

# **PROYECTO LLAMA**

*Propuesta para la construcción de un radiotelescopio de ondas milimétricas y submilimétricas en el Noroeste Argentino*

**Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR-CONICET), Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE-CONICET), Argentina**

**Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias de la Atmósfera (IAG),  
Universidad de San Pablo, Brasil**



**Marzo de 2010**

## INDICE

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Objetivos Científicos.....	9
Transferencia Tecnológica.....	11
Posibles sitios en el Noroeste Argentino.....	11
Organización General del proyecto .....	11
Importancia Nacional y Regional del Proyecto.....	13
Conclusiones.....	14
<b>Apéndice A</b>	
Líneas de Investigación.....	16
<b>Apéndice B</b>	
Transferencia Tecnológica.....	24
<b>Apéndice C</b>	
Actividades de Transferencia Tecnológica realizadas en el IAR...	28
<b>Apéndice D</b>	
Sitios Potenciales.....	31
El telescopio LLAMA y las comunidades collas.....	34
<b>Apéndice E</b>	
La antena LLAMA.....	35
Instrumentación.....	36
Formación de Recursos Humanos.....	39
<b>Apéndice F</b>	
Infraestructura.....	40
<b>Apéndice G</b>	
Presupuesto preliminar.....	42
Generación de energía.....	44
Apoyo internacional al Proyecto.....	47
Investigadores argentinos con interés científico en el proyecto.....	48
Investigadores brasileños con interés científico en el proyecto.....	48

## PROYECTO LLAMA

E.M. Arnal<sup>1,2</sup>, I.F. Mirabel<sup>3</sup>, R. Morras<sup>1,2</sup>, G. Romero<sup>1,2</sup>, G. Dubner<sup>3</sup>, Z. Abraham<sup>4</sup>, E. M. de Gouveira Dal Pino<sup>4</sup>, & J. Lepine<sup>4</sup>

### RESUMEN

En esta presentación se describe un anteproyecto científico y tecnológico conjunto con la República de Brasil, cuyo primer objetivo es la instalación y puesta en funcionamiento de una antena para ondas milimétricas y submilimétricas en la región noroeste de la República Argentina. A posteriori, se buscará integrar esta antena al interferómetro ALMA, la antena APEX, y/o la antena ASTE, a los fines de establecer las bases de la primera red de Interferometría de Línea de Base muy Larga (VLBI, por sus siglas en inglés) en Latinoamérica. Se describen brevemente algunos de los objetivos científicos que se persiguen, los estudios realizados en sitios que podrían ser asiento de esta facilidad, las oportunidades de transferencia tecnológica que se abren y la importancia de este proyecto para la astronomía argentina en particular, y la latinoamericana en general.

<sup>1</sup> Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), CCT- La Plata, CONICET, Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG), UNLP, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE)- CONICET, Argentina

<sup>4</sup> Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias de la Atmósfera (IAG), Universidad de San Pablo, Brasil

## INTRODUCCIÓN

El proyecto LLAMA (acrónimo de **L**ong **L**atin **A**merican **M**illimeter **A**rray) es un emprendimiento conjunto argentino-brasileño, cuya finalidad es la instalación y puesta en funcionamiento de una antena de 12m de diámetro en el noreste de Argentina, en un sitio ubicado por encima de los 4.700 metros de altura sobre el nivel del mar. Dicho telescopio trabajará en la banda de frecuencias comprendida entre los 90 GHz y los 700 GHz y contará con receptores extremadamente sensibles y sistemas de mando, control y procesamiento de datos. Aunque inicialmente el instrumento funcionaría como un telescopio independiente, uno de los objetivos perseguidos por este proyecto es que el mismo sea el primer elemento de una serie de antenas que conformarán la primera red de interferometría VLBI en Latinoamérica. Con este Proyecto binacional ambos países estarían anticipándose a una futura expansión natural del interferómetro ALMA, que sería colocar antenas a distancias mayores, en un esquema semejante al proyecto **S**quare **K**ilometre **A**rray (SKA). Este modo de funcionamiento permitirá abrir una plétora de posibilidades para realizar investigaciones que necesiten de elevada resolución angular en la banda milimétrica y submilimétrica.

La astrofísica moderna, para avanzar en el conocimiento del Universo, requiere del análisis e interpretación de datos que puedan ser obtenidos en distintas frecuencias a lo largo de todo el espectro electromagnético. Por una variedad de razones técnicas, hasta hace pocas décadas atrás la única posibilidad de escudriñar el Universo se encontraba restringida a la denominada *ventana óptica*. A mediados del siglo pasado, los avances tecnológicos producidos en la Segunda Guerra Mundial abrieron nuevas perspectivas para estudiar el Universo. En efecto, en los años 1950 los astrónomos pudieron estudiar por primera vez el Universo a frecuencias que caen dentro del extremo inferior de la denominada *ventana de radio* del espectro electromagnético. El desarrollo de la era espacial también abrió nuevos horizontes en la investigación astronómica, y mediante el uso de satélites se pudo obtener información en regiones del espectro electromagnético hasta entonces vedadas para un observador situado sobre la superficie de nuestro planeta. Así, se sumaron a las ventanas ópticas y de radio las regiones correspondientes a las bandas de altas energías (rayos  $\gamma$  y rayos X), al ultravioleta, y al cercano y lejano infrarrojo. Las ventanas milimétrica/submilimétrica forman un puente entre la astronomía del infrarrojo lejano y la radioastronomía a frecuencias bajas. Los problemas y desafíos técnicos a resolver en estas bandas han sido complejos y variados, siendo este el motivo que hizo que las observaciones astronómicas en ese rango de longitudes de onda fuesen las últimas ventanas de espectro electromagnético, en el reino de las microondas, en incorporarse a la investigación astronómica.

Uno de los resultados más importantes en los últimos 20 años en el área de la radioastronomía ha sido la detección e identificación de distintas especies moleculares en el espacio, y la interpretación de sus distribuciones, abundancias y anomalías isotópicas. Aunque en otra sección de esta presentación se mencionará, resumidamente, diversas líneas de investigación que podrían beneficiarse con la disponibilidad de un instrumento como el esbozado, vale mencionar brevemente que el estudio de estas especies moleculares ha tenido un profundo impacto en áreas de investigación tan variadas como las de evolución estelar, núcleo-síntesis, química del Universo, estructura y dinámica de las galaxias, y bioastronomía. Las tradicionales observaciones ópticas y en el rango de las frecuencias más bajas dentro de la ventana de radio pueden aportar datos muy limitados a las áreas de investigación

anteriormente mencionadas, pues la mayoría de la información proveniente de las emisiones moleculares sólo puede ser observada en las denominadas *ventanas milimétricas* y *submilimétricas* del espectro electromagnético.

Como fuera mencionado al inicio de esta sección, LLAMA podrá funcionar como un instrumento autónomo (“single-dish”), o como parte de una red de VLBI que en una primera etapa podría estar constituida por algunas de las antenas del gigantesco emprendimiento denominado **Atacama Large Millimeter Array (ALMA)**, cuya construcción finalizará hacia fines del año 2012 y que está siendo financiada por un consorcio integrado por los Estados Unidos, la Comunidad Económica Europea y la contribución de Japón y Taiwan; por el instrumento **Atacama Pathfinder EXperiment (APEX)**, que ha construido el Observatorio Europeo Austral (ESO en inglés); y/o el radiotelescopio **Atacama Submillimeter Telescope Experiment (ASTE)**, construido mediante una cooperación entre el Observatorio Nacional de Japón, las universidades japonesas de Tokio, Nagoya y Osaka y la Universidad Nacional de Chile. El radiotelescopio LLAMA, al suministrar las líneas de bases más extensas, permitirá incrementar unas 10 veces la resolución angular alcanzada por el interferómetro ALMA. Así, se podrán estudiar fuentes no resueltas por ese interferómetro, colocando a nuestros países en una posición ventajosa dentro de la radioastronomía mundial.

Dado que uno de los principales objetivos es realizar interferometría con algunas de las antenas de ALMA, se decidió optar por un modelo de antena y receptores similares a los de dicho interferómetro. Esto simplifica enormemente la especificación del sistema. La antena será suministrada por las mismas empresas que están construyendo ALMA, lo cual se traducirá en una reducción considerable en el precio final de la misma al no ser requeridas inversiones necesarias para un nuevo diseño, al mismo tiempo que permitirá contar con una antena que tiene incorporadas las mejoras y corregidos los errores encontrados a los prototipos que fueron probados en el **National Radio Astronomy Observatory (NRAO - EEUU)**. A su vez, los receptores de ALMA, para las longitudes de onda de 3 mm, 1 mm, 0,85 mm y 0,45 mm, se están desarrollando en Institutos de Investigación y Universidades en diferentes partes del mundo. Los receptores de LLAMA podrían ser construidos en esos mismos Centros, con la participación de expertos de Argentina y Brasil, teniendo como beneficio, desde el inicio, la transferencia de tecnología de punta.

El proyecto prevé una etapa inicial consistente en la instalación de una antena que se será utilizada en el modo “single-dish” o antena única. Se hace hincapié en la justificación científica, en los programas de investigación que se pueden desarrollar en esta etapa con una antena, utilizada en esa modalidad, en las bandas milimétricas y submilimétricas. Además de los aspectos científicos, la instalación de una antena nos permitirá aprender más sobre los problemas logísticos en la operación de un observatorio a gran altura, y generar una colaboración eficaz entre los radioastrónomos de ambos países. En una segunda fase del Proyecto se procederá a la adquisición del equipamiento para VLBI.

Las inversiones de capital necesarias para la construcción de grandes instrumentos, no pueden surgir de los presupuestos normales de las agencias (CONICET, ANPCyT) que financian las actividades de Ciencia y Técnica del país. El proyecto LLAMA posee varios aspectos de importancia que justifican una inversión de capital inicial por parte del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina, cuya financiación podría ser distribuida a lo largo de un plazo de tres años, a los fines de dar el impulso necesario para concretar la realización del mismo. Cabe mencionar que el proyecto LLAMA:

1. Constituirá para Argentina y Brasil, que actualmente no forman parte del consorcio ALMA, una oportunidad de tomar la iniciativa en un proyecto científico-tecnológico original y de gran impacto a nivel mundial.
2. Colocará, tanto a Argentina como a Brasil, en una posición ventajosa para participar en una versión extendida del proyecto ALMA con una inversión de sólo el 1 % de la inversión total demandada por ALMA.
3. Permitirá reafirmar y profundizar la integración científico-tecnológica entre los países más importantes del bloque MERCOSUR.
4. Ofrecerá, al involucrar nuevas tecnologías en varias ramas de la ingeniería de grandes estructuras y de diversos campos de la ingeniería digital, excelentes oportunidades para la formación de recursos humanos altamente capacitados en áreas consideradas de vacancia y/o estratégicas para el quehacer nacional.
5. Permitirá, al hacer uso de recursos humanos capacitados en el uso de tecnologías consideradas novedosas, la constitución de grupos-semilla que lleven a cabo actividades de transferencia tecnológica desde el sector científico-tecnológico hacia diversos campos de la actividad económica del país.
6. Impulsará la colaboración académico-tecnológica a nivel nacional entre diversas Facultades de las Universidades Nacionales de Salta y Jujuy, con sus similares de Universidades Nacionales con tradición académica en el campo de la astronomía (Universidad Nacional de La Plata, Universidad Nacional de Córdoba, Universidad Nacional de Buenos Aires y Universidad Nacional de San Juan).
7. Representará oportunidades para incrementar las colaboraciones internacionales. La colaboración científico-tecnológica de las principales instituciones astronómicas de Argentina y Brasil, producirá en el contexto del proyecto LLAMA un equipo técnico altamente capacitado. Este aspecto abrirá las puertas a colaboraciones internacionales sin precedentes, tanto en el campo científico como en el tecnológico.
8. Abrirá en la región del noroeste de Argentina nuevas oportunidades de trabajo, debido a la necesidad de cubrir puestos laborales, vinculados al proyecto LLAMA directa o indirectamente,
9. Representará una oportunidad para la participación de la industria y empresas, tanto argentinas como brasileñas, en los contratos de todas las obras de infraestructura inherentes al proyecto propuesto, con el consiguiente impacto socio-económico para la región.

