollos de frontera poseen una alta incertidumbre tanto en la factibilidad de obtener las prestaciones requeridas como en los plazos y costos de los desarrollos.
- b. Los altos costos involucrados llevan a que los países europeos, así como Australia, Israel, Brasil, aborden los proyectos de manera asociada o coordinada con otros países.
- c. Lo anterior también es válido en lo que se refiere a capacidades tecnológicas de excelencia, que suelen estar repartidas en distintos países.
- d. Los beneficios económicos en cuanto su impacto en otras áreas productivas son difíciles de evaluar de manera cuantitativa.
- e. Se trata de proyectos únicos.

Las principales falencias identificadas son:

- a. (General) Para todo grupo que quiera hacer desarrollos en astroingeniería, existe la necesidad de un proceso previo de realización de desarrollos prototipos (construcción de un track record), frecuentemente “sin cliente”, para validarse en las redes internacionales y ser aceptado como socio tecnológico. Esto implica la necesidad de contar con financiamiento cuyo retorno es fundamentalmente la obtención de una “carta de presentación” de las capacidades que tiene la entidad para desarrollar tecnologías de frontera, capacidad hecha tangible en sistemas o dispositivos verificables.
- b. (Particular para Chile) Lo anterior es crítico en Chile dado que gran parte de los instrumentos de fomento exigen como resultado de los proyectos la obtención de productos cercanos al mercado. Los desarrollos de astroingeniería pueden dar lugar a tecnologías cuya aplicación comercial debe ser desarrollada posteriormente.
- c. (General) Los clientes son pocos y las instancias de decisión están concentradas en el primer mundo.
- d. (Particular para Chile) En las circunstancias de que Chile entrega terrenos y facilidades administrativas a cambio de tiempo de observación, los actores nacionales no-astrónomos (ingeniería y empresas) están en segundo plano frente a sus pares de los países que ponen recursos económicos y que por ende tienen prioridad en los contratos.
- e. (General) El carácter único de los desarrollos dificulta la continuidad de los equipos de trabajo. En efecto, la demanda por parte de los observatorios no es periódica y es incierta.
- f. (Particular para Chile) Se observan carencias en la colaboración entre los grupos de astroingeniería y de éstos con los astrónomos.

- g. (Particular para Chile) No existe aún en Chile una red industrial tecnológica amplia con capacidad para ser receptor de las tecnologías desarrolladas.
- h. (Particular para Chile) No existe aún en Chile un ecosistema tecnológico que apoye y complemente las líneas de investigación en astroingeniería. Se observan carencias en metrología, certificación, acceso a componentes. No obstante, este problema está siendo superado gracias a acuerdos de colaboración entre los grupos chilenos y grupos europeos o norteamericanos.
- i. (Particular para Chile) Se observan debilidades en la capacidad y habilidad para la gestión de proyectos complejos. Esto es válido para muchas de las áreas productivas y puede ser un problema en el momento de enfrentar proyectos de mayor envergadura en el área de la astroingeniería.
- j. (Particular para Chile) Incursionar en áreas más avanzadas como detectores, microtecnologías, implican inversiones iniciales del orden de las decenas y de los cientos de millones de dólares.
- k. El sistema en Chile está fragmentado, en sus instituciones de apoyo a ciencia y desarrollo así como en la articulación entre academia e industria.

En síntesis, las falencias son primordialmente de financiamiento y de tejido industrial nacional. La integración a redes de colaboración internacionales se ha desarrollado en los últimos años, si bien es posible desarrollar más aún esta integración.

6.1.2 En el ámbito de proyectos y servicios de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.

Este nivel también es afectado por el carácter único de los proyectos de desarrollo o de integración de sistemas.

Las empresas que han participado en este nivel declaran que los márgenes de ganancia son menores que en el caso de proyectos análogos para el sector minero y que la continuidad es casi inexistente. No obstante, declaran emprender estos proyectos por motivos de la imagen de excelencia que otorga el ser un proveedor fiable de los observatorios.

El carácter único de los proyectos hace complejo para las empresas formar y mantener un grupo humano especializado. Solamente en las empresas de menor tamaño, en las cuales los socios son a la vez ingenieros con experiencia tecnológica, son capaces de mantener una capacidad que es requerida ocasionalmente.

En este nivel es también importante el “track record”. Las empresas chilenas que han logrado trabajos en este nivel declaran haber comenzado como auxiliares de empresas norteamericanas o europeas que han necesitado un socio con presencia y experiencia local. Asimismo, los trabajos abordados han sido realizados en coordinación con empresas norteamericanas o europeas, si bien cada vez más las empresas chilenas han ido asumiendo mayores responsabilidades.

Las principales falencias a las que hay que poner atención son:

- a. La debilidad del tejido industrial chileno en el área tecnológica
- b. La debilidad del ecosistema tecnológico chileno respecto de entidades con capacidad de transferencia de tecnología hacia las empresas, metrología, etc.

- c. La dificultad financiera para abordar proyectos con un relativo nivel de incertidumbre.
- d. El acceso a la información acerca de contratos cuyos montos son menores a los que los observatorios publican para licitar.
- e. La falta de track record para competir por contratos con empresas del primer mundo.
- f. No existe un ecosistema tecnológico que trabaje con tecnologías aplicables a la astronomía.

6.1.3 En el ámbito de proyectos, bienes y servicios no diferenciados

De acuerdo a lo identificado en este estudio, los requerimientos de estos servicios no diferenciados no constituyen un tópico de interés en atención a que:

- a. Existe en Chile un mercado competitivo de estos servicios.
- b. No existen en Chile fallas de mercado asociadas a estos servicios.
- c. Las calidades ofrecidas por las empresas están al menos al nivel de las necesidades de los observatorios.
- d. Los procedimientos de licitación, evaluación y adjudicación por parte de los observatorios están establecidos y son rigurosos.

6.2 DIFERENTES MODELOS A NIVEL MUNDIAL DE APOYO AL DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA ASTRONOMÍA

Los modelos existentes presentan grandes diferencias entre ellos y a la vez están en constante revisión.

Los distintos componentes de los modelos son, de manera sintética:

- Estructuras de coordinación nacional o internacional de carácter público
- Estructuras de coordinación nacional o internacional de carácter académico.
- Agencias de financiamiento
- Programas focalizados en astronomía o astroingeniería.
- Centros Tecnológicos Especializados
- Empresas de Base Tecnológica
- Entidades de transferencia

6.2.1 En el ámbito de Tecnologías de Frontera

a. Modelos Concentrados

Existen modelos simples, como los de Inglaterra y Holanda, en que la investigación se realiza casi exclusivamente en las Universidades (con pequeñas excepciones) y las agencias están centralizadas (PPARC en Inglaterra y NWO en Holanda).

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

b. Modelos de múltiples actores

Existen en el otro extremo modelos muy complejos como es el caso de Estados Unidos y Francia, en que los financiamientos son múltiples, incluyendo un porcentaje importante de donaciones privadas como en el caso de los Estados Unidos. Las agencias y centros tecnológicos especializados son numerosos.

La mayor parte de los países del primer mundo establecen roadmaps con horizontes de mediano plazo para el desarrollo de la astronomía.

El estímulo al ecosistema presenta los siguientes modelos:

Programas específicamente dirigidos a desarrollar la tecnología asociada a la astronomía:

- Creación de “incubadoras de instrumentación”
- Transferencia de tecnologías a PYMES para el desarrollo de nuevos instrumentos o componentes para astronomía
- Programas de mediano plazo de financiamiento de grupos universitarios, centros disciplinarios y PYMES.
- Transferencia de tecnología a un espectro amplio de empresas con el propósito de impactar en amplias áreas de la economía³

³ “ESO is heavily involved in many aspects of cutting edge technology development in fields such as active optics, fibre lasers, Virtual Observatories, dynamic scheduling software, instrument interfaces, data archiving/mining, and automated data reduction pipelines. ESO actively promotes technology transfer into the broader economy and there are many examples of ESO developments that have been taken over by a manufacturer or produced commercially for a wider market including liquid nitrogen cryostats for charge-coupled devices (CCDs), flexible mirrors and infra-red detectors. For instance, producing the giant mirrors blanks for the VLT gave European industry global leadership in the manufacturing and polishing of large optical mirrors”. The Case for Irish Membership of the European Southern Observatory, Prepared by the Institute of Physics in Ireland, April 2009.

Desarrollo de la tecnología asociada a la astronomía dentro de programas y fondos dirigidos al desarrollo tecnológico en todas las áreas:

- Programas de valorización de la investigación
- Programas de transferencia tecnológica desde universidades y centros disciplinarios hacia empresas de base tecnológica
- Programas de fomento a la colaboración entre universidades y centros disciplinarios con empresas de base tecnológica

6.2.2 En el ámbito de Aplicaciones de alta exigencia en base a tecnologías consolidadas.

Los modelos comprenden:

- Oficiales de enlace (liaison officer) entre un organismo astronómico y los países miembros.
- Capacitación de PYMES
- Promoción de la formación de consorcios con participación de empresas privadas.

6.2.3 Ejemplos de Modelos en el mundo: Reino Unido, Brasil, España.

6.2.3.1 Entidades de apoyo a la Astronomía

En este punto se resumen las principales líneas de apoyo a la astronomía en tres países.

En la sección de Información de Soporte se entrega mayor detalle al respecto.

REINO UNIDO

El Programa de Astronomía de la *Science and Technology Facilities Council* (STFC, <http://www.stfc.ac.uk/>) del Reino Unido ofrece apoyo a una amplia gama de servicios, a grupos de investigación y particulares con el fin de investigar en astronomía.

Las actividades del Programa STFC se encapsulan en temas de Astronomía, Ciencias del Espacio, Oportunidades de financiamiento, contactos y recursos varios.

Las oportunidades de financiamiento incluyen ayudas a la investigación, becas, becas para estudiantes, tiempo de telescopio y otras oportunidades de financiamiento.

Agencia Espacial del Reino Unido (UK Space Agency): Desde abril de 2010, la Agencia Espacial del Reino Unido tiene la responsabilidad sobre el desarrollo y ejecución del programa de ciencia espacial en el Reino Unido. Los astrónomos utilizan una variedad de instrumentos para abordar preguntas claves, y muchos de ellos necesitan tener acceso tanto a las instalaciones terrestres como espaciales para disponer de capacidades específicas.

BRASIL

En Brasil, la astronomía muestra una gran diversidad que los propios astrónomos desean mantener, justificado en que en una disciplina de ciencia básica no conviene adoptar medidas para dirigir determino rumbo de la investigación. La mayor parte de las propuestas de infra-estructura astronómica que se tiene planificada desarrollar en Brasil, necesitan de una cantidad elevada de recursos para su realización, aún sin encontrarse en una fase de planificación y detalle suficiente para una evaluación consistente.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

ESPAÑA

La Astronomía en España es una disciplina claramente en auge, con un marcado crecimiento tanto en instalaciones y personal como en producción científica. La comunidad astronómica española tiene acceso a una impresionante batería de grandes instalaciones astronómicas, de las que se puede encontrar una lista detallada en el portal web de la Red de Infraestructuras de Astronomía (<http://www.riastronomia.es/>).

Según el estudio realizado por ASTRONET, la red europea de agencias financiadoras de la Astronomía (<http://www.astronet-eu.org/>), el papel de la Astronomía española en el ámbito mundial es cada vez más relevante.