El proyecto LLAMA fue elaborado y desarrollado teniendo como guía cuatro ideas - fuerza, que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a) Debería ofrecer la posibilidad de abordar proyectos científicos novedosos y de excelencia tanto en el contexto nacional como en el internacional,

- b) Debería promover la sinergia entre diversos sectores académicos y productivos de nuestro país,
- c) Debería promover la integración regional Latinoamericana, prestando especial atención a los vínculos que puedan generarse dentro del MERCOSUR,
- d) Debería permitir a nuestro país recuperar, aunque sea parcialmente, el rol de liderazgo que tuvo décadas atrás en el concierto de la astronomía observacional Latinoamericana y en el desarrollo de instrumentos dedicados a la investigación astronómica.

Podría argumentarse que para realizar “*proyectos científicos noveles y de excelencia tanto en el contexto nacional como en el internacional*”, sería **menos oneroso** que los astrónomos remitieran propuestas de observación a facilidades instrumentales existentes en otros países, para no tener así que afrontar la inversión inherente a la instalación de un radiotelescopio como el propuesto para el proyecto LLAMA. Este razonamiento, de base estrictamente economicista y muy difundida en los niveles de decisión de los países en vías de desarrollo, no da cuenta que instrumentos ubicados en sitios como el propuesto para el proyecto LLAMA, son muy escasos en el mundo. Esto provoca que los astrónomos de todo el orbe compitan por tener acceso a dichos instrumentos. Como es fácilmente entendible, el número de horas de observación solicitados supera holgadamente la disponibilidad existente. A modo de ejemplo, valga mencionar que en el instrumento APEX (ubicado en el norte de Chile y con características técnicas similares al que se propone para el proyecto LLAMA), el número de solicitudes que se pueden llevar adelante sólo llega al 12 ó 13% del total de las que se reciben. Esto también hace que los proyectos que requieran muchas horas de observación, tengan menos posibilidades de ser llevados a cabo. En resumen, esta opción implicaría que sólo una fracción muy pequeña de la comunidad astronómica de Argentina podría tener acceso a dichos instrumentos.

La opción mencionada también posee otra consecuencia que pocas veces es sopesada en forma apropiada. Los instrumentos de observación usados en astronomía son, en general y en radioastronomía en particular, muy complejos desde el punto de vista tecnológico. Para su diseño, construcción, desarrollo y mantenimiento se requiere disponer de recursos humanos altamente especializados en diversos campos de ingeniería y de ciencia de la computación. Estos recursos sólo se forman apropiadamente si los mismos pueden tener acceso directo y participan en forma activa a lo largo de tiempo en los distintos aspectos inherentes al desarrollo de un instrumento radioastronómico. La opción economicista claramente impide la formación de estos RRHH. El proyecto LLAMA debe ser concebido no como un gasto, sino como una inversión tecnológica para ambos países.

El IAR es una muestra viva de la ventaja que significa para el país disponer de RRHH tan calificados. En efecto, ingenieros del IAR han participado y participan en desarrollo de equipos que son claves para el desarrollo del plan espacial de Argentina que tiene bajo su órbita la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) (*Ver APENDICE C*). A modo de ejemplo se puede mencionar el caso del radar en banda L del satélite SAOCOM: el costo del mismo, cuyo prototipo fue desarrollado en el IAR y su construcción esta a cargo de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), es de aproximadamente U\$S 5.000.000. El mismo fue presupuestado por una empresa canadiense, llave en mano, por un valor de U\$S

45.000.000. Al ahorro de divisas resultante debe sumarse el “know-how” adquirido y la consolidación de un grupo de trabajo.

En otro orden podría aducirse que los telescopios para ondas mm/submm instalados en el norte de Chile (APEX, ASTE), o planeados para instalar en esa zona (CCAT), podrían jugar el mismo rol en el establecimiento de la red Latinoamericana de VLBI, que el telescopio propuesto en el proyecto LLAMA. Esta apreciación es totalmente incorrecta pues los telescopios existentes, o cuya construcción en la zona se encuentra bajo estudio, se encuentran a solo unos pocos kilómetros del emprendimiento ALMA, siendo por lo tanto incapaces de suministrar líneas de base (distancias entre telescopios!) de centenares de kilómetros como los que suministraría el proyecto LLAMA. Esta particularidad hace que la instalación de LLAMA sea crucial para el desarrollo de una red de VLBI en Latinoamérica que permita realizar experimentos con resoluciones angulares de una milésima de segundo de arco. En este contexto la red de VLBI que se pretende formar con la instalación de LLAMA sería única en el mundo, lo que colocaría tanto a Argentina como a Brasil en una posición de privilegio en el concierto de la astronomía mundial.

Desde el punto de vista de un telescopio simple (o sea cuando no forme parte de la red de VLBI), el tiempo de observación del telescopio propuesto será altamente solicitado por aquellos investigadores que habiendo enviado una propuesta científica valiosa para ser llevada a cabo con los equipos disponibles en el telescopio APEX, por limitaciones del tiempo disponible, no tendrían asignado tiempo de observación en el mismo. Seguramente estos colegas pugnarán por tener acceso al telescopio LLAMA, que siendo gemelo del APEX y estando ubicado en una región cuya atmósfera posee características muy similares a las de la atmósfera en la zona de APEX, les permitiría en un pie de igualdad de condiciones ejecutar sus planes de investigación. El flujo de estos investigadores serviría para incrementar la interacción académica de las nuevas generaciones de profesionales argentinos y brasileños con expertos de otras partes del mundo. La presencia de estos investigadores, muchas veces vinculados en sus países de origen con grupos relacionados al desarrollo instrumental, también abriría la puerta a que sea instalado en el telescopio LLAMA instrumental que es desarrollado en otras latitudes. Esto no sólo ampliaría el abanico de experimentos que podrían llevarse a cabo, sino que permitiría que el personal técnico vinculado a LLAMA interactuara con grupos que poseen una afiatada tradición en el desarrollo de instrumental para radiómetros. En definitiva, esta opción permitiría el perfeccionamiento de nuevos cuadros de profesionales directamente relacionados con los diversos aspectos técnicos involucrados en un radiómetro como el que se propone.



## **OBJETIVOS CIENTÍFICOS**

Un radiotelescopio milimétrico/submilimétrico instalado en un sitio que se encuentre en el noroeste (NO) de Argentina a una altura superior a los 4.700m, podría ser usado para investigaciones en muy diversos campos de la astronomía. Como parte de un sistema interferométrico de VLBI asociado a ALMA, APEX y/o ASTE alcanzaría una de las resoluciones angulares más elevadas que se puedan lograr hoy día en Astronomía, del orden de 1 mili-segundo de arco ( $0''.001$ ) en longitudes de onda de 1 milímetro. También la antena podría ser incorporada como parte de la red global planetaria de VLBI, y así podría contribuir a alcanzar resoluciones del orden de 20 microsegundos de arco para la misma frecuencia. En el Apéndice A se listan, en forma sucinta, diversos campos de investigación que podrían hacer uso del instrumento que se propone en este proyecto.

### ***a) Estudios del Sol***

- Estructura de la atmósfera Solar baja
- Filamentos activos y quiescentes
- Fulguraciones solares
- Estudio de la dinámica de la cromosfera y de su campo magnético

### ***b) Planetas***

- Estudio de planetas extrasolares cercanos al Sol
- Estudio de discos proto-planetarios cercanos al Sol
- Estudio de objetos cercanos a la Tierra

### ***c) Objetos estelares***

- Estudio de regiones de formación estelar, de núcleos pre-estelares, de objetos estelares jóvenes, y de los mecanismos de formación estelar
- Estudio de procesos no-térmicos en magnetósferas estelares
- Estudio de la interacción de estrellas y de remanentes de supernova con su medio interestelar

### ***d) Chorros astrofísicos y emisión máser***

- Estudios de chorros astrofísicos en general
- Estudio de fenómeno máser en líneas de recombinación emitidas en la banda de radio por el átomo de hidrógeno
- Estudio de la emisión máser en regiones de formación estelar
- Estudio de la emisión máser en envolturas estelares de estrellas tardías

### ***e) Medio interestelar galáctico e intergaláctico***

- Estudio de radiación de continuo del polvo frío extragaláctico
- Estudio del material molecular en la dirección de distintos objetos estelares
- Estudio del medio intergaláctico mediante la detección de líneas de absorción moleculares en la dirección de cuásares

- Estudios del fondo cósmico de radiación

*f) Galaxias en General*

- Búsqueda de CO en galaxias con altos corrimientos al rojo
- Estudios de abundancia molecular
- Núcleos de galaxias activas
- Estudios de la variación de las constantes fundamentales mediante la observación de lentes gravitacionales
- Estudios a altos corrimientos al rojo, de regiones con elevadísima tasa de formación estelar
- Estudio de proto-cúmulos de galaxias
- Estudios de la distorsión espacio-temporal producida por agujeros negros de gran masa

*g) Altas energías*

- Búsqueda de contrapartidas de fuentes de rayos  $\gamma$  detectadas con el futuro arreglo CTA de telescopios Cherenkov.