En España se encuentran actualmente unos 500 astrónomos (incluyendo doctorandos). De ellos, 350 doctores realizando su propia investigación. El ritmo de crecimiento es alto, alrededor de 25 nuevos doctores por año. España tiene una relación de 12 astrónomos por millón de habitantes. Aproximadamente la mitad se encuentran en las universidades y los demás en Organismos Públicos de Investigación. Los grupos de investigación están muy distribuidos, llevándose a cabo investigación en Astronomía en al menos un total de 30 diferentes lugares. Todavía el número de técnicos dedicados a investigación astronómica es pequeño, unos 150.

En España cada vez hay más becas de doctorado, de manera que en los últimos años se ha alcanzado un número de becas ofertado que ya alcanza a una fracción importante de los interesados.

España no cuenta con un Plan específico en Astronomía, como en el caso de Brasil, pero le da prioridad a través de su Plan Nacional de I+D+i.

6.2.3.2 Entidades para Astroingeniería

Uno de los modelos para apoyar el desarrollo de la Astroingeniería corresponde a la creación de Consorcios, Centros de Desarrollo Tecnológico o un ente que agrupe un conjunto de universidades, empresas, institutos y la industria asociada. A continuación se describe la experiencia internacional en este aspecto.

ASTRONET

ASTRONET fue creado por un grupo de agencias de financiamiento europeo a fin de establecer un mecanismo de planificación estratégica para todos en la astronomía europea. Cubre el dominio astronómico completo, desde el Sol y Sistema Solar a los límites del universo observable, desde la radioastronomía hasta rayos gamma y partículas, en tierra como en el espacio, también teoría y computación, difusión, capacitación y contratación de los recursos humanos vitales. Y sobre todo, ASTRONET tiene como objetivo involucrar a todas las comunidades astronómicas y organismos de financiamiento pertinentes de Europa.

ASTRONET ha sido apoyada por la CE desde 2005 como ERA-Net (European Research Area). A partir de enero de 2011, se financia como una ERA-Net de la CE a un nivel de 1,6 M bajo la iniciativa del 7 ° PM «Integración y fortalecimiento de ERA» con una duración de 48 meses. A pesar de los enormes desafíos de establecer un plan tan amplio, ASTRONET alcanzó ese objetivo al publicar su Hoja de Ruta (Roadmap) de Infraestructura en noviembre de 2008. ASTRONET entra ahora en su etapa de implementación de coordinar e integrar los recursos europeos en el campo.

Los objetivos son:

- Establecer un mecanismo permanente de planificación y coordinación en la astronomía europea;
- Dar seguimiento y aplicar la Hoja de Ruta, garantizando la construcción de nuevas instalaciones que se necesitan para mantener a Europa en la vanguardia del

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

conocimiento científico y, al mismo tiempo optimizar los programas existentes en términos científicos, así como financieros;

- Reducir las brechas científicas y en particular tecnológicas entre los países europeos;
- Establecer una base de datos actualizada regularmente con información clave sobre los recursos financieros y humanos disponibles para la astronomía en todos los países europeos, así como la estructura y la gobernanza de la investigación astronómica en cada país.

El consorcio ASTRONET tiene 11 participantes, 21 asociados y 2 miembros del Forum.

REINO UNIDO.

CEPSAR.

El *Centre for Earth, Planetary, Space and Astronomical Research* (CEPSAR, <http://www8.open.ac.uk/cepsar/>) es un centro interdisciplinario de investigación de la *Open University* que reúne investigadores de clase mundial de dos departamentos: “Ciencias Físicas”, y “Tierra, Medioambiente y Ecosistemas”.

La investigación en CEPSAR se focaliza en los orígenes, sistemas y procedimientos con respecto a la evolución y la química de los materiales que forman las estrellas y los cuerpos planetarios, los procesos y los sistemas naturales que conforman el entorno de nuestra tierra habitable ahora y en el pasado, y las propiedades esenciales de un sistema Solar que permite que la vida se desarrolle en uno de sus planetas.

CEPSAR tiene desde hace tiempo una reputación internacional en investigaciones pioneras. Siendo lo más destacado el paquete científico de superficie de la sonda Huygens que proporcionó la primera caracterización de la superficie de Titán, el descubrimiento que una deposición de nitrógeno crónico de bajo nivel a largo plazo reduce de forma significativa la biodiversidad vegetal en los pastizales (un top 10 ‘breakthrough’ en *Science*) y el descubrimiento del primer super cúmulo de estrellas en la galaxia Westerlund-1.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Este centro ha recibido desde 2001 aportes externos para desarrollar su investigación por un monto superior a los £55 millones de libras esterlinas provenientes de diversos auspiciadores y fondos, tales como:

- *Science and Technology Facilities Council* (STFC, <http://www.stfc.ac.uk/>),
- *Natural Environment Research Council* (NERC, <http://www.nerc.ac.uk/>),
- *European Space Agency* (ESA, <http://www.esa.int/esaCP/index.html>),
- *Engineering and Physical Sciences Research Council* (EPSRC, <http://www.epsrc.ac.uk/about/Pages/default.aspx>), etc.

The UK Astronomy Technology Centre (UK ATC)

El Centro de Tecnología Astronómica del Reino Unido (UK ATC) es un centro británico para la tecnología astronómica. El centro diseña y construye instrumentos para muchos telescopios grandes del mundo. También planifica y gestiona las colaboraciones internacionales del Reino Unido y sus científicos para llevar a cabo la investigación observacional y teórica en cuestiones como el origen de los planetas y las galaxias.

El centro UK ATC cuenta con una trayectoria líder en el mundo en sistemas de instrumentación de primer nivel. Los avances en la astronomía de observación son muy exigentes y cualquier propuesta de una instalación nueva es casi seguro que es un proyecto aislado que debe ser entre cientos, si no miles, de veces mejor que todos sus predecesores, si es que se financiará. Entonces es esencial contar con personas innovadoras, creativas, que estén actualizadas en las novedades de su campo. Igualmente, la experiencia es necesaria para convertir las ideas nuevas en soluciones fiables y rentables.

Los proyectos nuevos se inspiran en la necesidad científica de detectar objetos más tenues y más distantes, y mejorar la comprensión de los objetos más brillantes a través de imágenes, la espectroscopia y polarimetría. La expertise del personal incluye óptica y diseño óptico, diseño mecánico y mecanizado, diseño electrónico y fabricación, control computacional en tiempo real y captura y análisis de datos.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

El Centro ATC proporciona soluciones nuevas de diseño a través del trabajo en los grandes proyectos que actualmente incluyen:

- Un instrumento clave, SCUBA-2 (arreglo de Bolómetro submilimétrico de uso común de segunda generación) para el Telescopio *James Clerk Maxwell*.
- Un instrumento de infrarrojo medio (MIRI) para el Telescopio Espacial *James Webb*.
- El telescopio VISTA y la cámara de infrarrojos.
- Un espectrógrafo multi-objetivos (KMOS) para el VLT de ESO en Chile

El Centro ATC también está involucrado en el diseño del próximo gran telescopio de Europa y participa en los estudios de diseño del E ELT.

La investigación que realiza el centro ATC cubre un amplio rango de temas de astronomía, que son perfectas para explotar instrumentos en el estado del arte en construcción, o ya liberados por el centro ATC a los telescopios de todo el mundo.

El Centro ATC en Reino Unido mantiene fuertes vínculos y conexiones con organizaciones externas - a nivel local y global, en la academia y la industria, dentro de la comunidad de la astronomía y fuera de ella. Sus clientes incluyen:

- European Southern Observatory (ESO)
- Gemini Observatories (North & South)
- European Space Agency (ESA)
- Joint Astronomy Centre (JAC)
- National Aeronautics and Space Administration (NASA)

BRASIL

El esfuerzo astronómico brasileño es canalizado en la actualidad por las siguientes instituciones representativas de distinto nivel y objetivos:

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- Agencia Espacial Brasileira - AEB
- Astronomia na Web
- Astronomia no Zênite
- Cosmobrain Astronomia e Astrofísica
- Departamento de Astronomia (Instituto de Física-IF da UFRGS)
- Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro - IplanRIO
- Grupo de Estudos de Astronomia - GEA
- Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas IAG, USP
- União Brasileira de Astronomía (UBA)
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE
- ITA – Dpto. de Astronomía – São Jose Dos Campos – SP.
- Laboratório Nacional de Astrofísica LNA – Itajubá – MG
- Museu de Astronomia e Ciências Afins MAST
- Observatório Astronômico Antares Universidade Estadual de Feira de Santana
- Observatorio Astronômico do Colegio Estadual do Paraná – Curitiba - OACEP
- Observatório Astronômico Frei Rosário Universidade Federal de Minas Gerais
- Observatório Nacional - ON
- Portal do Astrónomo
- Sociedade Astronômica Brasileira.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

6.3 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO LIGADOS A LA ASTRONOMÍA A NIVEL MUNDIAL.

De acuerdo a la experiencia mundial, la astronomía tiene pocos impactos directos y éstos se consiguen en periodos de tiempo muy largos. Sus resultados no son apropiables comercialmente ni por patentes de invención ni por otros mecanismos.

Distinto es el caso de la astroingeniería y de la astroinformática, cuyos resultados han demostrado generar a corto o a mediano término aplicaciones en medicina, comunicaciones, industria, que no habría sido posible desarrollar sin el estímulo de la astronomía.

La mayoría de los países apuestan a impactos tecnológicos de envergadura y, a diferencia de la investigación básica en astronomía, el patentamiento es generalmente posible.

6.3.1 Proyección de la astroingeniería en el mundo

Todos los países desarrollados que cuentan con capacidades en astronomía definen sus prioridades de líneas de investigación y desarrollo según dos criterios complementarios:

- a. Las necesidades de la comunidad científica de astrónomos en términos de las grandes interrogantes y los instrumentos necesarios para el estudio del cosmos
- b. Los impactos esperados del uso dual de la tecnología que debe ser desarrollada para la astronomía.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

6.3.1.1 OECD

Un informe de la OECD⁴ indica las áreas que benefician a la astronomía: “the continued advances in computer technology will be of immense value to all astronomy projects, particularly those that depend heavily on electronics and computing such as large arrays of detectors and the Virtual Observatory projects. Advances in optical communication and data compression are also likely to have spin-off benefits to astronomy. However, certain specific requirements for the next generation of astronomical facilities are such that astronomers will be less able to rely on technological progress in other fields. For example, the bandwidth requirements for phased arrays in radio astronomy considerably exceed military requirements, as do the size requirements for the next generation of astronomical infrared detectors. Astronomy is already funding this R&D directly. A similar situation has existed for optical CCDs for a number of years” (El subrayado es nuestro).

“Key Areas for Investment” (OECD)

Facility	Technology	Comment
Large optical and infrared telescopes	Adaptive Optics	Including lasers
	Segment manufacture	
	Large structures	
	Instrumentation	Including detectors, large filters, multiplexing systems
Large radio arrays	Beam-forming in phased arrays	
	Antenna design	Low cost, high reliability
	Instrumentation and signal transport	
Multi-satellite space missions	Formation flying	

FUENTE: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Global Science Forum, **Workshops on Future Large-Scale Projects and Programmes in Astronomy and Astrophysics**, December 2003 / April 2004, Final Report

⁴ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Global Science Forum, **Workshops on Future Large-Scale Projects and Programmes in Astronomy and Astrophysics**, December 2003 / April 2004, Final Report

6.3.1.2 FRANCIA

En Francia, las perceptivas a 5 años que fueron identificadas⁵ son:

- Interferometría optica-infrarroja :
- Radioastronomía de baja frecuencia :
- Observatorio Virtual :
- Simulación numérica :

Una descripción con más detalle se encuentra en la siguiente tabla

Campos tecnológicos	Sistemas o sub sistemas
«Óptica» (visible, IR, UV)	VLT2, telescopios Robotizados, Interferometría Diseños opto-mecánicos: robots multi-objetos, slicers
	Óptica adaptativa: multi-conjugada, micro-opto-mecánica, control
	Detectores: TG CCD bajo ruido, « solar blind »
	Enlaces ópticos : Telemetría laser
«Radio» (m-μm)	ALMA (1&2) Planck/Herschel
	Matrices de bolómetros : caracterización y entorno
	Componentes QO y NL : multi-jonctions, matrices de detectores
	Auto-correlador et muestreo numérico
	Óptica de control
«Física fundamental»	Bolómetros multifunción para la materia oscura no barionica
«Logiciels»	Observatorio Virtual, interoperabilidad y data mining
	Compresión, corrección y reconstrucción de imágenes
	Logiciales para simular, concebir, controlar sistemas complejos

FUENTE: Centre National de la Recherche Scientifique, ASTRONOMIE ASTROPHYSIQUE, *Colloque de la Colle sur Loup 17-20 mars 2003*.

⁵ CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, ASTRONOMIE ASTROPHYSIQUE, *Colloque de la Colle sur Loup 17-20 mars 2003*

6.3.1.3 SUIZA

Las líneas prioritarias en Suiza han sido definidas por el Roadmap⁶ de manera que los institutos y empresas suizas provean expertise en las tecnologías claves:

- 1) Adaptive optics,
- 2) Advanced optical components,
- 3) Detector technology over a wide wavelength range,
- 4) Metrology combined with nanotechnology,
- 5) Low-power radiation-hard electronics,
- 6) cryogenics systems, and
- 7) Precision mechanics.

Una mención especial tienen las tecnologías de la información en el Roadmap suizo:

“Swiss astrophysicists will advance the state of the art commodity supercomputers to meet their computing needs. The UniZH is currently building a storage system which is the only one in the world with both failover NFS and information lifecycle management. Investments at a national level need to balance money put into large commercial systems and the cheaper commodity clusters

6.3.1.4 CANADA

El documento “Canadian Astronomical Society, **Unveiling the Cosmos, 0A Vision for Canadian Astronomy. Report of the Long Range Plan 2010 Panel c 2011**” (CASC), presenta un resumen muy completo que indica las tecnologías estratégicas y sus posibles aplicaciones.

⁶ Roadmap for Astronomy in Switzerland , 2007–2016

Strategic HIA technologies

Optical Technologies	Possible Applications
Aspheric optical components	Advanced optical systems for a broad range of applications
Optical coatings	Optical systems of all kinds
Visible light and infrared detectors	Extremely sensitive imaging detectors
Adaptive optics	Ophthalmology, remote sensing, any application involving poor seeing conditions
Control systems	Very wide application to all kinds of problems
Space-qualified hardware development	Space programs in the widest sense
Structures and enclosures for large optical telescopes: applications	Large and expanding international astronomy markets
Radio Technologies (e.g., ALMA & SKA)	Possible Applications
Control of flexible structures	Robotics
Low-cost innovative actuator design	Many applications possible
High-performance array antennas	Telecommunications satellite antennas
Tethered robotic vehicle controls	Under-sea vehicles, stabilized airborne platforms
Precision photogrammetry and advanced metrology for large structures	Fabrication and precision measurement of extremely large structures and machinery, precision machine control
High-precision GPS-based geomatics	Precision surveying
Cryogenics	Low-cost cryocoolers for mass application in computers and telecommunications. High-performance cryogenics for semiconductor industry and scientific research equipment.
High-temperature superconducting technologies	Telecommunications filters and satellite components
Precision structural design	Other astronomy facilities, antenna design, satellite antennas
Carbon fibre and other advanced materials	Many applications, including ultra stable structures, satellites
Generation of high power at hundreds of GHz	Telecommunications, research equipment
Semiconductor material processing	Semiconductor industry, high-performance sensors
GHz digital device design	Computing and digital systems at the high speed frontier, signal processing, telecommunications
High performance digital filters	Telecommunications, signal processing
Data Processing Technologies	Possible Applications
Techniques of large databases of images and other information applications	Libraries, statistical data, all kinds of scientific, medical, environmental, financial and technical data, relational and other database expertise, Internet access to databases, development of archives (especially for remote retrieval), multimedia archives, permanent storage management software, pipeline processing
Image processing techniques	Engineering, medical imaging
Parallel processing technologies	All kinds of computationally intensive data problems, parallel compiler technology

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

6.4 ÁREAS CON POTENCIAL IMPACTO NACIONAL

6.4.1 Líneas con potencial de desarrollo en Chile

Para la selección de las líneas con mayor potencial de desarrollo que son factibles de desarrollar en Chile, se han considerado tres criterios:

- a. Líneas que en el contexto mundial son consideradas prioritarias por los principales países desarrollados y se estimula su desarrollo.
- b. Líneas para las cuales existen en Chile grupos académicos con alguna experiencia y capacidad en el tema.
- c. Líneas que desarrollan tecnologías de frontera para la astronomía pero que tienen posibles aplicaciones en otras áreas como la medicina, la industria, la minería, las comunicaciones.

De esta manera, se propone la siguiente lista de líneas con potencial de desarrollo y con potencial de impacto, abordables en Chile:

Dada la complejidad técnica de estas líneas, se ha optado por presentar en este punto las líneas solamente en una tabla de resumen.

La información más técnica y detallada se encuentra en la sección de “Información de Soporte” para la profundización de estas líneas.

Línea de investigación	Posibles aplicaciones en otras áreas
Detectores ópticos	Medicina, seguridad, industria, minería
Óptica Adaptativa	Oftalmología, percepción remota, imágenes médicas.
Sistemas de Control	Industria, minería, medicina robótica
Antenas y receptores - hiperfrecuencias	Comunicaciones, detección, sensores industriales
Criogenia	Computación de alto rendimiento, comunicaciones
Diseño de dispositivos de alta frecuencia	Computación, sistemas digitales, telecomunicaciones, procesamiento de señales
Técnicas para manejo de grandes bases de datos	Datos médicos, datos industriales, grandes volúmenes de datos generados por la proliferación de sensores MEMS
Técnicas de procesamiento de imágenes	Ingeniería, medicina, recursos naturales.
Tecnologías de procesamiento paralelo.	Manejo de datos, procesamiento de señales, cálculo meteorológicos, sísmicos.
Infraestructura	Posibles aplicaciones en otras áreas
Almacenamiento de datos,	Todo tipo de data center de alta seguridad.
Transmisión de datos	Conectividad de centros urbanos, zonas aisladas que se integran a las redes con impacto marginal sobre éstas.

6.4.2 Condiciones para insertarse estas áreas.

Expertos de las Naciones Unidas y de la *National Science Foundation* (NSF, EE.UU.) consideran a la astronomía como una de las ciencias que ha alcanzado un mayor nivel en Chile, comparable al de países desarrollados. Debido a estas características, Chile es el país que posee mayor concentración instrumental para fines astronómicos en el mundo. De hecho, el año 2018 albergará casi el 70% de la capacidad de observación astronómica mundial posicionándose como una potencia mundial en actividad astronómica.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Chile tiene la oportunidad de transformarse en la “Capital astronómica del mundo” a partir de los siguientes supuestos:

- Instalación de infraestructura astronómica de clase mundial.
- Desarrollo de la Astronomía chilena, para convertirse en ciencia de clase mundial.
- Creación de capacidad tecnológica y competencias.
- Desarrollo de servicios de apoyo y tecnología para observatorios.
- Desarrollar instrumentos astronómicos.
- Participación en proyectos de astronomía de clase mundial a establecerse en Chile (ingeniería y otras áreas).
- Utilización de los proyectos astronómicos como guías para el desarrollo tecnológico.
- Creación de Parques Astronómicos.
- Protección efectiva de la contaminación luminosa en los sitios de observación.

Para aprovechar estas áreas se requiere de:

- Programas temáticos de largo plazo que apoyen la formación de capital humano y financiamiento que asegure su estabilidad en los centros y universidades.
- Actualizar y mejorar la infraestructura en astroingeniería
- Instrumentos para incubar desarrollo de instrumentación astronómica
- Instrumentos para fomentar el desarrollo de sistemas y dispositivos “de validación de proveedores” (fomento del “track record”)
- Financiamiento para el acceso a instalaciones de laboratorios y centros internacionales para integración y pruebas de prototipos, cuando la infraestructura no exista en Chile.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

- Fomentar los proyectos conjuntos entre los diversos grupos chilenos de investigación en astroingeniería y astronomía.
- Establecimiento de acuerdos al más alto nivel con gobiernos y observatorios para obtener información temprana de necesidades y adquisiciones. Establecer en Chile una Liaison Office.
- Establecimiento de acuerdos al más alto nivel con gobiernos y observatorios así como financiamiento para la transferencia de tecnología a universidades y empresas de base tecnológica en Chile.

7 ESTIMACIÓN DE IMPACTO ECONÓMICO

7.1 PRESENTACIÓN

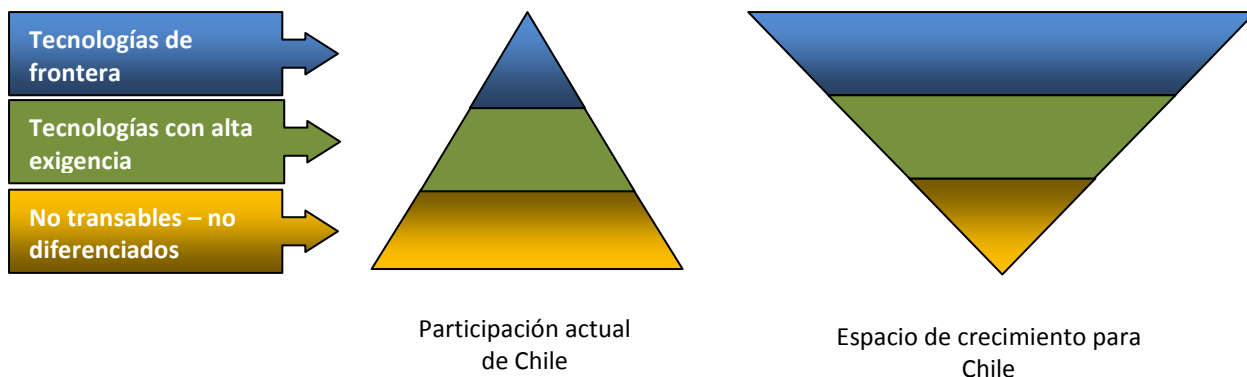
Se ha señalado anteriormente que los requerimientos de los observatorios son posibles de agrupar en tres grandes categorías, según el nivel de diferenciación respecto de las demandas de otros sectores productivos como es el caso de la gran minería del cobre en el norte de Chile. En primer lugar, se distinguen las “tecnologías de frontera”, “well beyond the state-of-art”, altamente específicas para astronomía y altamente diferenciadas respecto de otras tecnologías, como los detectores, gratings, receptores de radioastronomía, espejos. En segundo lugar, se distinguen las “tecnologías con alta exigencia” que son tecnologías ya probadas en varios sectores productivos, pero que para su uso en astronomía deben responder a exigencias de calidad y de funcionalidad especiales. Esta categoría abarca desde ensamblar fibras ópticas en alturas de miles de metros sobre el nivel del mar, circuitos electrónicos de muy bajo ruido, hasta el cambio de un actuador de un espejo. Por último, se encuentra la categoría de “no transables”⁷ y de commodities, que no presentan ninguna diferenciación con aquellos bienes y servicios que son demandados por otras áreas productivas, como por ejemplo la minería. A esta categoría pertenecen por ejemplo, agua potable, carreteras, servicios de mantención y alimentación. También, para el análisis, se consideran en este nivel bienes importados que se adquieren “off the shelf” como computadores de escritorio, teléfonos de oficina.