Para más detalles ver **Apéndice A**

## **TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

A partir de los recursos humanos y técnicos necesarios para la ejecución de este proyecto, se generarán desarrollos tecnológicos que harán uso de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado, las que podrían ser transferidas a distintas áreas del quehacer nacional, tales como:

- *Comunicaciones*: Capacitación y entrenamiento de ingenieros en microondas de alta frecuencia.
- *Recursos Naturales*: Seguimiento de satélites usando microondas de alta frecuencia.
- *Ingeniería y Ciencia de materiales*: Tecnología en fibras de carbono.
- *Electrónica*: Construcción de radiómetros y receptores en la banda de alta frecuencias.
- *Administración empresarial a nivel regional*.
- *Procesamiento de señales y reconstrucción de imágenes*
- *Metrología, control y operación remota de antenas de gran porte*

Para más detalles ver **Apéndices B y C**

## **POSIBLES SITIOS EN EL NOROESTE ARGENTINO**

Durante los últimos cinco años el IAR ha llevado a cabo, en forma casi ininterrumpida, campañas de monitoreo de la transparencia de la atmósfera, a una frecuencia de 210 GHz, en dos lugares ubicados en la región NO de Argentina. El instrumento utilizado para las mediciones de la transparencia, ha sido provisto por la Universidad Autónoma de México (UNAM). Uno de los sitios estudiados se encuentra a 4604 metros sobre el nivel de mar (m.s.n.m.), a 380 Km al oeste de la ciudad de Salta, y el otro en la región de Alto Chorrillos. Este último lugar se encuentra a 4750 m.s.n.m. y a unos 16 Km de distancia de la localidad de San Antonio de los Cobres (Ver Figura 1). Los datos obtenidos hasta el momento indican que las características de ambos sitios serían mas que adecuadas para la instalación de un instrumento que permita la observación en las bandas milimétrica/submilimétrica. Para más detalles ver **Apéndice D**

## **ORGANIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

El proyecto LLAMA se encuentra en una fase muy preliminar como para discutir en detalle la estructura que se daría al manejo del mismo. Sin embargo, puede adelantarse que durante la fase de construcción e instalación de la antena, Argentina y Brasil participarán de las mismas en base a una inversión igualitaria para ambos países. Del lado de Argentina, el personal científico y técnico del IAR, participará mayoritariamente en los distintos aspectos del proyecto que corresponda llevar adelante a nuestro país.

Durante la última Asamblea de la Unión Astronómica Internacional (IAU) celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en agosto del año 2009, entre los investigadores de ambos países que impulsan este proyecto, se acordó que:

- La compra de la antena (con un costo aproximado de 8.7 millones de dólares) sería realizada por las agencias de financiamiento de Brasil.
- la construcción de las obras de infraestructura necesarias para la instalación de la antena en el sitio seleccionado, y las obras de infraestructura que demande la construcción del complejo que posea las facilidades técnicas mínimas requeridas, serían financiadas por las agencias de Argentina <sup>1</sup>.
- Los costos de mantenimiento de la facilidad instrumental sean afrontados sobre una base igualitaria (50 % por Argentina y 50 % por Brasil).
- En caso que las inversiones indicadas en los primeros dos ítems no resultasen comparables, el país que haya realizado una menor inversión se hará cargo de una mayor parte de los costos de mantenimiento mencionados en el ítem anterior, a los efectos de equiparar las inversiones totales en un lapso de 10 años.

El transporte, ensamblaje, instalación y medidas preliminares de la performance del telescopio será llevado a cabo por personal especializado de la compañía encargada de construir la antena. Personal técnico y científico de Argentina y Brasil participarán de dichas actividades.

Los grupos de Argentina y Brasil directamente involucrados en el proyecto LLAMA, serán responsables de definir la instrumentación necesaria para el telescopio, y tendrán a su cargo el mantenimiento técnico general del instrumento.

Cuando el telescopio sea completado, se espera que un número mínimo (a definir) de personal técnico y científico que se encuentre en el sitio sea responsable del manejo del mismo, en coordinación con el Director de la facilidad. Este último debería ser elegido por concurso.

El tiempo de observación en el nuevo telescopio debería ser asignado por un Comité de Programación, constituido por representantes de las instituciones involucradas de ambos países, cuyo número relativo inicial debería reflejar la contribución relativa de cada país a la compra de la antena, a la construcción de la infraestructura necesaria, a su instrumentación y a las inversiones en su mantenimiento. Se espera que la distribución de tiempo sea aproximadamente igual entre los investigadores de los dos países. Durante los primeros años de funcionamiento, sería deseable que una fracción apreciable del tiempo total de observación disponible, fuese asignada a proyectos en interés común para los investigadores de ambos países.

En el caso de Argentina se contempla que el Comité de Programación estará formado por astrónomos destacados. Las propuestas serán evaluadas en base al mérito científico de las mismas, a la viabilidad de su ejecución, y a la contribución a la formación de recursos humanos, entre otros criterios. El tiempo de observación estará abierto a las comunidades astronómicas de cada país. Se prevé que los astrónomos de otros países que deseen usar el telescopio lo podrán hacer por medio de colaboraciones con astrónomos que trabajen en Argentina y/o Brasil. Se espera recibir propuestas de colaboradores extranjeros que incluyan tanto el uso de instrumentos existentes en LLAMA, como el de posibles instrumentos visitantes que complementarán a los inicialmente planeados para LLAMA.



Figura 1: Ubicación relativa de dos de los posibles sitios para instalar la antena del proyecto LLAMA, respecto del interferómetro ALMA. Las distancias norte-sur y este-oeste entre los sitios y ALMA se encuentran indicadas.

## IMPORTANCIA NACIONAL Y REGIONAL DEL PROYECTO

En el año 1962, el Directorio del recientemente creado CONICET, y los máximos cuerpos colegiados de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires, de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), y de la Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA), tomaron la decisión política de impulsar la creación de una institución cuya finalidad fuese el estudio del Universo mediante el uso de microondas. En esa decisión de política científica se originó el único radio observatorio que tiene nuestro país: el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), que inició sus operaciones en el año 1966. A lo largo de sus cuarenta y cuatro años de existencia, el IAR ha llevado a cabo una amplia tarea de formación de RRHH, tanto en el campo científico como en el tecnológico. Hoy en día es claro que la decisión de crear el IAR fue acertada tanto desde el aspecto científico como del tecnológico, ya que abrió en el primero de los campos nuevos horizontes y posibilidades para la investigación astronómica en nuestro país, mientras que en el segundo permitió la formación de los primeros RRHH en un área de la ingeniería que no había sido desarrollada en nuestro país. El correr del tiempo también le dio la razón a los visionarios que al promover la creación del IAR esgrimieron, como uno de los argumentos de mayor peso, el

hecho que los instrumentos que se emplearían para llevar a cabo las investigaciones harían uso de tecnologías que podrían ser de suma importancia en otros campos de la actividad económica y social del país. En efecto, la actividad de transferencia de tecnología, basada en el conocimiento adquirido por los ingenieros que se formaron en el IAR, hacia el programa espacial de Argentina, por medio de convenios suscritos entre la CONAE y el CONICET, ha enfatizado la importancia estratégica avizorada en la creación del IAR. Estas actividades han permitido al erario público no sólo ahorrar millones de dólares estadounidenses en divisas, sino también consolidar un grupo de RRHH con profundo conocimiento de los conceptos (teóricos y prácticos) en áreas estratégicas del conocimiento tecnológico

Ciertamente el proyecto LLAMA abrirá un enorme abanico de posibilidades para la investigación astronómica en el mundo de las microondas y, al mismo tiempo, promoverá la formación de RRHH en la aplicación de los adelantos tecnológicos que forman parte del instrumental disponible en radiotelescopios que trabajan en las bandas milimétricas y submilimétricas.

Las aplicaciones y ramificaciones que puedan lograrse con la aplicación de este conocimiento, a priori sólo puede evaluarse como de mucha importancia. Así como sucedió con la creación del IAR, la importancia de impulsar el proyecto LLAMA no sólo radica en su aspecto científico, sino también en su futura contribución a sectores del quehacer nacional hoy día considerados estratégicos.

## **CONCLUSIONES**

A modo de resumen, puede decirse que el proyecto LLAMA ofrece las siguientes ventajas:

- El tomar la iniciativa en un proyecto en el que la mayoría de los países con tradición en actividades científico-tecnológico (Australia, los países de la Comunidad Económica Europea, Canadá, EEUU, y el consorcio Japón/Taiwan) asignan extrema importancia: la construcción de una red de VLBI en el Cono Sur. Por las inversiones involucradas en los proyectos ALMA y SKA, recién hacia fines de 2015 dichos países estarían en condiciones de comenzar a financiarlo. Este proyecto colocaría a los países de la región en una posición ventajosa para participar en una versión extendida del actual proyecto ALMA original.
- Es un proyecto científico-tecnológico totalmente original en uno de sus modos de operación (VLBI).
- Permitirá poner a prueba y corregir la integración científico-tecnológica regional, paso por paso y de forma progresiva, sobre todo teniendo en cuenta que en una fase ulterior de su construcción, la red de VLBI podría requerir de la instalación de antenas en otros países de la región (por ejemplo, Bolivia y Perú).
- El proyecto se avizora como ideal para entrenar recursos humanos en ingeniería de materiales y tecnología en microondas, con aplicación en telecomunicaciones, relevamiento de recursos naturales, microelectrónica y administración empresarial a un nivel nacional y regional.
- Es un proyecto que se desarrollará dentro del marco político del MERCOSUR.

- En un contexto geopolítico más ambicioso, es un proyecto que promueve la integración científica y tecnológica de Latinoamérica, ya que grupos de científicos de Bolivia, Chile, Colombia, México, Perú, Uruguay y Venezuela han manifestado su interés de participar en el mismo.

## APENDICE A

### LINEAS DE INVESTIGACIÓN

#### FISICA SOLAR

Una antena de 12m de diámetro operando entre 100 y 700 GHz con receptores polarimétricos permitirá: 1) estudiar la dinámica de la cromosfera: anillos brillantes; oscilaciones de temperatura; emisión de regiones activas; filamentos y protuberancias; colocando nuevas condiciones de contorno a los modelos atmosféricos, 2) Estudio del campo magnético de la cromosfera a diferentes alturas, 3) Diagnóstico de fulguraciones en la franja submilimétrica, principalmente encima de los 400 GHz para complementar las observaciones del SST (CASLEO). La superficie de las antenas de tipo ALMA, dispersan la luz visible, permitiendo la observación directa del Sol. Los receptores deberán contar con atenuadores para flujos tan intensos como  $10^8/10^9$  Jy durante las fulguraciones.

#### PLANETAS

##### *Ciencias Planetarias y discos circunestelares*

Después del descubrimiento de una toda una diversidad de sistemas planetarios, el proceso de formación de los mismos, que se creía bien conocido, se volvió pobremente entendido, haciendo de las ciencias planetarias una frontera de la astronomía aún abierta y que vale la pena explorar.

La mayoría de los estudios de discos circunestelares se basan en observaciones obtenidas en los rangos óptico e infrarrojo cercano y medio del espectro, las cuales provienen de una región localizada dentro de unas pocas unidades astronómicas alrededor de la estrella. Dado que el disco es ópticamente grueso en esas longitudes de onda, ellas sólo proporcionan información sobre la superficie del disco y no puede ser utilizada para obtener la masa del mismo.