⁷ No transables son los “bienes y servicios que sólo se pueden consumir dentro de la economía en que se producen y no se importan ni exportan” INE, Revista Estadística & Economía N° 6.

Cada una de estas tres categorías, presenta un potencial de creciente para los próximos años.

Se estima que el mayor potencial de crecimiento está en el nivel más alto, el de tecnologías de frontera.

POTENCIAL DE CRECIMIENTO DE LAS OPORTUNIDADES DE MERCADO



Por su naturaleza, los bienes y servicios no transables demandados por los observatorios son en un 100% provistos por empresas chilenas o por filiales chilenas de empresas extranjeras, en proyectos y servicios tales como construcción de obras civiles, alimentación, transporte.

Por esta característica, el espacio de crecimiento para esta demanda tiene un potencial de crecimiento acotado, que es función de los nuevos proyectos anunciados o ya en construcción, lo que de todas maneras podría implicar en el mediano plazo al menos duplicar el monto de la demanda actual, especialmente durante la etapa de operación de los observatorios.

Respecto del nivel intermedio, que se refiere a los proyectos que integran y configuran tecnologías consolidadas pero que tienen exigencias particulares desde la astronomía, actualmente la participación de empresas chilenas puede ser considerada insuficiente, si bien existen casos de participación cuyos resultados son demostrativos de los grandes beneficios que se pueden lograr no solamente en términos de facturación sino también en términos de experiencia e imagen. El estudio ha identificado un potencial de crecimiento

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

de alto interés en la medida en que proyectos y servicios que hoy se llevan a cabo en los países miembros de los consorcios astronómicos, puedan ser asignados a empresas chilenas.

OPORTUNIDADES PARA LA INDUSTRIA, LA ACADEMIA Y LA INVESTIGACIÓN EN CHILE A PARTIR DE LOS GRANDES OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS

1. Existe un espacio de oportunidades para que empresas chilenas y grupos académicos participen en la construcción, en la operación y en el upgrade de los observatorios internacionales instalados o por instalarse en Chile, como proveedores de mediana tecnología.
2. Más allá de ello, en Chile se está presentado una oportunidad única de desarrollar nuevos negocios tecnológicos internacionales, a partir de la presencia de los observatorios astronómicos establecidos, en proyecto o en construcción. La ventaja proviene de la presencia local de un cliente de clase mundial que no solamente es usuario de alta tecnología, sino también productor, articulador y promotor de ésta.
3. Bajo las condiciones adecuadas, es factible el desarrollo de emprendimientos locales de alta tecnología para mercados mundiales, que tengan su punto de partida en la astroingeniería pero que extiendan su aplicación otras áreas tales como salud, minería, comunicaciones.
4. Bajo las condiciones adecuadas, es factible que una importante fracción de los proyectos de mediana tecnología que hoy son realizados por empresas extranjeras para los centros astronómicos instalados en Chile, sean realizados por empresas locales. Este desplazamiento de la oferta, de acuerdo a la experiencia de empresarios locales, tiene sus mayores beneficios en que las empresas locales asumen una metodología de trabajo de clase mundial que les otorga una carta de presentación que permite la expansión hacia mercados globales.
5. Bajo las condiciones adecuadas, el esfuerzo de las políticas públicas chilenas de fomento al emprendimiento e innovación puede llegar a tener altos multiplicadores debido a la factibilidad de apalancamiento de recursos tanto privados como de agencias extranjeras, a la alta eficiencia esperable en la transferencia tecnológica y a los mecanismos para la internacionalización de empresas locales de base tecnológica.
6. Estas oportunidades necesitan ser construidas, y es factible lograrlo en una colaboración público-privada chilena e internacional.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Como resultado del presente estudio, se destaca que aquello que resulta enormemente interesante en términos de oportunidades está en el nivel de tecnologías de frontera, en donde el espacio de crecimiento en términos de retorno económico es de al menos un orden de magnitud superior al nivel intermedio.

7.2 METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL IMPACTO

El análisis y la estimación cuantitativa de los impactos de la astronomía y de la investigación científica en general son de gran complejidad, tanto por la alta incertidumbre que tienen los resultados proyectados y sus aplicaciones, como por la asimetría de información entre los involucrados en estos análisis.

De una manera sintética, es posible distinguir dos orientaciones metodológicas para cuantificar el impacto.

- La primera de ellas se basa en un modelo de la estructura de la cadena de suministros. De acuerdo a la manera en que se encadenan los insumos y los productos en la economía, se realiza la estimación del impacto de las actividades de I+D (recursos humanos, instalaciones, infraestructura, equipamiento, suministros) en el crecimiento que es inducido en otras actividades productivas. Esta metodología tiene su expresión más sistemática en la construcción de las matrices insumo – producto (input – output matrix) basadas en las cuentas nacionales de un país o de una gran región.
- La segunda orientación se basa en el concepto de “tecnologías de uso dual” (dual use technology), concepto que ha sido desarrollado primeramente desde el mundo del desarrollo tecnológico aplicado a la defensa y que luego fue ampliado a otros campos del desarrollo de tecnologías de frontera. Esta metodología se funda en que el desarrollo de tecnología de punta en un sector específico pero enormemente exigente en cuanto a calidad y prestaciones, entrega como resultado nuevas tecnologías que pueden ser utilizadas en nuevas aplicaciones en

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

amplios sectores productivos tales como la medicina, la industria, las comunicaciones. En esta perspectiva, ese análisis busca determinar la relación entre los recursos invertidos en la investigación versus el volumen de negocios que se generan posteriormente mediante spin-off de clase mundial o mediante transferencias de tecnologías hacia el tejido industrial establecido.

En las dos secciones siguientes, el análisis empleará estas dos metodologías complementarias.

7.3 OPORTUNIDADES DERIVADAS DEL USO DUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE FRONTERA EN ASTROINGENIERÍA

En esta sección se discute el impacto probable que tendría el desarrollar en Chile la astroingeniería, incluyendo la astroinformática.

La hipótesis es que el impacto cuantitativamente más importante resultaría de la aplicación de tecnologías de la astroingeniería en áreas distintas de la astronomía, mediante la creación de spin-off tecnológicos.

En primer lugar, se describen casos de spin-off de la astroingeniería en el mundo, experiencia que se podría replicar en Chile bajo las condiciones adecuadas.

En segundo lugar, se resumen las dificultades - mundialmente reconocidas - que se presentan para llevar a cabo una estimación ex ante de los beneficios económicos de los programas de fomento al desarrollo de la tecnología.

En tercer lugar, a modo de ilustración, se presentan tres escenarios de cuantificación de los impactos económicos.

FACTIBILIDAD DE DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE FRONTERA

1. La astronomía y en especial la astroingeniería, involucran el desarrollo de tecnologías de frontera que posteriormente resultan en aplicaciones para otros sectores tales como la medicina, las comunicaciones, la industria
2. Los países que han desarrollado tecnologías de frontera en astronomía y astroingeniería han creado innovaciones y emprendimientos que han penetrado mercados mundiales. Se trata de nuevos negocios de alto valor agregado, intensivos en conocimiento.
3. En la hipótesis de desarrollo de negocios a partir de las líneas de astroingeniería que ya están presentes en Chile, se estima que los recursos invertidos por el Estado chileno podrían generar retornos en términos de exportaciones y de apalancamiento de financiamiento extranjero, en una relación de 50 a 70 veces.

7.3.1 Ejemplos de casos en la experiencia internacional

Existe en el mundo un significativo número de casos de empresas cuyo origen está en desarrollos de tecnologías para la astronomía y que luego han sido aplicadas a otros sectores productivos.

La lista presentada a continuación presenta algunos de los casos más representativos. En la medida en que la información está disponible, se entrega una indicación de la facturación o del valor de la empresa.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

A. Altium Limited (antes Protel)

Empresa australiana. Nace de la electrónica desarrollada para la astronomía de rayos X. Desarrolló en 1991 la primera herramienta para diseño de circuitos electrónicos basada en Windows. Altium emplea cerca de 270 personas y genera ingresos por cerca de 47 millones de dólares australianos (2003).

B. Radiata

Empresa australiana creada para comercializar sistemas de LAN (Local Area Network) inalámbricos. Fue adquirida por Cisco Systems por 600 millones de dólares. Los inventores de la tecnología provienen de la radio astronomía. El sistema LAN que comercializaron se basa en el desarrollo de un chip para “Fast Fourier Transform” en el CSIRO, que fue desarrollado para procesar los componentes de frecuencia de señales de radio-astronomía.

C. Electro Optics Systems (EOS)

Empresa australiana especializada en el diseño y producción de tecnologías laser, aplicadas a los mercados aeroespacial y defensa. Además fabrica telescopios de tamaño mediano y está desarrollando óptica adaptativa.

D. Auspace

Empresa australiana especializada en instrumentos electro-ópticos, comunicaciones por satélite y sistemas espaciales. Es un spin-off del Mt. Stromlo Observatory (1983).

Hoy proporciona instrumentos a las instalaciones terrestres y espaciales. Ha provisto el hardware para dos satélites europeos de percepción remota. Integró el satélite FedSat en sus instalaciones de Canberra.

E. Imagine Eyes

Empresa francesa. Utiliza la tecnología de óptica adaptativa desarrollada para astronomía. Esta tecnología es aplicada en dispositivos oftalmológicos para adquirir imágenes de la retina a un nivel celular, para diagnósticos de refracción y para

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

investigación oftalmológica en general. Fue fundada en 2003 por especialistas en fotónica y oftalmología. Sus ventas se sitúan en 2 millones de dólares y sus tasas de crecimiento anual son del orden del 35%.

F. Matrox

Empresa canadiense, creada por dos estudiantes de la École Polytechnique en 1979, para producir tarjetas electrónicas para almacenar imágenes numéricas en el Observatorio Mont Mégantic (OMM). Hoy día exportan alrededor de 200 Millones de dólares anuales.

G. Micralyne Inc

Empresa canadiense, anteriormente Alberta Microelectronic Corporation, nace del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación de la Universidad de Alberta. Comenzó con el desarrollo de módulos prototipos de antena - receptor usando la tecnología SIS (superconducting-insulator-superconducting) para astronomía.