Un paso previo hacia la formación de planetesimales en los discos es la coagulación y el crecimiento de granos de polvo cuyo tamaño es de un micrón (Dominik et al. 2007, In Protostars and Planets V, Eds. B. Reipurth, D. Jewitt and K. Keil, p:783.). Aunque las etapas posteriores son los planetesimales y la posterior formación de los planetas, los detalles y mecanismos de esa evolución del polvo son todavía escasamente conocidas. El problema principal es que los granos más grandes y fríos no emiten de manera importante en el rango de longitudes de onda infrarrojas. Sólo mediante las observaciones en el rango submilimétrico del espectro permiten determinar el tamaño y las propiedades de estos granos. Las imágenes de discos en longitudes de onda submilimétricas son necesarias para trazar la parte exterior del disco y determinar su masa y las propiedades del grano (Alonso-Albi et al. 2009, A&A 497, p:117; Chandler y Sargent, 1997, In From Stardust to Planetesimals, Eds. Y. J. Pendleton and A. G.G.M. Tielens, p:25).

Es necesaria una mejor comprensión de los procesos de coagulación del polvo, las propiedades de los granos y las masas de los discos, a fin de establecer la validez de los modelos de formación planetaria. En realidad, los planetas podrían estar formándose dentro de los marcos propuestos por dos teorías: la inestabilidad gravitacional (Cameron 1962, Origin of the Solar System, Proceedings of a Conference held January 23-24, 1962, at the



Goddard Institute for Space Studies, New York, USA.) y la hipótesis de planetesimales (Safronov 1969, Evolution of the Protoplanetary Cloud and Formation of The Earth and the Planets, NASA TTF-677). Aunque el escenario generalmente aceptado para explicar la formación del Sistema Solar es el de acreción planetesimal, recientemente se ha invocado la formación de planetas gigantes por la inestabilidad gravitacional para explicar la existencia de planetas extrasolares gigantes. Es necesario un disco masivo para que se produzca inestabilidad gravitacional. Sin embargo, la formación de los planetas de hielo Urano y Neptuno en el sistema solar exterior no puede ser bien explicado por ninguna de ambas teorías. De las propiedades orbitales, físicas y dinámicas de los planetas de hielo y el uso de las propiedades de los cuerpos menores en el exterior del sistema solar, se obtienen las limitaciones de los procesos operativos en el marco de la hipótesis de planetesimal (Parisi et al. 2008, Constraints to Uranus' Great Collision IV. The origin of Prospero. A & A 482, p: 657; y sus referencias, Parisi y del Valle 2009, Iregular Satellites of Neptune I: Constraints on formation scenarios, submitted to A&A). Las observaciones milimétricas de las regiones exteriores de los discos protoplanetarios de diferentes masas, aportará información valiosa sobre la formación de los análogos gigantes de hielo.

### ***Emisión del polvo en el lejano infrarrojo y en ondas milimétricas***

Cálculos basados en observaciones del polvo en el infrarrojo lejano y ondas milimétricas se ven obstaculizados por la incertidumbre en el valor de la opacidad del polvo,  $K$ , y su dependencia de la frecuencia. Por lo general se supone que  $K \sim \alpha \nu^\beta$ . Para 1000 GHz, se pueden encontrar en la literatura valores de  $K$  que van 0,02 a 0,6  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ . El valor comúnmente adoptado de 0,1  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  resulta en una incertidumbre de un factor casi 5. La teoría sugiere un valor de  $\beta = 2$  para un tamaño de partículas inferior a 1 micrón en el medio interestelar, mientras que los grandes cuerpos, como los planetas, tienen  $\beta = 0$ . Estudios teóricos y de laboratorio demuestran que el valor de  $\beta$  es también afectado por la forma del grano y por su composición química (Chandler y Sargent 1997, y sus referencias). Así, el valor de  $\beta$  podría servir como un diagnóstico de tamaño del grano y, por lo tanto, de la coagulación de partículas en los discos proto-estelares y formadores de planetas. A pesar de estas advertencias, la variación de  $\beta$  de una fuente a otra, o de material interestelar a circumestelar, reflejaría la evolución de polvo. El hecho de que la naturaleza de la evolución todavía no sea bien entendida subraya la necesidad crítica de nuevas investigaciones de las opacidades del polvo en longitudes de onda en el infrarrojo lejano y milimétrico.

### ***Relevamientos de discos de polvo circumestelar***

En los relevamientos de emisión continua, originada en dirección de objetos estelares jóvenes (del inglés Young Stellar Objects, YSO), realizados en frecuencias correspondientes a los rangos milimétricos y submilimétricos del espectro, se detecta suficiente material circumestelar que hace que las estrellas se oscurezcan completamente, a menos que el polvo se distribuya asimétricamente. El espectro de distribución de energías (EDE) de estos objetos puede ser ajustado por modelos de emisión de polvo originado en discos circumestelares chatos, permitiendo estimaciones de las propiedades del disco. En particular, la emisión de polvo es en gran medida ópticamente delgada a longitudes de onda milimétricas y, por lo tanto, se puede utilizar para determinar la masa del disco si se conoce la distribución de la temperatura y la opacidad del polvo. Aunque la cantidad de este último es incierta, la ley de potencia de los perfiles de temperaturas pueden derivarse del EDE, en longitudes de onda inferiores a los 100 micrones, donde la emisión de disco es ópticamente gruesa. La mayoría

de las estrellas de Pre-Secuencia, con masas del orden de 1 masa solar, parecen estar rodeadas de discos cuyas masas son del orden de 0.002-0.1 masas solares y radios de alrededor de 100 Unidades Astronómicas (UA). De acuerdo a la ley de Rayleigh-Jeans ( $\lambda > 1\text{mm}$  a las temperaturas esperadas en los discos circumestelares) la densidad de flujo observado en el continuo debe tener la forma  $(F\lambda)^b$  donde  $b = 2 + \beta$ , lo que permite la determinación de  $\beta$ . Un valor bajo de  $\beta$  indicaría la evolución gobernada por el crecimiento del grano en los discos circumestelares. Son necesarias gran cantidad de observaciones de emisión continua de discos en longitudes de ondas milimétricas, donde esta emisión es ópticamente delgada, para dar soporte a estas hipótesis. Serían importantes para poner límites a los modelos de formación de planetesimales en discos circumestelares y, por ende, sobre los modelos de formación planetaria actualmente en discusión.

### ***Imágenes de polvo en emisión: fuentes extendidas y compactas. INTERFEROMETRIA***

En longitudes de onda milimétrica, han sido esenciales las técnicas de imágenes sintetizadas para aislar los discos de polvo circumestelar del material de la envoltura localizado en los alrededores. Sin embargo, para medir directamente la estructura de los discos con diámetros de 100-200 UA y múltiples sistemas en las regiones de formación de estrellas cercanas requiere resoluciones espaciales de un segundo de arco o menores. La situación está mejorando, debido a las líneas de base extendidas existentes en los interferómetros milimétricos actuales.

### **ESTRELLAS: desde objetos estelares jóvenes a restos de supernovas**

#### ***Estudio de regiones de formación estelar***

La formación de estrellas puede ser inducida por eventos expansivos vinculados a estrellas de gran masa: regiones HII, burbujas interestelares y restos de supernovas (RSNs), a través de los procesos denominados “*collect and collapse*” y/o “*radiative driven implosion*” (ver por ejemplo Pomarès et al. 2009, A&A, 494, 987; Paron et al. 2009, A&A, 498, 445; Elmegreen 1998, ASP Conf. Ser., 148, 150 y referencias dentro de estos trabajos). El material molecular en la vecindad de estos eventos expansivos puede colapsar originando regiones de alta densidad que reúnan las condiciones para la formación de una nueva generación de estrellas, constituyendo un excelente escenario para estudiar la formación estelar. De esta manera un estudio sistemático del ambiente molecular alrededor de regiones HII, burbujas interestelares y RSNs resulta de gran interés para el estudio de la formación estelar inducida.

Con las transiciones rotacionales más bajas ( $J=1-0$ ,  $2-1$  y  $3-2$ ) del  $^{12}\text{CO}$  y de sus isótopos,  $^{13}\text{CO}$  y  $\text{C}^{18}\text{O}$  (frecuencias en el rango de 110 a 345 GHz) es posible conocer la distribución del gas molecular en los alrededores de los objetos astrofísicos mencionados anteriormente, y estudiar así su cinemática, dinámica y condiciones físicas. Una vez encontrados sitios potenciales de formación estelar, podrán ser estudiados a través de diversas líneas moleculares, como por ejemplo  $J=4-3$  del  $\text{HCO}^+$  (267.5 GHz),  $J=5-4$ ,  $6-5$  y  $7-6$  del CS (en el rango de frecuencias de 196 a 294 GHz), dado que entre otras, son excelentes trazadoras de regiones de formación estelar, en particular de la región más densa que envuelve al objeto en formación.

Por otro lado, las regiones de formación estelar están asociadas a polvo interestelar a bajas temperaturas que se detecta en continuo de ondas milimétricas y submilimétricas (ej. entre 450 y 850 micrones). De esta manera, observaciones en estas longitudes de onda permiten estudiar las condiciones físicas del polvo interestelar asociado a los grumos moleculares densos en los que están inmersos los objetos en formación.

Resoluciones angulares típicas de entre 15" y 30" son adecuadas para realizar este tipo de estudios. Por otro lado, estas observaciones realizadas a través de un telescopio único no sólo tienen importancia por sí mismas, sino también permitirán descubrir regiones interesantes cuyo estudio más detallado podría requerir observaciones con mayor resolución angular, generando así una lista de objetivos para ser observados mediante interferometría de gran línea de base (VLBI, por sus siglas en inglés) con el arreglo ALMA.

### ***Magnetosferas estelares: Estudios de procesos no-térmicos***

Estrellas tempranas con vientos fuertes pueden dar lugar a procesos radiativos no-térmicos, a partir de la aceleración de electrones hasta energías relativistas por medio de ondas de choque (Benaglia 2009, ASP Conf. Series, in press (arXiv: 0904.0533)). Los procesos de enfriamiento dominantes para electrones son la radiación sincrotrón y la dispersión Compton inversa. Existe evidencia directa de radiación sincrotrón en sistemas binarios con vientos en colisión (De Becker 2008, A&AR, 14, 171D). Dependiendo del campo magnético y la densidad de fotones, el máximo de la distribución espectral de energía de estos procesos puede caer en el rango submilimétrico, por lo que observaciones coordinadas con instrumentos que funcionan a frecuencias más bajas (Australia Compact Telescope Array) pueden ser usadas para iluminar las condiciones físicas en los sistemas a partir de la detección del "cut-off" en la emisión sincrotrón.

### **JETS, EMISIÓN MASER**

#### ***Jets astrofísicos: cómo son liberados, acelerados y colimados.***

La comprensión de los mecanismos de formación, aceleración y colimación de chorros de plasma en diferentes contextos astrofísicos es de suma importancia para una comprensión completa del fenómeno de acreción/eyección, que parece revestir de un carácter universal (ver, por ejemplo, Mirabel 2004, ESA-SP, 552, 175). En contextos donde hay aceleración de partículas hasta energías relativistas, los jets se espera emitan radiación sincrotrón. Para la clase de objetos conocidos como "blazares" el pico de la emisión puede caer a longitudes de onda submilimétricas. En objetos estelares jóvenes, se espera emisión de líneas a longitudes de onda corta. Todos estos procesos ocurren cerca de la base los jets, donde son acelerados y colimados (Spruit 2009, in: Belloni, T. (ed.): The Jet Paradigm - From Microquasars to Quasars, Lect. Notes Phys. 794 (arXiv:0804.3096)) por lo que observaciones con gran resolución angular y estudios de variabilidad con disco simple pueden ser gran utilidad para introducir cotas a los parámetros de los diferentes sistemas.

#### ***Observación de máseres astrofísicos***

La emisión de máseres de distintas especies en el (sub)milimétrico puede darse en una gran variedad de ambientes astrofísicos. Por tratarse de emisiones generalmente intensas que además ocurren a escalas angulares pequeñas, su detección permite estudiar las condiciones físicas del medio, la dinámica de la fuente, los campos magnéticos en la región, etc.

(Humphreys 2007, in *Astrophysical Masers and their Environments*, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, Volume 242, p. 471-480).

### ***Másers en regiones de formación estelar y envolturas estelares***

Los másers de  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  y  $\text{SiO}$  son de particular interés dado que se producen tanto en regiones de formación estelar como en estrellas evolucionadas. Por ejemplo, las observaciones de másers de  $\text{H}_2\text{O}$  a 183, 321 y 325 GHz permiten estudiar las condiciones físicas de ambientes circumestelares en torno a estrellas evolucionadas. Por otro lado estas mismas emisiones junto a las que se producen a 439 y 471 GHz pueden observarse en regiones de formación estelar.

Las líneas mencionadas de emisión máser del  $\text{H}_2\text{O}$  junto a las de otras especies resultan de gran utilidad, no sólo para estudiar los ambientes de estrellas evolucionadas, sino para la búsqueda de regiones de formación estelar y el estudio de sus condiciones físicas. También, en este último contexto, la detección de másers de  $\text{CH}_3\text{OH}$ , en particular la línea a 44 GHz resulta interesante ya que indica la presencia de eyecciones moleculares por objetos protoestelares, por lo general de gran masa (Cyganowski et al. 2009, ApJ, 702, 1615).

Las observaciones de estos másers pueden ser realizadas tanto a través de un disco simple como haciendo interferometría de gran línea de base (VLBI) de acuerdo a las resoluciones angulares que se pretenda alcanzar.

### ***Másers moleculares extragalácticos***

El máser molecular extragaláctico mayormente detectado es el de  $\text{H}_2\text{O}$  a 22 GHz, que traza discos de acreción circumnuclear en núcleos activos de galaxias (AGNs). Sin embargo se espera que en esos mismos sitios se exciten también las líneas a 183, 321 y 325 GHz (Humphreys et al. 2005, ApJ, 634L, 133). De hecho estos autores han detectado el máser a 183 GHz hacia el núcleo de la galaxia NGC 3079.

El estudio de másers en AGNs lejanos, con resoluciones angulares que deben lograrse haciendo VLBI, resulta de gran interés cosmológico. Estudiando la cinemática y dinámica del gas en donde se producen estos másers es posible probar modelos y constantes cosmológicas (ver por ejemplo Reid et al. 2009, ApJ, 695, 287).

### ***Másers de líneas de recombinación del hidrógeno***

Este tipo de másers, con líneas de emisión en aprox. 210, 231, 256, 353 y 366 GHz pueden ser utilizados para estudiar la región de viento ionizado en los alrededores de estrellas evolucionadas que experimentan fuertes pérdidas de masa (ver por ej. Planesas et al. 1992, ApJ, 386L, 23 y Cox et al. 1995, A&A, 295L, 39).

Por otro lado, detecciones extragalácticas de estas líneas permiten estudiar galaxias que experimentan estallidos de nacimiento estelar (Seaquist et al. 1996, ApJ, 465, 691), y pueden ser de interés cosmológico ya que pueden usarse para probar modelos de las épocas de recombinación y re-ionización del universo (Spaans & Norman 1997, ApJ, 488, 27).

## **GALAXIAS EN GENERAL [VLBI]**

### ***Agujeros negros supermasivos***

Una red global de VLBI, a escala planetaria, y que incluya la antena LLAMA permitirá llegar a una resolución angular de micro-segundos de arco, y observar en continuo la zona de emisión post-Newtoniana de agujeros negros supermasivos ( $\sim 10^8$  masas solares y más) galácticos como Sagitario A\*, Messier 87, etc. En particular, permitirá trazar la fracción de polarización lineal integrada de Sag A\* (Fish et al. 2009, ApJ 706, 1353). Observaciones milimétricas ayudarán a esclarecer cuestiones físicas básicas, como estimar el spín del agujero negro, la orientación del disco de acreción, el mecanismo de variabilidad, la naturaleza del flujo de acreción, etc.

Imágenes en continuo directas del horizonte de eventos en Núcleos Galácticos Activos (NGAs, ejemplo: Centaurus A), y de regiones con distorsión del espacio tiempo ligeramente mayores que el horizonte permitirán acotar sustancialmente sus propiedades.

### ***Lentes gravitacionales y variación de constantes fundamentales***

Las líneas moleculares en absorción en el rango de radio son angostas, y a alta resolución espectral se vuelven idóneas para el estudio de la variación de constantes fundamentales en el espacio y el tiempo, como  $\alpha$  (razón de  $m_e/m_p$ ) y  $\lambda$  (de estructura fina). Para la detección de las líneas, se precisa una fuente de fondo suficientemente intensa. La alta sensibilidad del arreglo interferométrico que incluye a LLAMA aumentará en hasta un factor 2 la cantidad de fuentes de fondo. Líneas de  $\text{NH}_3$  al estado base y de inversión medidas hacia quasars que actúen de lentes gravitacionales proveerán de cotas para  $\Delta\mu/\mu \leq 10^{-8}$ , y  $\Delta\alpha/\alpha \leq 10^{-7}$ .

### ***Evolución del medio intergaláctico mediante absorción molecular en quasars.***

#### ***Radiación de fondo cósmico, materia oscura***

El enigma del origen de la materia oscura (MO). Observaciones con LLAMA en modo VLBI permitirán investigar la MO, que se cree puede revelarse vía el efecto Sunyaev-Zel'dovich (SZ).

La MO formada por partículas de interacción débil (WIMPs) posee la propiedad de auto-aniquilación con la materia normal/ordinaria. El decaimiento o aniquilación de MO en cúmulos de galaxias inyectaría electrones y positrones relativistas, los que sufrirían scattering Compton inverso con los fotones de la radiación de fondo cósmica. Si las partículas relativistas son lo suficientemente numerosas, se observaría una desviación en el espectro de cuerpo negro. El arreglo LLAMA será capaz de detectar el efecto SZ inducido por decaimiento de la MO y se podrán acotar las propiedades de esta última.

#### ***Hiper-starbursts***

Galaxias anfitrionas de los quasars más lejanos (con corrimientos al rojo mayor que 6) y por lo tanto más jóvenes (de menos de 1 Gyr), pueden ser estudiadas en líneas moleculares (ejemplo: CO, CII). La determinación de la distribución del gas en las mismas permitirá indagar sobre la formación estelar, y la presencia de híper “brotes”/explosiones de formación

de estrellas. El radiotelescopio LLAMA trabajando en modo VLBI permitirá llegar a una resolución angular nunca vista y alcanzar los objetos más lejanos conocidos. Evidencia observacional reciente puede verse en Walter et al. (2009, Nature 457, 699) y cálculos teóricos en Dekel et al. (2009, Nature 457, 451).

## **FUENTES NO IDENTIFICADAS A ALTAS ENERGÍAS**

El denominado *Cherenkov Telescope Array* (CTA) es un proyecto europeo de un gran arreglo de telescopios Cherenkov de nueva generación para la astronomía gamma de muy altas energías. CTA está conformado por un consorcio internacional que implica más de 15 países, entre los cuales se encuentra Argentina.

La generación actual de telescopios Cherenkov, como los del High-Energy Steroscopic System (H.E.S.S.), han abierto el dominio de la astronomía gamma en tierra en el rango de energías por encima de algunas decenas de GeV. El proyecto que continuará esta tendencia es CTA que permitirá explorar aún en mayor profundidad el universo en rayos gamma de muy altas energías y estudiar plenamente los procesos cósmicos no-térmicos en toda clase de sistemas astrofísicos.

El observatorio CTA consistirá en un arreglo de telescopios Cherenkov, que observaran los flashes cortos y débiles de luz Cherenkov emitidos por la cascada de partículas secundarias provocada por la entrada de fotones gamma de muy alta energía en la alta atmósfera.

CTA debe superar la sensibilidad de los detectores actuales en un orden de magnitud, mejorar la resolución angular y cubrir un rango espectral desde aproximadamente 10 GeV hasta cerca de 100 TeV. Dos sitios son previstos para garantizar el acceso a todo el cielo. El principal será en el hemisferio austral dada la concentración de fuentes en las regiones centrales de nuestra Galaxia y la riqueza de su morfología. Un sitio complementario en el hemisferio norte, optimizado para bajas energías (10 GeV – 1 TeV) estará dedicado principalmente al estudio de núcleos galácticos activos (AGNs), del espacio extra-galáctico y de ciertos aspectos cosmológicos. CTA ofrece posibilidades de obtener indicios sobre la naturaleza de la materia oscura a través de la detección de señales producidas en la aniquilación de partículas de materia oscura y de la búsqueda de posibles constituyentes menores de esta materia (agujeros negros primordiales, reliquias cósmicas, etc.). También aportará nuevos avances en diversos campos de la astrofísica como el entorno de objetos compactos, la física de agujeros negros, pulsares, supernovas, vientos estelares y medio interestelar, sistemas binarios y cúmulos estelares, así también como sobre la evolución de las galaxias, a partir del estudio de la emisión no-térmica de cúmulos.

Este instrumento detectará cientos de fuentes de rayos gamma de naturaleza no identificadas. El estudio del campo de las fuentes a frecuencias submilimétricas usando LLAMA como antena simple permitirá relevar posibles contrapartidas, en particular el medio material contra el cual puedan impactar protones relativistas que generen la radiación de altas energías (Aharonian & Akerlof 1997, Annual Review of Nuclear and Particle Science, 47, 273). Como Argentina es un candidato para la instalación de CTA, la presencia de ambos instrumentos en el país podría generar un polo científico-tecnológico dedicado a la exploración multi-longitud de onda del universo.

## **APLICACIONES VARIAS EN GEODESIA (e.g. movimiento de las placas tectónicas).**

Con una línea de base como la esperada entre el telescopio LLAMA y los del área de Chajnantor, es posible medir las variaciones en la posición de las placas con precisiones del orden de milímetros, incluso en la dirección vertical. Las medidas por satélite GPS y VLBI son complementarias y deben ser confrontadas para obtener la geodesia y la astrometría de alta precisión y reducir los errores en la orientación de la Tierra y la nutación (2005, J. Geodesia, 79 (1-3), 24). Los parámetros de orientación de la Tierra crean una conexión entre los sistemas internacionales de referencia celeste (ICRF) y de la Tierra (IRTF) (Titov y Tregoning, 2005, J. Geodesia 79, 4-5). Además estos experimentos son importantes para controlar la elevación de los Andes, y puede tener aplicaciones en la predicción de terremotos. Después de los terremotos se han observado largos períodos de relajación con el desplazamiento continental, que debe ser mejor comprendido.