Hoy, Micralyne desarrolla y fabrica actuadores, sensores, y estructuras mecánicas 3D. Provee servicios de fabricación de MEMS (micro-electromechanical systems) que incluyen dispositivos ópticos MEMS, micro fluidos y sensores MEMS. Tiene como mercados las telecomunicaciones, energía, automóvil, aeroespacial y defensa. Tuvo ingresos por 30.6 millones de dólares canadienses el 2009, un aumento de 35% respecto del año anterior

H. Blackford Analysis

Empresa británica, nace de la astrofísica⁸ y hoy desarrolla y comercializa algoritmos avanzados para el análisis en tiempo real de datos. Sus productos se aplican en imágenes médicas, aplicaciones de defensa, industrias del petróleo.

⁸ "Blackford Analysis' competitive edge is the result of it commercialising its extensive expertise in astrophysics." "Professor Alan Heavens of Edinburgh University set out to determine the age of stars in distant galaxies and devised a mathematical algorithm that compresses huge datasets while keeping all the information needed to solve a problem, a much faster way of making calculations than traditional

I. Softimage

Empresa canadiense, creada por dos investigadores del Observatorio Mont Mégantic que desarrollaron un sistema para visualizar imágenes astronómicas. La empresa se posicionó mundialmente en la producción de contenidos visuales profesionales, con herramientas para crear animación 3-D y 2-D.

J. Stellar Optics Research International Corporation

Empresa canadiense, spinoff de la York University, comercializa productos y servicios en los mercados de óptica y fotónica.

K. Zeeko

Empresa británica, spinoff del University College London. Se especializa en máquinas pulidoras de precisión y metrología para dispositivos de hasta 2.5 mts. Emplea 43 personas. Sus ingresos en el 2009 fueron de £3.0 Millones y de £4.0 Millones el 2010.

7.3.2 Limitaciones para la estimación del impacto económico de las aplicaciones duales

Para el caso de Chile, en que las aplicaciones duales de tecnologías desarrolladas para astronomía son todavía solamente una posibilidad, la manera de realizar un acercamiento

techniques. "It was pure scientific inquiry" he says, "We wanted to find a better way to solve a particular problem. It was only when we had invented a technique that was fast and accurate that I realised there could be a number of commercial applications outside astronomy or cosmology, and which could have some societal benefit." Professor Heavens realised that the technology could be used to speed up analyses of 3D brain imaging by MRI scanners." Innovation and Research Strategy for Growth, Presented to Parliament by the Secretary of State for Business, Innovation and Skills, by Command of Her Majesty, December 2011

"Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile"

cuantitativo al impacto esperado consiste en aplicar y adaptar los análisis que ya han sido realizados en países en donde estos negocios exhiben casos de éxito

Sin embargo, en los países que tienen desarrollo en astronomía y en astroingeniería, las evaluaciones cuantitativas del impacto de dicha actividad son escasas y no son periódicas.

En el Reino Unido, Andy Fabian, past president de la Royal Astronomical Society, declara el fracaso de un intento por medir el impacto de la investigación⁹.

Por su parte, un estudio del SPRU¹⁰ sintetiza las dificultades para medir los impactos económicos de la ciencia:

“The consensus in the economics literature is that measuring the economic impacts of science and innovation is highly problematic, due to the following issues:

- The time taken from an increase in R&D spend to an increase in welfare can be variable and lengthy.
- The *global nature of science and innovation* makes it particularly difficult to attribute domestic economic impacts to domestic science and innovation investment and policies.
- The *research base having direct as well as indirect effects on economic impact* also

⁹ Andy Fabian, **The impact of astronomy**, Royal Astronomical Society

Can we measure impact? The RAS has tried to consider economic impact seriously and we combined with the Institute of Physics to see if we could measure it. We wanted to connect a decision to put a pound into astronomy research with the pounds that later appear elsewhere as a result. We planned 12 case studies, starting with a pilot study of three, and commissioned a company, Oxford Economics, to carry it out. They attempted to trace three important technologies back to the underpinning scientific knowledge. As a result of the pilot study we have concluded that we can't do it. More than that, we don't think it is do-able; Oxford Economics doesn't think it is do-able, either. So we're not continuing with the study.

¹⁰ Science and Innovation Investment Framework 2004-14, Economic Impacts of Investment in Research & Innovation, July 2007, URN 07/1146

complicates the attribution of impacts to inputs of the research base.

For the reasons outlined above, it is highly difficult to attribute **overall economic impacts** (*aggregate effects on economic growth and improvements to welfare*) to the effects of a particular policy or investment.”

En la literatura, el esfuerzo más reciente y focalizado para la estimación del impacto de las astronomía, es el estudio realizado en Canadá “Estimation of the Economic Impacts of Canadian Astronomy, Prepared for The National Research Council, by The ARA Group (A Division of KPMG Consulting LP)”. Este estudio considera diversos tipos de impacto entre los que incluyen la capacitación de los recursos humanos.

En base a dicho estudio, la Canadian Astronomical Society declara que la inversión en I+D en astronomía puede tener multiplicadores de retornos para la industria de 10 veces lo invertido por el gobierno:

“Economic Potential of the Long Range Plan: is the "spinoff" stimulus to a wide range of high-technology businesses, generated as the new concepts in each project find their way into many other technological avenues across Canada. The leverage factors in this area are considerably harder to predict and to document. They depend more sensitively on the entrepreneurship of the high technology community within Canada in a more general sense, as well as on the ability of NRC/HIA to find and make the right connections for applications in industry.

But the examples discussed above suggest to us (again, conservatively) that 10-to-1 ratios in the creation of wealth are not unrealistic¹¹”

¹¹ Canadian Astronomical Society, Unveiling the Cosmos: A Vision for Canadian Astronomy 2010-2020, Report of the Long Range Plan 2010 Panel

Por su parte, la ESO cita un estudio acerca de los beneficios secundarios para las empresas proveedoras del CERN el año 2003, en proyectos intensivos en tecnología:

38 % de las empresas que respondieron desarrollaron nuevos productos como resultado directo del contrato original.

13 % comenzaron nuevos equipos de I+D.

14 % crearon una nueva unidad de negocios.

17 % abrieron un nuevo mercado.

42% incrementaron su presencia internacional.

44 % indicaron un aprendizaje tecnológico.

36 % indicaron un aprendizaje de mercado.

En síntesis, si bien el impacto económico de la investigación y desarrollo en astronomía es muy complejo de medir ex post y más aún complejo de estimar ex ante, en la medida en que el análisis sea restringido a casos de negocios derivados de la astronomía ignorando los impactos económicos de largo plazo, los impactos en capacidades de investigación y desarrollo, los impactos en capital humano, es posible una estimación indicativa si bien los márgenes de incertidumbre son por naturaleza muy elevados.

Por consiguiente, en el presente estudio, la estimación del impacto se limita al área de la astroingeniería, cuya cercanía al mercado es mayor que para la astronomía pura y para los fines de la cuantificación toma en cuenta solamente los probables spin-off directos.

No se contabilizan por tanto los beneficios en términos de aumento del capital de conocimiento en el país, los impactos sociales en Chile ni aquellas aplicaciones tecnológicas derivadas de la astronomía cuyos efectos se producen en el largo plazo.

7.3.3 Hipótesis de cuantificación del impacto en Chile de las tecnologías de uso dual

La aplicación del análisis al caso chileno se apoya en las hipótesis de tres escenarios en que, a partir de las principales líneas identificadas en Chile, se crean y desarrollan empresas de base tecnológica proyectadas a los mercados mundiales.

La cuantificación presentada a continuación se basa en un escenario hipotético que no tiene carácter predictivo.

El espíritu es ilustrar los beneficios que se podrían lograr en Chile si se replicaran experiencias de éxito logradas en otros países como Canadá o Australia.

Las cifras se construyen con hipótesis basadas en esas experiencias, pero el margen de incertidumbre es tal que la realización práctica seguramente diferirá de la estimación.

Las hipótesis de líneas de trabajo, de número de empresas y de facturación, si bien están basadas en experiencias exitosas externas, tienen como principal utilidad ayudar a la construcción de políticas, de objetivos y de indicadores de éxito de las políticas.

**POTENCIALIDADES DE USO DUAL
DE ASTROINGENIERÍA E INFRAESTRUCTURA EN CHILE**

Línea de investigación	Posibles aplicaciones en otras áreas
Detectores ópticos	Medicina, seguridad, industria, minería
Óptica Adaptativa	Oftalmología, percepción remota, imágenes médicas.
Sistemas de Control	Industria, minería, medicina robótica
Antenas y receptores - hiperfrecuencias	Comunicaciones, detección, sensores industriales
Criogenia	Computación de alto rendimiento, comunicaciones
Diseño de dispositivos de alta frecuencia	Computación, sistemas digitales, telecomunicaciones, procesamiento de señales
Técnicas para manejo de grandes bases de datos	Datos médicos, datos industriales, grandes volúmenes de datos generados por la proliferación de sensores MEMS
Técnicas de procesamiento de imágenes	Ingeniería, medicina, recursos naturales.
Tecnologías de procesamiento paralelo.	Manejo de datos, procesamiento de señales, cálculo meteorológicos, sísmicos.
Desarrollo de Infraestructura	Posibles aplicaciones en otras áreas
Almacenamiento de datos,	Todo tipo de data center de alta seguridad.
Transmisión de datos	Conectividad de centros urbanos, zonas aisladas que se integran a las redes con impacto marginal sobre éstas.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

7.3.3.1 Variables para la estimación

La estimación cuantitativa del impacto en Chile requiere suposiciones acerca del valor de al menos cuatro variables:

I. Variable Uno: Número de empresas exitosas

Para esta estimación el único dato actual es el número de líneas de I+D de astroingeniería que se desarrollan en Chile y que son consideradas en el contexto mundial como prioritarias.

La tabla en la página anterior, “Potencialidades de uso dual de astroingeniería e infraestructura en Chile” indica 11 líneas que cumplen con los requisitos de ser de interés mundial y de estar siendo desarrolladas o comenzando a ser desarrolladas en Chile.

Se estima que en Chile al menos cuatro o cinco líneas (por ejemplo óptica adaptativa, antenas y receptores en hiperfrecuencias, procesamiento paralelo y grandes bases de datos, electrónica) están en un nivel de avance tal que puede dar lugar con alta probabilidad a spinoff que impacten en otras áreas productivas.

A partir de esta base, se estima que del orden de 12 pequeñas empresas intensivas en conocimiento podrían desarrollarse y consolidarse en los próximos años.

En un escenario pesimista, se estima que solamente dos empresas serían exitosas y en un escenario optimista se estima la creación de una empresa de muy alto crecimiento y de alta facturación.

II. Variable Dos: Distribución de probabilidad de la facturación anual de cada empresa

Para esta variable solamente se cuenta con la información de casos de éxito de otros países.

Existen casos, citados anteriormente, de empresas como Radiata en Australia, vendida a Cisco en 600 millones de dólares o el caso de Matrox en Canadá cuyas exportaciones anuales alcanzan los 200 millones de dólares.

En un nivel intermedio de facturación se encuentran los ejemplos de la Canadiense Micralyne, con unos 30 millones de dólares canadienses anuales y la australiana Altium con ventas anuales de 47 millones de dólares australianos

Por último, se registra información de empresas como la francesa Imagine Eyes cuyas ventas están en el orden de los 2 millones de dólares anuales.