## **APENDICE B**

### **TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA (TT)**

#### ***ANTECEDENTES***

En los últimos años, el IAR ha dedicado parte de sus recursos humanos del área tecnológica al desarrollo de tareas de Transferencia Tecnológica (TT) y ha llevado a cabo una activa política de formación de nuevos recursos en dicho campo. En este marco, ha realizado importantes inversiones para modernizar los laboratorios y construyendo nuevos, dotándolos de instrumental de nueva generación. Todo ello ha contribuido a una participación importante del Instituto en el desarrollo y control de instrumentación y sistemas de comunicaciones de satélites como el SAC-D y SAOCOM, como así también en el desarrollo de antenas e importantes partes electrónicas de cohetes de la serie TRONADOR. También el IAR ha contribuido de manera decisiva al desarrollo de un radar espacial con tecnología array y conformación digital del haz (DBF). Todas estas tareas han sido y son realizadas en el marco de convenios específicos firmados por la CONAE y el CONICET. También, el Instituto ha realizado múltiples trabajos de mediciones encargados por la empresa INVAP, Sociedad del Estado, perteneciente a la provincia de Río Negro y a la CNEA. En el APENDICE C se listan los trabajos de Transferencia Tecnológica que han sido realizados por el IAR desde el año 2002, a la fecha, y son un claro ejemplo de la capacidad de sus RRHH en el área tecnológica.

#### ***EL PROYECTO LLAMA***

En el campo tecnológico, el Proyecto LLAMA posibilitará la ejecución de programas de investigación y desarrollo en dos direcciones de particular interés para países participantes: a) hacia el interior de las instituciones académicas, ya que las áreas del conocimiento tecnológico, por el “estado del arte” en que se encuentran, aún no han generado en el mundo productos que se encuentren en la fase comercial para un público abierto, como son los detectores y dispositivos para las comunicaciones de alta frecuencia; y b) hacia el exterior de las instituciones participantes, mediante la implementación de esquemas de vinculación directa con los sectores productivos público y/o privados, será posible transferir tecnología de punta hacia áreas estratégicas.

La antena estará equipada, desde el inicio de sus operaciones, con un conjunto de receptores extremadamente sofisticados que permitirán la detección de radiación emitida por el cosmos en el continuo de radio y en líneas atómicas y moleculares. Por tal motivo, este proyecto contempla desde sus orígenes aspectos importantes de transferencia de tecnología, tanto en materiales compuestos como en comunicaciones a ultra alta frecuencia. A continuación, destacamos algunas áreas de oportunidad para las actividades de TT.

### **1 Oportunidades de TT**

#### **1.1 Potenciales Aplicaciones de TT**

Dadas el tipo de antenas y el rango de frecuencias de trabajo del sistema LLAMA, vislumbramos que tres aplicaciones directas de TT pueden distinguirse:

1. *Caracterización de canal de comunicación en banda Ka y superiores.* Esta caracterización es necesaria debido a la creciente necesidad de enlaces satelitales en esas frecuencias. **(ver referencias 1, 2, 3, 4)**



2. *Desarrollo de método Holográfico para la caracterización de antenas.* Esto tiene aplicación para las estaciones terrenas de recepción de datos satelitales. La radiografía es, en la actualidad, el mejor método de que se dispone para determinar la forma de la superficie del reflector cuando éste es de gran tamaño y apunta en una dirección distinta de la cenital. (ver referencias 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)
3. *Desarrollo de Radiómetros en banda W (75-111 GHz) para futuras misiones satelitales y en receptores aerotransportados.* La ventana atmosférica de radio centrada en la frecuencia 94 GHz está en uso en proyecciones de imagen de radares de ondas milimétricas, para aplicaciones en el campo de la astronomía, defensa, y seguridad. Gracias al incremento del espectro radioeléctrico y la congestión de la órbita a bajas frecuencias, las asignaciones para aplicaciones en la banda W están creando un gran interés en operadores comerciales de servicios vía satélite. Sin embargo, aún no se ha implementado ningún proyecto comercial en estas bandas. El tema es de interés de la CONAE. (Ver referencias 12, 13)

## 1.2 Áreas de Transferencias Comunes a LLAMA

En forma genérica, a partir de los recursos humanos y técnicos que sean parte del proyecto se puede, potencialmente, participar en las siguientes áreas de transferencia de tecnología:

### **Ingeniería de Radiofrecuencia:**

- Diseño, construcción, medición de circuitos, receptores y transmisores en microondas.
- Diseño, construcción, medición, de antenas.
- Estudios de compatibilidad electromagnética e interferencia. Mediciones de campo. Análisis y Mitigación.
- Desarrollo de instrumental específico al campo de aplicación (radiómetros, medidores de potencia, etc.).

### **Ingeniería en el Área Digital y Procesamiento:**

- Diseño y construcción de circuitos impresos de alta velocidad.
- Diseño y construcción de circuitos digitales.
- Desarrollo de propiedad intelectual en lógica programable (VHDL).
- Desarrollo de software para el procesamiento digital de señales.

### **Ingeniería Mecánica y Materiales**

- Tecnología de Fibra de Carbono <sup>A</sup>.
- Estructuras.
- Diseño y Maquinado de piezas de precisión.

### **Gestión de Proyectos:**

- Asesoría en gestión de proyectos bajo normas de calidad internacionales
- Asesoría en gestión de información/documentación para grandes proyectos.

A) Hoy en día, con la tendencia mundial de utilizar materiales más resistentes, más ligeros y más fáciles de manejar, el plástico reforzado con fibras de carbón define el párrafo especial. La fibra de carbono ha venido desplazando al acero en múltiples dispositivos, al punto de que cerca del 12% del acero ha sido reemplazado por este material compuesto. De esta manera, se buscará transferir tecnología que tiene gran valor estratégico para la futura modernización de uso de materiales en nuestros países. La adquisición de esa tecnología abriría un mercado nuevo para estructuras de todo tipo, incluyendo tuberías, embarcaciones pequeñas y, de gran valor agregado, dispositivos diversos para la industria aeroespacial, etc.

## Referencias

- 1) The evaluation of satellite Link availability. Bantin C , Lyons R., June 1978, IEEE Transactions on Communications, vol. COM-26, p. 847-853.
- 2) Satellite link margin and availability issues. Vuong X.T., Vuong S.T., June 1997. IEEE Transactions on Broadcasting. Volume 43, Issue 2 , pag. 213-220
- 3) Modeling fading properties for mobile satellite link channels using non-stationary hidden Markov Model. Hsin-Piao Lin Ming-Jian Tseng Ding-Bing Lin, February 2003, Antennas and Propagations Society International Symposium, IEEE, Vol. 3, pag. 192-195
- 4) Optimization of satellite link design. Avadh Nandra, Givesh Govil and Givica Govil, 2008, Proceedings of the 2008 Spring Simulation Multiconference., pag. 225-230.
- 5) Development of satellite methods for Radio Holographic surveys of the earth surface and atmosphere. A. I. Zakharov, A. G. Pavelyev, V. P. Sinilo, V. N. Gubenko, A. Kucherjavenkov and A. I. Kucherjavenkov. Cosmic Research, Vol. 41 Number 6, noviembre 2003, ed. M. Nauka, pag. 574-578
- 6) Holographic Method of Near-Field antenna Measurements. Scheibal V., Honing. 1981, European Microwave Conference, 10th, Warsaw, Poland. Microwave Exhibitions and Publishers, Ltd., 1981, p. 167-171.
- 7) A holographic method for determining antenna near field distributions from phase and intensity measurements on a spherical surface. Rope E., Hayward R. , Tricoles G., 1973, Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 11, pag. 61-64
- 8) Determining radiation patterns of centimeter-band antennas by phase meter measurements on spherical surface. V. I. Ignat'ev, Yu. V. Sysoev and V. I. Turchin, agosto 1975, Radiophysics and Quantum Electronics, volume 18 number 8 , ed. Springer, New York, pag. 850-853
- 9) Development of Radioastronomical Correlation Method for measuring Mirror-antenna parameters. A. V. Kalinin, V. S. Beagon, G. A. Kislyakov and V. P. Mal'tsev, abril 2002, Radiophysics and Quantum Electronics, volume 45 number 4 , ed. Springer New York, pag. 253-261
- 10) Surface error measurements of large reflector antennas by phase retrieval holography and application of extrapolation algorithm. Toshiyuki Nishibori, Hisashi Hirabayashi, Hideyuki Kobayashi, Yasuhiro Murata, Yutaka Shimawaki , Takuya Nomura, 2007, [Electronics and Communications in Japan \(Part I: Communications\)](#) Volume 79, Issue 4, Pages 104 - 114
- 11) Experimental investigation of breast tumor imaging using indirect microwave holography. Elsdon M., Smith D., Leach M., Foti S. J. 2006, Microwave and Optical Technology Letters, [Vol. 48, N° 3, 2006](#), pag. 480-482
- 12) Design of 90 GHz Band Radiometer System for Remote Sensing Applications

Yong-Hoon Kim, Gum-Sil Kang. Sunghyun Kim, Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)

- 13) W-Band 2-D scanning fully-polarimetric radiometer system for remote sensing applications. *Sung-Hyun Kim, Jin-Taek Seong, Hyuk Park, Ho-Jin Lee, Obolonsky Valeriy I, Denisov Alexander I, and Yong-Hoon Kim*. Depart of Mechatronics, Kwangju Institute of Science and Technology (GIST). Korea.

## APENDICE C

### Actividades de Transferencia Tecnológica realizados en el IAR mediante convenios firmados entre CONAE y CONICET

En los primeros años de ésta década, y por causas diversas, se iniciaron en el IAR actividades en el área de Transferencia Tecnológica. Uno de los motivos fue la aplicación del "*know-how*" adquirido en el campo de la instrumentación radioastronómica, a la solución de necesidades concretas que surgían de otras áreas, especialmente las de comunicación y la espacial, del quehacer nacional.

La dinámica inherente a las actividades de transferencia ha permitido en el transcurso de sólo unos pocos años aglutinar en el IAR a numerosos profesionales jóvenes y estudiantes avanzados en diversas ramas de la ingeniería.

Las actividades tecnológicas inherentes al área observatorio del IAR también se han visto beneficiados por las contribuciones realizadas por éstos jóvenes profesionales.

A continuación se listan, en forma breve, las actividades de Transferencia Tecnológica llevadas a cabo en los últimos años.

- **Año 2002:**

- Desarrollo, construcción y medición de un subsistema irradiante de 8 elementos, a nivel de prototipo, cumpliendo especificaciones provistas por CONAE
- Medición de los subsistemas irradiantes.
- Medición de los materiales usados por los subsistemas.