La probabilidad de lograr una empresa que facture 200 millones de dólares anuales se considera solamente en el escenario más optimista.

Para el escenario intermedio, se ha construido la hipótesis para Chile que de doce empresas, 8 facturen inicialmente del orden de los 2 millones de dólares anuales con una tasa de crecimiento del 6%, 3 empresas facturen inicialmente 2 millones de dólares anuales con una tasa de crecimiento del 30%, y una empresa facture a partir del sexto año 55 millones de dólares anuales.

En el escenario pesimista, se estima que solamente dos empresas resultan exitosas con facturaciones bajas y una tasa de crecimiento del 6%.

No se consideran los factores de crecimiento de cada empresa individual, ni se incluyen tasas de descuento.

III. Variable Tres: Porcentaje de la facturación que impacta en la economía de Chile

El cálculo del impacto en el producto interno debe descontar los componentes importados y los gastos de comercialización internacionales.

Al tratarse de empresas intensivas en conocimiento, el valor agregado es primordialmente la propiedad intelectual de los desarrollos. En el caso de sistemas e instrumentos, se estima que el costo de los insumos importados se sitúa entre el 10% para producciones de bajos volúmenes y el 40% para grandes volúmenes¹².

¹² El valor de 40% de costos de insumos está basado en estimaciones de costo vs precio de venta del iPhone.

Dado que cada caso es particular y desconocido a priori, se toma como hipótesis que los insumos importados y los gastos internacionales alcanzan un 40% de la facturación. Esta cifra se basa en el margen bruto de cerca del 50% para las pymes canadienses que fabrican equipos médicos¹³. Se supone para el caso chileno un margen semejante y que, de los costos, un 80% lo constituyen los insumos importados y los gastos internacionales.

Por otra parte, para las empresas que desarrollan software, los insumos importados son marginales por lo que suponer una media de 80% de margen bruto es razonable.

A la facturación, se agrega el apalancamiento de capital de riesgo internacional de unos 3 millones de dólares¹⁴ para empresas de bajo crecimiento, 8 millones de dólares para empresas de mediano crecimiento y 20 millones de dólares¹⁵ para empresas de alto crecimiento.

IV. Variable Cuatro: Monto del subsidio del Estado Chileno que tiene relación causal con el impacto producido

Se ha supuesto en el escenario intermedio que el Estado aporta subsidios por un total de 10 millones de dólares en el escenario intermedio, lo que corresponde a un monto del orden de lo que Corfo aporta para la atracción de centros de excelencia internacionales.

En el escenario bajo, se supone el mismo monto mientras que en el escenario más optimista se supone un aporte del Estado de 20 millones de dólares.

¹³ “The gross margin for the Medical Equipment and Supplies Manufacturing industry group was 55.2% in 2008” Canadian Industry Statistics (CIS), **SME** Benchmarking, Medical Equipment and Supplies Manufacturing (NAICS 3391).

¹⁴ Monto típico de la inversión en una empresa por parte de fondos de capital de riesgo.

¹⁵ Monto típico de un capital “mezzanine” o de una IPO de bajo monto.

7.3.3.2 Impacto en un escenario intermedio

Estimación del número de empresas

En un escenario intermedio, en que los recursos invertidos por el Estado chileno sean del orden de los 10 millones de dólares, se estima probable la creación de unas 12 empresas exitosas.

Estimación de la facturación

La estimación de facturación para el escenario chileno se basa en las experiencias extranjeras de emprendimientos tecnológicos “duros”. No se considera como un referente las empresas “punto com” ya que su dinámica es muy diferente del caso de la astroingeniería.

Las hipótesis empleadas para el cálculo se resumen en la siguiente tabla:

Tipo de empresa	Número de empresas exitosas	Facturación inicial (Millones de dólares)	Tasa de crecimiento anual
Empresas de bajo crecimiento	8	2	6%
Empresas de mediano crecimiento	3	2	30%
Empresas de alto crecimiento	1	4	45% (con tope de 55 MM USD)

Se ha considerado también, para cuantificar el apalancamiento de financiamiento, que típicamente los aportes de capital de riesgo para emprendimientos tecnológicos se sitúan en el orden de los 3 millones de dólares para empresas de bajo crecimiento, 8 millones de dólares para empresas de mediano crecimiento y 20 millones de dólares para empresas de alto crecimiento.

Caso	Número de empresas exitosas	Facturación total en 10 años (Millones de dólares)	Apalancamiento de capital de riesgo internacional por empresa (Millones de dólares)	Apalancamiento de capital de riesgo internacional total (Millones de dólares)
Empresas de bajo crecimiento	8	211	3	24
Empresas de mediano crecimiento	3	256	8	24
Empresas de alto crecimiento	1	330	20	20
TOTAL	12	797		68

Estimación del retorno del subsidio

El efecto producido por el fomento del Gobierno se estima en términos de la actividad económica generada.

No se consideran los gastos de marketing, ni de escalamiento, ni costos de operación, en la hipótesis de que estos gastos o inversiones son aportados por privados. El efecto del subsidio es por tanto, gatillar un proceso que de otra manera no ocurriría e incluye la facturación y el apalancamiento de recursos durante el ciclo de vida de la empresa.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Cálculo del Retorno del subsidio estatal:

$$\text{Retorno} = \frac{\text{E(fact)} + \text{E(capital)}}{\text{Subsidio}}$$

En dónde:

E(fact) = Esperanza de facturación en 10 años menos insumos importados y gastos internacionales.

E(capital) = Esperanza de apalancamiento de capitales de riesgo internacionales (se consideran ingresos para el país).

Subsidio = subsidio del gobierno en el periodo considerado.

Asumiendo para E(fact) un valor de 797 millones de dólares en 10 años con un margen bruto de 80%, para E(capital) un valor de 68 millones de dólares y para el subsidio un valor de 10 millones de dólares, el retorno estimado tendría un multiplicador de un valor cercano a 70. Este valor supone que una parte de los recursos pecuniarios y no pecuniarios necesarios para la internacionalización son apalancados en el extranjero y que el subsidio de Chile tiene su efecto de gatillo sobre el proceso completo.

Si para el mismo logro, el subsidio fuera de 15 millones de dólares, el retorno se situaría cercano a un factor de 50.

7.3.3.3 Impacto en un escenario bajo

Si solamente se crearan dos empresas exitosas, con una facturación inicial de 2 millones de dólares y una tasa de crecimiento de 6% anual, manteniendo las otras variables en los mismos valores que en el caso intermedio, el retorno esperado para el Estado se situaría en 4,8 dólares por cada dólar de subsidio.

7.3.3.4 Impacto en un escenario alto

Si se crearan 12 empresas exitosas, una de las cuales alcanzara una facturación de 200 millones de dólares anuales desde el sexto año, manteniendo las otras variables en los mismos valores que en el caso intermedio, el retorno esperado para el Estado se situaría en más de 140 dólares por cada dólar de subsidio.

7.4 ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA CADENA DE SUMINISTRO NACIONAL

Una segunda categoría de impacto proviene de la demanda y oferta inducidas en la cadena de suministros nacional.

Los requerimientos de los observatorios en términos de bienes, servicios y tecnología han sido ya descritos en secciones anteriores, por lo que se suponen conocidos.

En este capítulo, la pregunta es acerca de la cuantificación de los beneficios esperados en la cadena productiva.

Este análisis ofrece tres niveles de estimación:

- a) La facturación bruta de las empresas nacionales que prestan servicios o que participan en la construcción de los grandes observatorios en Chile.
- b) El efecto multiplicador en la cadena productiva.
- c) Los activos intangibles que las empresas pueden obtener de su participación en proyectos y servicios para los grandes observatorios.

7.4.1 Volumen del mercado en términos de facturación bruta.

El presupuesto de operación de los grandes observatorios en Chile tiene como componente principal la planilla de empleados, chilenos y extranjeros.

Las labores de mantención, reparación y upgrade de los instrumentos científicos y de los espejos o antenas son asumidas hoy casi en un 100% por personal interno de los observatorios.

Los subcontratos a empresas chilenas son en la actualidad primordialmente para labores lejanas al “core” de los observatorios. Estos subcontratos abarcan desde ingeniería civil hasta jardinería.

Se estima que aproximadamente entre un 20% y un 30% del gasto operacional anual se ocupa en este tipo de subcontratos.

Existe un espacio para que empresas chilenas aumenten esta participación, en dos sentidos:

- a) Desplazamiento de labores que hoy realizan en forma remota empresas extranjeras, hacia empresas chilenas de ingeniería.
- b) Externalización de labores de mantención y de reparación más cercanas al “core” de los observatorios.

De acuerdo a la información actual, este espacio podría ser del orden de un 10% del gasto de operación anual.

Según las proyecciones, de los cerca de 200 millones de dólares anuales de los gastos de operación anual proyectados, la facturación de empresas chilenas de servicios no diferenciados podría alcanzar los 50 millones de dólares anuales y los servicios de ingeniería de nivel intermedio podrían llegar a los 20 millones de dólares anuales.

7.4.2 Impacto en la cadena productiva.

La demanda de bienes y servicios de los observatorios tiene un impacto más allá de la facturación bruta de las empresas que prestan directamente los servicios o que entregan sus productos.

Sin embargo, la estimación de este nivel de impacto no es posible cuantificar de manera precisa.

En efecto, la manera más aceptada de cuantificar este impacto es mediante las matrices de insumo / producto o matrices de Leontief, cuya elaboración se realiza en base a las cuentas nacionales del Banco Central.

En el Banco Central de Chile, el concepto de “matriz insumo producto” ha sido reemplazado por “Compilación de Referencia”, manteniendo la base teórica. En dicha compilación, el sector de la astronomía no aparece desagregado.

No obstante, en los encadenamientos hacia atrás (backward linkages) es posible en una primera aproximación asimilar el impacto de este encadenamiento al que tiene la minería en la misma región geográfica, en consideración a que en el nivel de menos diferenciación la astronomía demanda los mismos servicios (y generalmente a las mismas empresas) que la minería. Asimismo, el nivel de salarios es igual o superior en promedio a los que se encuentra en la minería.

Un estudio de Cieplan sitúa los valores de los multiplicadores de empleo de la minería privada en 4.1 y en 6.71; este último valor considera las transacciones entre sectores y el efecto del incremento en el pago de salarios. “Esto implica que cuando se contrata un trabajador en el sector minero moderno se contrata en el resto de la economía 3,1 trabajadores adicionales”¹⁶. Los multiplicadores de producto del sector minero se sitúan en valores del orden de 1,5.

En atención a que el gasto de operación de los observatorios se compone en un 70% ó 80% de gasto en salarios y considerando que este salario no se gasta entero en la región, se puede estimar que el multiplicador “hacia atrás” del gasto de los observatorios es del

¹⁶ Patricio Aroca, Ph.D, *Matriz Insumo Producto y Encadenamientos Productivos: Impacto de la minería en la Segunda Región*. Cieplan.

orden de 3, siempre en la hipótesis de una semejanza de comportamiento de la astronomía con la minería en términos de impacto en la cadena productiva.

En lo que respecta a los encadenamientos hacia adelante (forward linkages), dado que la astronomía en Chile no produce ni bienes ni servicios que sean insumos para otros sectores, se ha identificado como el encadenamiento clave el incremento del turismo en la región y en el país, que se produce gracias a la presencia de los grandes observatorios.