- **Año 2003:**

- Desarrollo, construcción y medición de un subsistema irradiante de 8 elementos, a nivel de prototipo, cumpliendo especificaciones provistas por CONAE.
- Desarrollo, construcción y medición de un subsistema irradiante de 120 elementos, a nivel de prototipo, cumpliendo especificaciones provistas por CONAE.
- Medida de los subsistemas irradiantes.
- Medida de los materiales usados por los subsistemas irradiantes

- **Año 2004:**

- Desarrollo, construcción y medición de dos radiómetros en las frecuencias de 23,8 GHz y 36,5 GHz, a nivel prototipo, con salida digital, cumpliendo especificaciones provistas por la CONAE. (Satélite SAC-D)
- Diseño y análisis conceptual de dos radiómetros en las frecuencias de 23,8 GHz y 36,5 GHz. (Satélite SAC-D)
- Estudio de factibilidad de un radiómetro en 89 GHz.
- Antena SAR - SAOCOM: Medición de un conjunto de 1 x 8 elementos (módulo irradiante) en distintas condiciones de temperatura y potencia. (Satélite SAOCOM)
- Desarrollo y construcción de las antenas de transmisión y recepción de datos para el satélite SAOCOM.

- Medición de materiales usados en los desarrollos.
- Inicio del desarrollo de un sistema de medición automático de paneles irradiantes.
- Inicio del desarrollo y construcción de un sistema para la medida de antenas en campo lejano.
- Estudio y medición de compatibilidad de las antenas del satélite SAOCOM.
- Desarrollo y construcción a nivel prototipo de las antenas para el proyecto SARAT.

- **Año 2005:**

- Continuar con el desarrollo, construcción y medición de dos radiómetros en las frecuencias de 23,8 GHz y 36,5 GHz, a nivel prototipo, con salida digital, cumpliendo especificaciones provistas por CONAE. (Satélite SAC-D)
- Continuar con el diseño y análisis conceptual de dos radiómetros en las frecuencias de 23,8 GHz y 36,5 GHz.
- Continúa el estudio de factibilidad de un radiómetro en 89 GHz.
- Antena SAR - SAOCOM: Medición de un conjunto de 1 x 8 elementos (módulo irradiante) en distintas condiciones de temperatura y potencia.
- Desarrollo y construcción de las antenas de transmisión y recepción de datos para el satélite SAOCOM.
- Medición de materiales usados en los desarrollos vinculados al ítem anterior.
- Terminación del desarrollo de un sistema de medición automático de paneles irradiantes.
- Culminación del desarrollo y construcción de un sistema para la medida de antenas en campo lejano.
- Estudio y medición de compatibilidad de las antenas del satélite SAOCOM.
- Desarrollo y construcción a nivel prototipo de las antenas para el proyecto SARAT

- **Años 2006 y 2007:**

- Desarrollo, construcción y medición de dos radiómetros en las frecuencias de 23,8 GHz y 36,5 GHz, al nivel de modelo "*protoflight*", con salida digital, cumpliendo especificaciones provistas por la CONAE.
- Diseño y desarrollo del software de aplicación en la computadora denominada PAD (Data Acquisition and Processing), con el fin de proveerle la siguiente funcionalidad básica:
  1. Adquisición de los datos de ciencia, provenientes de los instrumentos que se detallan a continuación, y almacenamiento de los mismos en su memoria masiva para su posterior transferencia a la estación terrena.
    - a) MWR - **M**icrowave **R**adiometer
    - b) NIRST - **N**ew **I**nfra**R**ed **S**ensor **T**echnology
    - c) DCS - **D**ata **C**ollection **S**ystem
    - d) ROSA - **R**adio **O**ccultation **S**ounder for the **A**tmosphere
  2. Control de la operación de los instrumentos previamente enumerados.
  3. Procesamiento de los telecomandos recibidos y envío de la información de telemetría desde y hacia la plataforma de servicio respectivamente, a través de un canal 1553.
  4. Integración de los algoritmos de control térmico para los instrumentos MWR y NIRST.
- Diseño, desarrollo, construcción y medición de un prototipo correspondiente a la unidad denominada "Scanner" en la cámara NIRST.
- Diseño, desarrollo, construcción y medición de un prototipo, basada en lógica programable, para la generación de las líneas de control para los controles térmicos del radiómetro y la cámara NIRST.

- Diseño, desarrollo, construcción y medición de los prototipos correspondientes a los canales para monitorear los valores críticos en la cámara NIRST.
- Diseño y Planificación relacionada con la construcción de una facilidad para la integración de la Computadora PAD y los cuatro instrumentos o simuladores de los mismos según corresponda: MWR, NIRST, DCS y ROSA.
- Desarrollo, construcción y medición de un transceptor en la frecuencia central de 1275 MHz, al nivel de ingeniería, cumpliendo especificaciones provistas por la CONAE.
- Fase I del desarrollo de un radar espacial con tecnología de arreglos y conformación digital del haz (Digital Beam Forming)

- **Año 2008:**

- Desarrollo y construcción de las antenas de transmisión y recepción de datos para el satélite SAC-D.
- Desarrollo, construcción y medición de una antena en la banda de UHF, modelos a nivel de ingeniería y vuelo para el SAC-D.
- Desarrollo, construcción y medición de una antena en la banda S, modelos a nivel de ingeniería y vuelo para el SAC-D.
- Desarrollo, construcción y medición de una antena en la banda X, modelos a nivel de ingeniería y vuelo para el SAC-D.
- Desarrollo, construcción y medición de un “hat” para antena en la banda S, modelos a nivel de ingeniería para la antena en la banda S.
- Desarrollo, construcción y medición de un “hat” para antena en la banda X del punto 1.3, modelo a nivel de ingeniería.

- **Año 2009:**

- Desarrollo y construcción de Unidades de Navegación Integrada aerotransportadas con tecnología FPGA.
- Diseño, desarrollo e implementación de módulos en la computadora PAD.
- Desarrollo, construcción y medición de las antenas de servicio de los satélites SAOCOM 1A y 1B en sus modelos de ingeniería y vuelo.
- Desarrollo, construcción y medición de las antenas de servicio para la misión TRONADOR II Segunda Etapa, en sus modelos de ingeniería.
- Desarrollo y construcción de las antenas de transmisión y recepción de datos para el satélite SAC-D

## APENDICE D

### SITIOS POTENCIALES

Investigadores y Técnicos del IAR están estudiando las cualidades de la atmosfera de dos sitios en regiones del Altiplano, en el noroeste del país, potencialmente aptos para albergar un instrumento que opere en el rango de longitudes de onda milimétrico-submilimétrico del espectro electromagnético, como el propuesto en este Proyecto.

El clima predominante en el Altiplano es el Árido Andino Puneño, cuyas características son la sequedad y el frío moderado durante el verano, hasta alcanzar un intenso frío de invierno, con temperaturas mínimas que pueden alcanzar los  $-30^{\circ}$  C y medias anuales de entre  $15^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  C. Las escasas precipitaciones, la gran insolación y alta evaporación en la zona, dan lugar a que los suelos sueltos y permeables de las cuencas, muy pocas veces presenten agua permanente, pero asimismo se pueden observar verdaderos “mares” de sal en los Salares y Salinas que se forman en toda la región.



Figura 2: Pueblo de Tolar Grande, Salta, ubicado a 3530 m.s.n.m. Al fondo se observa la Cordillera de Macón, uno de los sitios preseleccionados para instalar la antena del proyecto LLAMA.

Uno de los sitios propuestos, ubicado en la Cordillera de Macón, a una altura de 4604 m.s.n.m ha sido monitoreado desde el año 2004. El mismo se encuentra en una región extremadamente árida, próxima a la localidad de Tolar Grande (Figura 2), pueblo de unos 150 habitantes enclavado en el corazón de la puna salteña, fundado alrededor de la Estación

del Ferrocarril Belgrano, cuando la actividad minera estaba en pleno desarrollo. Para llegar a este poblado desde la ciudad de Salta, hay que recorrer 387 Km. atravesando la Quebrada del Toro, pasando por el pueblo de San Antonio de los Cobres y por pequeños caseríos mimetizados por el árido paisaje puneño. El pueblo cuenta con una mínima infraestructura (camino, ferrocarril, comunicaciones, sala de primeros auxilios, etc.). La elevada altitud junto con el clima desértico, se traducen en una atmósfera arriba del sitio extremadamente seca, minimizando la absorción de la radiación electromagnética debida al vapor de agua.

Ese sitio fue preseleccionado por la baja opacidad de su atmósfera, medida con un radiómetro (Tipper) a 210 GHz, cedido en calidad de préstamo por la Universidad Autónoma de México (UNAM). Figura 3 representa el 1er., 2do, y 3er. cuartil de la distribución de las medidas obtenidas con el radiómetro, en la región de Macón, para las distintas épocas del año.

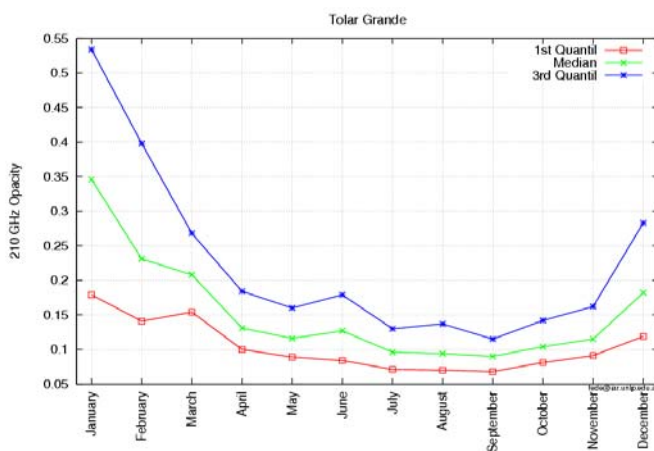


Figura 3: estadística de la distribución de medidas de opacidad atmosférica obtenidas por el radiómetro para la región de la Cordillera de Macón.

El factor climatológico mas crítico de esa zona es la fuerte velocidad de los vientos, que puede generar distorsiones en la superficie de la antena y errores en el apuntamiento de la misma. Por ese motivo, se están buscando nuevos sitios sobre la misma cordillera, con vientos más moderados.

Por el motivo antes señalado y también por la necesidad de tener mayor cobertura en la línea Este-Oeste respecto a la zona en que operaran los telescopios de ALMA en un futuro proyecto de VLBI con dichos instrumentos, se comenzó a monitorear con el mismo radiómetro, la región de Alto Chorrillo, a 4800 m.s.n.m (Figura 4). Junto al mencionado instrumento, se instalará próximamente una estación meteorológica para monitorear algunas de las variables climáticas del lugar.

La región de Alto Chorrillo cuenta con mejor infraestructura que la zona de Macón. En efecto, pasa la ruta nacional 51 (no pavimentada), líneas de alta tensión, gasoducto y línea férrea. Toda esta infraestructura se encuentra a una distancia menor de 2 Km. Las cercanías del sitio con el pueblo de San Antonio de los Cobres, distante unos 20 Km complementa parte de la infraestructura necesaria (comunicaciones, hoteles, escuelas, hospital, etc.). Esta pequeña ciudad y municipio en el centro-oeste de la provincia de Salta, a 164 Km de la ciudad capital, es la cabecera del departamento Los Andes, y cuenta con alrededor de 5.600 habitantes.