La estimación del beneficio del turismo, por su carácter, tiene autonomía propia respecto del análisis de este informe. Por esta razón se ha decidido incluirlo como un elemento aparte y se entrega en anexo.

7.4.3 Activos intangibles para las empresas a partir de su participación en proyectos y servicios para los grandes observatorios.

Por último, es importante evaluar el impacto de que actividades hoy desarrolladas por personal interno de los observatorios sea traspasada a empresas chilenas externas.

Se podría argumentar que desde el punto de vista de la facturación se verificaría solamente un efecto de desplazamiento, ya que los observatorios contratarían los servicios a empresas externas en la medida en que ello no incremente sus gastos operacionales. Por tanto, el flujo de divisas hacia Chile se mantendría igual o incluso disminuiría levemente ya que el aumento de la facturación de empresas externas sería acompañado con una reducción en los montos de salarios del personal interno de los observatorios. En este razonamiento, no habría adicionalidad desde el punto de vista del país.

Sin embargo, en este escenario, para los empresarios chilenos existen beneficios no tangibles que se concretan por dos caminos complementarios:

- a) Las empresas locales asumen una metodología de trabajo de clase mundial, siendo los contratos frecuentemente firmados según las normas y legislaciones de Estados Unidos o Europa. Un correcto desempeño los habilita como “proveedores

confiables” de los observatorios en Chile y en el mundo.

- b) Realizar trabajos de en tecnologías de nivel intermedio (tecnologías consolidadas pero que tienen exigencias particulares desde la astronomía) es una carta de presentación a clientes de otras áreas productivas en el mundo, que facilita la obtención de nuevos contratos en nuevos mercados.

Estos beneficios intangibles se verificarían en empresas chilenas de base tecnológica. Para una empresa de transporte o de gasfitería, no es claro que trabajar para un observatorio aumente su prestigio más de lo que puede hacerlo trabajar para una gran empresa de la minería del cobre.

La cuantificación de estos beneficios no es posible a priori. Sin embargo, la experiencia internacional¹⁷ indica un factor entre 2 y 10 adicional por el efecto de los nuevos contratos que las empresas obtendrían como consecuencia directa de tener en su cartera de clientes a los observatorios internacionales.

A modo de ejemplo, la empresa canadiense AGRA-Coast; realiza ventas de 175 millones de dólares basada en las oportunidades creadas por la astronomía. Esta empresa se convirtió en líder mundial en la construcción de enclosures de telescopios y ha incursionado en áreas alejadas de la astronomía como son los parques de diversiones.

También en Canadá, la empresa DSMA Atcon Ltd., en los años 60 invirtió 25.000 dólares en el diseño de un telescopio óptico de 4 metros. Esto le permitió ganar licitaciones para proyectos en Italia, Alemania y Australia. El factor de apalancamiento (leverage) de su inversión inicial en astronomía ha sido estimado por la empresa en 40 a 1.

¹⁷ “Estimation of the Economic Impacts of Canadian Astronomy”, Prepared for The National Research Council, by The ARA Group (A Division of KPMG Consulting LP)

7.4.4 Resumen: hipótesis de tamaño del mercado

Nivel	Facturación actual	Facturación potencial en astronomía	Facturación potencial en otros mercados (minería, medicina, comunicaciones)	Multiplicador de impacto
Tecnologías de frontera	Algunos miles de dólares	Por determinar caso a caso	En un escenario intermedio, 700 millones de dólares en 10 años.	50 a 70 veces el aporte inicial del gobierno
Tecnología intermedia	5 - 6 millones de dólares	20 millones de dólares anuales	40 – 200 millones de dólares anuales	2 a 10 veces la facturación en astronomía, de acuerdo experiencias internacionales
Contratos de bienes y servicios no diferenciados	12 a 15 millones de dólares	50 millones de dólares anuales	Estos negocios no se originan en la astronomía	3 veces la facturación en astronomía (*).

(*) En la hipótesis de que el impacto en la cadena productiva es igual al impacto de la minería privada

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

8 CREACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS DE APOYO PARA EL DESARROLLO DE LA ASTRONOMÍA EN CHILE.

Las propuestas de políticas han sido divididas en dos partes.

Esta primera parte, “políticas públicas de apoyo para el desarrollo de la astronomía en Chile”, contiene las recomendaciones de carácter más general.

La segunda parte, “políticas para el desarrollo de las áreas de oportunidad”, toma algunas de las recomendaciones más generales entregadas en esta parte y se enfoca en las líneas de astroingeniería y astroinformática.

OBJETIVO 1: Fomentar la creación y desarrollo de negocios de base tecnológica a partir las oportunidades y externalidades que se generan en Chile por la presencia de observatorios internacionales.

Fundamentación:

La presencia de los observatorios internacionales en Chile ofrece oportunidades únicas para el desarrollo de ciencia y tecnología en Chile.

Estos observatorios pertenecen a la categoría de “big science”¹⁸ para la cual las tecnologías de frontera y los desafíos multidisciplinarios son su esencia.

Como se ha fundamentado anteriormente en este estudio, esta presencia contiene un potencial de gran valor que va más allá del tiempo de observación que se entrega a los astrónomos nacionales.

¹⁸ “The crucial feature that distinguishes Big Science from Little Science is the concentration of resources on a few major research facilities, with new equipment generally demanding significant R and D at the frontiers of technology”. Ben R Martin and John Irvine, SPIN-OFF FROM BASIC SCIENCE: THE CASE OF RADIOASTRONOMY Phbs Techno1 , Vol I. 1981 Printed in Great Britain

Su presencia puede ser un catalizador la creación de nuevas empresas de base tecnológica que exploten el uso dual de las tecnologías de la astroingeniería y astroinformática. Asimismo, es factible aumentar la participación de empresas ya existentes en los proyectos de tecnologías intermedias y desarrollar oportunidades de negocio desde esa base.

Recomendaciones:

- REC_1. Superar las asimetrías de información que hoy existen entre los proyectos astronómicos por una parte y las empresas y grupos académicos locales por otra parte, mediante la creación de una oficina de enlace en Chile, con funciones similares a las que tienen las oficinas de enlace europeas entre los países y la ESO.
- REC_2. Crear programas focalizados de fomento al desarrollo de ciencia aplicada en astroingeniería y astroinformática que privilegien proyectos de mediano plazo, que desarrollen tecnologías de frontera con probabilidad de uso dual, de preferencia apalancando recursos internacionales.
- REC_3. Fomentar la creación de entidades con capacidades de investigación aplicada y de gestión de proyectos complejos, como se detalla en la sección siguiente.
- REC_4. Generar competencias específicas a nivel nacional utilizando la fusión de temáticas entre ingeniería y ciencia astronómica, que sea abordado como un programa integrado que permita formar alianzas entre observatorios e instituciones de educación superior. Crear en conjunto programas de magister o de pasantías de estudiantes y profesores en los centros de investigación astronómica, de astroingeniería y astroinformática.
- REC_5. Negociar con los observatorios para facilitar y propiciar un espacio en torno a ellos en el cual sea posible la instalación de centros de investigación u observatorios más pequeños y de una industria tecnológica local, de tal forma que se puedan aprovechar de mejor forma los servicios ya instalados de

energía, telecomunicaciones e infraestructura general, entre otros.

- REC_6. Evaluar las materias que forman parte de negociación entre el Gobierno chileno y los observatorios que desean instalarse en Chile. Discutir si la solicitud de 10% de tiempo de observación para astrónomos nacionales, que sin duda ha permitido posicionar la astronomía chilena a nivel mundial, puede ser complementada con solicitud de transferencia de tecnología y/o acceso a programas norteamericanos y europeos para empresas y organizaciones chilenas de base tecnológica.
- REC_7. Evaluar la creación de un paquete de herramientas de apoyo para las empresas de base tecnológica o de ingeniería que quieran convertirse en proveedores de los observatorios. Estos paquetes podrían incluir capacitación, certificación, apoyo en la gestión de proyectos complejos, facilidad de boletas de garantía, seguros para minimizar el riesgo.
- REC_8. Promover una mayor integración entre los centros de I+D, buscando una articulación tanto en lo que se refiere a la infraestructura de laboratorio, compartiéndolos, como a la disponibilidad y variedad de personal calificado.

OBJETIVO 2: Desarrollar y posicionar una imagen internacional de Chile como actor en la astronomía mundial.

Fundamentación:

Una imagen país positiva en términos de capacidades tecnológicas tiene un beneficio que impacta en todos los sectores exportadores, al transmitir una imagen de calidad y de “un país que hace las cosas bien”. Es factible una estrategia, que se coordina con los esfuerzos científicos y tecnológicos, que posicione la imagen de Chile desde un “país con cielos limpios” a un “país que desarrolla ciencia y tecnología de nivel mundial”.

Una imagen de esta naturaleza también resulta un incentivo interno para la innovación y el aumento de la calidad de los productos y servicios nacionales.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

Recomendaciones:

- REC_9. Realizar un trabajo de difusión internacional, en un esfuerzo coordinado público – privado, acerca de los logros de la academia y de la industria chilenas en los trabajos con y para los observatorios. Difundir con ejemplos de casos de éxito la imagen de que existen en Chile capacidades para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, de primer nivel.
- REC_10. Aumentar la participación de Chile en las asociaciones astronómicas internacionales y en congresos internacionales de tecnologías asociadas o derivadas de la astronomía.
- REC_11. Establecer acuerdos internacionales a nivel de gobiernos para la cooperación en materias de ciencia y tecnología relacionadas con la astronomía y la astroingeniería.

OBJETIVO 3: Difundir la astronomía en todo Chile y crear una cultura astronómica nacional.

Fundamentación:

La astronomía es hoy en día una fuente de gran interés para el público en general por su objetivo de responder a preguntas fundamentales sobre el universo y nuestro lugar en él.

Esto es una oportunidad para que una parte importante del país pueda motivarse por la ciencia y la tecnología.

El objetivo es crear una identificación de los ciudadanos con el desarrollo de esta ciencia en Chile, ya que contamos con cielos privilegiados en el norte del país para las observaciones astronómicas. En este sentido, las actividades de difusión son fundamentales para transmitir el valor del desarrollo de la Astronomía para Chile y mostrar resultados concretos del progreso científico nacional. De este modo existe una gran oportunidad al difundir el desarrollo de la astronomía, y que la comunidad se apropie de

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

este tema y de las oportunidades asociadas, sintiéndose identificadas y transformando esta ciencia como Patrimonio Nacional, que Chile sea reconocido a nivel mundial, así como hoy ocurre con la industria minera y la industria vitivinícola, por la infraestructura e investigación en Astronomía.

En particular, a nivel de enseñanza básica y enseñanza media, una difusión de la astronomía y sus tecnologías asociadas puede resultar en una gran motivación de alumnos y profesores por las matemáticas, física, química e incluso biología.

El acceso a Internet y la posibilidad de crear observatorios virtuales para el nivel de enseñanza media, pueden estimular y reforzar la enseñanza de ciencias para todo Chile.

Recomendaciones:

REC_12. Crear políticas públicas que apunten a permitir una mayor información a la comunidad acerca de las actividades astronómicas realizadas en el país.

REC_13. Fomentar que las personas puedan acceder fácilmente a documentación pública en el ámbito de la astronomía, como por ejemplo, observaciones que se encuentren publicadas y que puedan ser utilizadas por un docente para dictar una clase.

REC_14. Crear un observatorio virtual de nivel enseñanza media, con datos reales de los observatorios, al que puedan acceder todos los estudiantes de Chile. Este observatorio debería contar con profesores en línea para que, desde los centros urbanos, puedan apoyar y guiar a los estudiantes. Esta iniciativa puede ser complementada con la creación de redes de interés nacionales e internacionales, en las que incluso desde escuelas rurales los estudiantes puedan participar en discusiones por videoconferencia.

REC_15. Utilizar la astronomía como un medio de motivación para que los alumnos y profesores de toda escuela o colegio de Chile despierten interés por matemáticas, física, química y otras materias. Desarrollar herramientas de educación a distancia para que los alumnos motivados puedan profundizar y

desarrollar habilidades guiados por profesores especialistas.

REC_16. Crear una “escuela de invierno” o “escuela de verano” de astronomía, posiblemente en la modalidad itinerante, que organice eventos diferenciados para estudiantes, padres, tercera edad, con profesores reconocidos. Estos eventos pueden estar abiertos a personas de todo Chile y también a extranjeros.

REC_17. Promover iniciativas de turismo astronómico.

OBJETIVO 4: Consolidar una infraestructura de comunicaciones, almacenamiento y tratamiento de datos basada en la astronomía.

Fundamentación:

La gran cantidad de datos generada por los observatorios, que en el futuro crecerá de manera exponencial, necesita una nueva infraestructura para transmitir, almacenar y procesar los datos generados.

Esto abre la oportunidad para que en Chile se desarrolle la conectividad entre los centros de investigación, universidades e instituciones astronómicas y fomentar la colaboración entre ellos creando sinergias para el desarrollo de la Astronomía.

También es posible pensar en alinear las necesidades de conectividad universal con la necesidad específica de redes de alta velocidad para uso de los observatorios.

Recomendaciones:

REC_18. Articular con los observatorios que su diseño de red contemple la interconexión con entidades nacionales.

REC_19. Articular con los observatorios que su diseño de red contemple tramos comunes para dar conectividad a comunidades rurales cercanas a los observatorios.

REC_20. Fomentar la creación de Data Centers nacionales que sean sustentables con servicios a la astronomía y que puedan extender sus servicios a otras áreas productivas y a otros países.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

9 POLÍTICAS ESPECÍFICAS PARA EL DESARROLLO DE LAS ÁREAS DE OPORTUNIDAD EN ASTROINGENIERÍA

9.1 ESTRATEGIA DE FOMENTO A NEGOCIOS TECNOLÓGICOS BASADOS EN USO DUAL DE ASTROINGENIERÍA

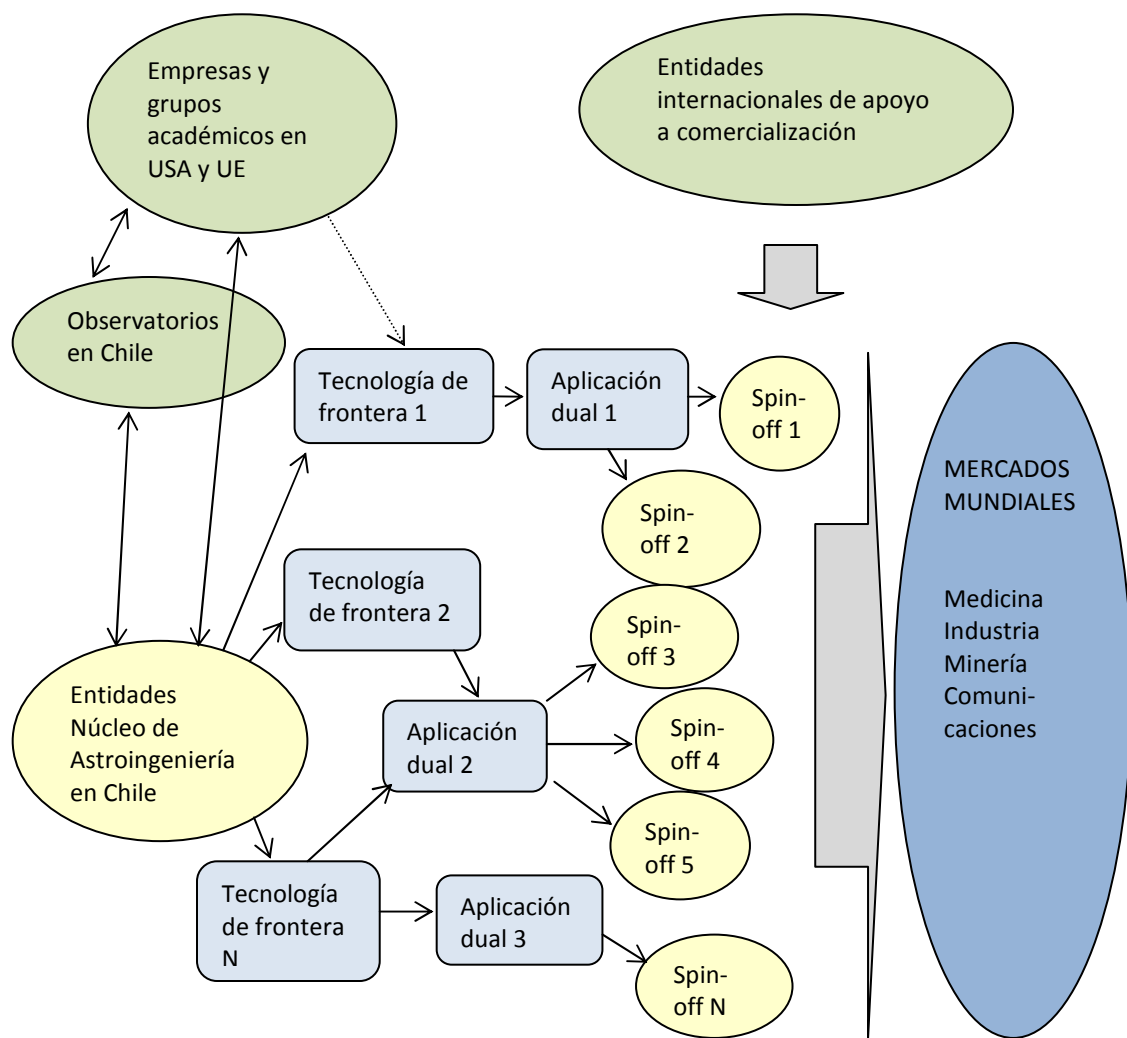
Para la creación de negocios en base a tecnologías de astroingeniería, se requiere resolver los siguientes elementos críticos:

1. Acceso a la información directa acerca de los requerimientos futuros de uno o varios observatorios, para la identificación de los sistemas o dispositivos que necesitan de tecnologías de frontera.
2. Una capacidad instalada residente en una entidad “núcleo”, por ejemplo un Consorcio Tecnológico o un Centro de Excelencia, que garantiza una alta probabilidad de obtener el resultado
3. Una “cartera de trabajos” (track record) de productos o proyectos en el área de la astroingeniería, que permite una relación de confianza con el observatorio o con sus proveedores directos.
4. Una vez desarrollada la tecnología, un entorno de innovación que fomenta la expansión hacia mercados mundiales, aplicando la tecnología en soluciones para otros sectores productivos.
5. Una fuerte integración entre redes académicas e industriales.
6. Un entorno de apoyo a la construcción de prototipos, al patentamiento, al levantamiento de capital y al marketing internacional.

“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

La factibilidad de reproducir en Chile experiencias exitosas implica por tanto una estrategia compuesta por al menos los siguientes elementos:

1. Desarrollo y/o fortalecimiento de una o varias "entidades núcleo" en el mundo de empresas chilenas de base tecnológica y en el mundo académico.
2. Fomento al desarrollo de soluciones de tecnologías de frontera, en colaboración con los centros astronómicos instalados en Chile así como con grupos y centros de astroingeniería ubicados en los países miembros de los consorcios astronómicos instalados en Chile.
3. Estímulo a la apropiación y al uso dual de las tecnologías desarrolladas para astronomía.
4. Convenios a nivel gubernamental para facilitar el acceso de empresas y de emprendimientos chilenos a las herramientas de apoyo a la comercialización internacional.



“Estudio capacidades y oportunidades para la industria y academia en las actividades relacionadas o derivadas de la astronomía y los grandes observatorios astronómicos en Chile”

9.2 RECOMENDACIONES

Nuevas entidades

REC_21. Crear concursos de Consorcios Tecnológicos en Astroingeniería, que contemplen I+D en su core business. Se recomienda que estos consorcios tengan un horizonte de mediano plazo coherente con los plazos necesarios para que las tecnologías de frontera lleguen al mercado. Se recomienda también que estos Consorcios deben tener la capacidad de articular distintos actores empresariales chilenos, impulsar la colaboración entre grupos académicos y establecer alianzas con entidades en Europa y en Estados Unidos.

REC_22. Impulsar una incubadora de astroingeniería, con la participación activa de los observatorios norteamericanos y europeos. Se recomienda que esta incubadora tenga una apertura amplia a todas las Universidades y a todas las empresas de base tecnológica. Uno de sus principales objetivos debería ser entregar el espacio para que nuevos emprendimientos puedan construir una “cartera de trabajos” (track record) de productos o proyectos en el área de la astronomía.

Convenios y acuerdos Internacionales

REC_23. Establecer convenios con los observatorios instalados en Chile para que exista un flujo permanente de profesionales entre los consorcios, incubadoras y observatorios. Estos convenios deberían reducir las asimetrías de información y construir un “capital de confianza” que se traduzca en logros tecnológicos para los profesionales chilenos.

REC_24. Establecer convenios con los observatorios instalados en Chile para que

empresas, emprendimientos y grupos académicos chilenos tengan acceso a los instrumentos de fomento que existen en Europa y de Estados Unidos para apoyar la comercialización de tecnologías.¹⁹.

REC_25. Establecer convenios para que empresas y emprendimientos chilenos puedan beneficiarse de la política para las pequeñas y medianas empresas de la ESA (European Space Agency), específicamente la SME Policy Office²⁰

REC_26. Fomentar desde los más altos niveles la asociatividad entre empresas chilenas y grupos universitarios chilenos con Centros de Astroingeniería tales como el Astronomy Technology Centre (ATC) en Reino Unido, SRON en Holanda, CSIRO en Australia.

Líneas de fomento público en Chile

REC_27. Establecer líneas de apoyo a proyectos de innovación tecnológica que consideren en la evaluación criterios de mediano y largo plazo con incertidumbre de mercado.

REC_28. Establecer una instancia de apoyo, coordinada con socios europeos y norteamericanos, para promover el patentamiento y el uso dual de tecnología desarrollada para astroingeniería.

REC_29. Establecer instancias que permitan a empresas Chilenas la transferencia y uso de alta tecnología desarrollada para Astronomía a otros sectores de la economía nacional, tales como minería y agricultura.

¹⁹ Ver ejemplos de entidades en la “Información de Soporte”.

²⁰ The SME Policy Office has put in place a number of measures to reinforce the technical capabilities and sustainability of high technology SMEs in order to facilitate their involvement in ESA activities. Encouraging SME involvement in ESA activities. Technical support to SMEs. Enhanced opportunities for business partnership and networking