Ambos sitios preseleccionados se encuentran a latitudes que experimentan cambios estacionales, especialmente en los meses del verano que son más húmedos, degradando las condiciones de opacidad atmosférica (Figura 3). Tal degradación tiene su origen en la influencia del fenómeno conocido como “invierno boliviano”, que se traduce en un aumento en las frecuencias de las lluvias para esa época del año. Este fenómeno afecta todo el altiplano, inclusive la región de Chajnantor, en el norte chileno, sede de los telescopios de ALMA. No obstante, aún en ese período, ambos sitios siguen siendo potencialmente aptos para observación en el rango milimétrico del espectro, aunque no en el submilimétrico.

La gran altura que exigen los sitios para realizar este tipo de astronomía, tiene como contraparte la escasez de Oxígeno, que obligará a trabajar en ambientes especialmente acondicionados con suplementos de ese vital elemento, como ocurre en otros observatorios a alturas similares. Por tal motivo, el personal autorizado a realizar tareas en el sitio deberá hacerlo bajo estrictas normas de seguridad. Por el mismo motivo, dormitorios, laboratorios y oficinas deberán instalarse a menor altura (ciudad de Salta y/o San Antonio de los Cobres) y la operación del telescopio deberá realizarse en forma remota.

Es importante mencionar que se encuentra en proceso de estudio la pavimentación de la ruta nacional 40, en el tramo perteneciente a las Provincias de Salta y Jujuy. Esta ruta, que corre paralela a la Cordillera de los Andes, une de norte a sur ambos extremos del país. La importancia de esta obra para el Proyecto LLAMA radica en que dicha ruta pasa a pocos kilómetros del sitio de Alto Chorrillos y conecta, unos 100 Km. al norte, con la ruta nacional 52, también asfaltada, que enlaza directamente con el Paso de Jama en la frontera con Chile, cercana a la región donde operarán los telescopios del Proyecto ALMA. Así, ambos observatorios estarían vinculados por rutas asfaltadas a distancias que podrían recorrerse en automóvil en unas 4-5 horas.



Figura 4: Vista panorámica del otro sitio pre-seleccionado, en la región de Alto Chorrillo, localizado a una altura de 4800 m.s.n.m. Al frente se observa el radiómetro y accesorios para determinar la opacidad atmosférica de la zona.

## **El Telescopio LLAMA y las comunidades collas en las cercanías:**

Las localidades más cercanas al sitio donde operará el telescopio son:

a) *San Antonio de los Cobres* (SAC - Pcia. de Salta)

Esta ciudad de alrededor de 5000 habitantes, punto terminal del famoso Tren de las Nubes, se encuentra a 16 Km. al Este del sitio seleccionado. Es la capital del Departamento de Los Andes, en plena puna de la provincia de Salta. Se encuentra a 164 Km. de la ciudad Capital. Desde allí las vías de acceso son la RN51 y el acceso ferroviario C14. Cuenta con aceptables sistemas de comunicaciones, escuelas de enseñanza primaria y media, Hospital, etc. Es sede del Escuadrón 22 de Gendarmería Nacional.

La ciudad de SAC cuenta con una afluencia turística importante pero con poca infraestructura receptiva, este hecho hace que el turista tome al pueblo como “un lugar de paso” para visitar casi exclusivamente el hito turístico del “viaducto de La Polvorilla”. Cuenta con una aceptable hostería de 10 habitaciones. Existen también otros alojamientos más económicos y se encuentran en estado avanzado de construcción dos hoteles con capacidad entre 50 y 80 huéspedes y pueden servir de alojamiento a investigadores y técnicos.

b) *Olacapato* (Pcia. de Salta)

Es una pequeña localidad de la provincia de Salta dentro del Departamento de Los Andes. Se encuentra sobre las vías del Ferrocarril General Manuel Belgrano del ramal del Tren de las Nubes. Cuenta con alrededor de 180 habitantes. Considerado el pueblo mas alto de Argentina con 4.009 m.s.n.m.. En sus mejores momentos Olacapato era estación de transito que llevaba el hierro proveniente desde Mina Laco en Chile a Altos Hornos Zapla en la Provincia de Jujuy.

c) Corredor sur-norte en el tramo de la ruta nacional 40 (ex ruta provincial 74) que pasa por pequeñas comunidades collas de *Puesto Sey*, *Pastos Chicos* y *Huancar* hasta conectar con la localidad de *Susques*, todas ellas pertenecientes a la Provincia de Jujuy. En ese corredor habitan unas 600 familias pertenecientes a las mencionadas comunidades.

Las comunidades collas de toda esa región deberán ser contactadas e informadas sobre los alcances del Proyecto y los aportes del mismo a la educación; se deberá comprobar también que el lugar elegido no corresponda a posibles sitios sagrados de las mismas. Es de fundamental importancia señalarles que no generará contaminación ambiental. Se deberá contar con su aprobación, especialmente por el sentido de pertenencia a través de siglos que tienen sobre estas tierras.

Junto con la problemática de la educación formal, será importante realizar un proyecto de revalorización y afianzamiento de los conocimientos astronómicos que poseen los collas y construir, junto con la comunidad, estrategias para esta revalorización. Es importante que la educación formal no borre esos conocimientos que sería importante difundir.

## APENDICE E

### La antena de LLAMA

El radiotelescopio es el elemento más crítico del Proyecto LLAMA, operando en un sitio que deberá ofrecer un cielo excepcionalmente seco y claro, el cual es requerido para operar en longitudes de ondas milimétricas y submilimétricas. La región de la Puna, en el noroeste argentino cumple con esas cualidades. Pero allí se experimentan también grandes variaciones de temperatura diurnas y fuertes vientos de mediodía, características típicas de esa zona. La superficie parabólica de 12 m de diámetro del instrumento, debe mantener su forma precisa bajo los distintos esfuerzos mecánicos que puede sufrir la estructura de la antena y las extremas condiciones meteorológicas que se encuentran a gran altitud. Las especificaciones técnicas para la antena son las siguientes:

ITEM	ESPECIFICACION	NOTAS
Sitio	Chorrillos, Salta	4800 m de altura
Apertura	12 metros	bloqueo < 2.5%
Rango de Frecuencia	30 GHz - 950 GHz	
Exactitud de la Superficie	< 25 $\mu\text{m}$ r.m.s.	
Exactitud de apuntado (vientos de 9 m/s, 30 min. Entre calibraciones)	0.6 segundos de arco	
Velocidad Máxima	Mueve 1.5 grados en el cielo en 1.5 segundos	Elevación y azimut, respectivamente
Aceleración Máxima	12 grados/seg <sup>2</sup> , 24 grados/seg <sup>2</sup>	Elevación y azimut, respectivamente
Mínima Frecuencia de Resonancia	> 10 Hz	
Rango Azimutal	+/- 270 grados (desde el Norte )	
Rango de Elevación	0 grados a 125 grados (desde el horizonte)	
Configuración	Reflector simétrico paraboloidal, Montura: Elevación - azimut , foco Cassegrain	
Apertura de Sub-reflector	0.80 m	
Observación Solar	Permitida	
Máxima Velocidad del Viento	65 m/seg.	Supervivencia
Velocidad media del viento	6 m/seg. (diurno), 9 m/seg. (nocturno)	
Temperatura Ambiente	- 20° C a + 20° C	
Vida media estimada	30 años	

Los requisitos que debe cumplir la antena de LLAMA son comparables con los que se tienen para radiotelescopios submilimétrico instalados a menores alturas; aunque son

especificaciones muy rigurosas para antenas expuestas al medio ambiente de la Puna, sin ningún tipo de protección (domo), a casi 5.000 m.s.n.m. (ver figura 1)

Para poder cumplir con esos requisitos se proyecta adquirir una antena similar a las actualmente en construcción para el Proyecto ALMA que se están instalando en los llanos de Chajnantor, Chile. Estos son los radiotelescopios de mayor calidad jamás construidos. La calidad y rendimiento de esas antenas definen la funcionalidad total del Proyecto ALMA



Figura 5: Antena perteneciente al Proyecto APEX, construida sobre la base de un prototipo realizado para el proyecto ALMA, actualmente en operaciones en Chajnantor, Chile. La misma es similar a la planeada para el proyecto LLAMA

## **INSTRUMENTACION**

### **Los sistemas de receptores del Proyecto LLAMA**

El sistema de “Front End” de LLAMA es el primer elemento en una cadena compleja de recepción, conversión, procesamiento y grabación de señales. Será diseñado para captar señales de distintas bandas de frecuencia diferentes. El elemento individual más grande de ese sistema es un “dewar” que será enfriado a temperaturas criostaticas. El crióstato contendrá los receptores, que serán montados de tal forma que puedan ser instalados o reemplazados en forma relativamente fácil.

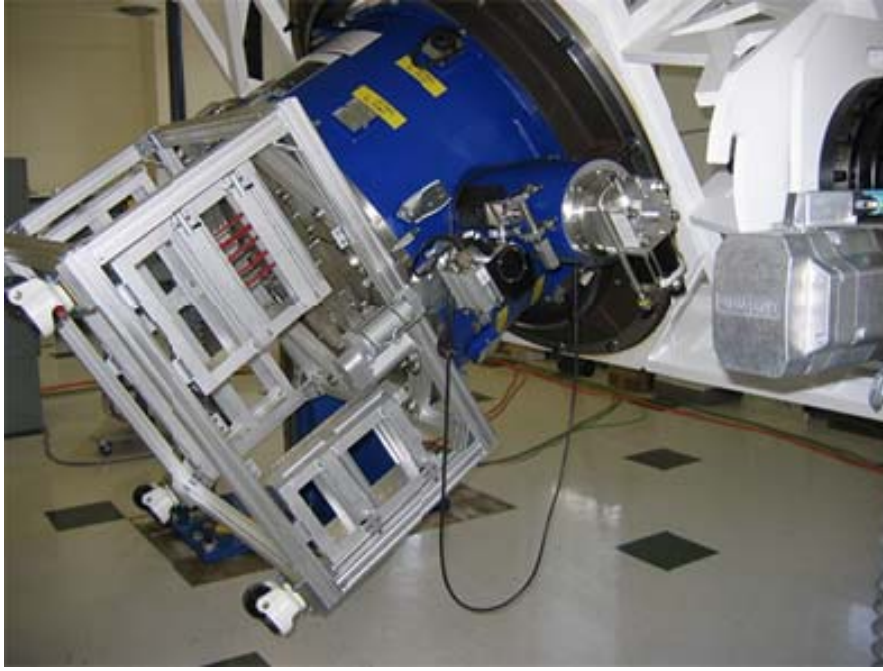


Figura 6: receptores de alta sensibilidad a bajas temperaturas

Si bien la instrumentación inicial será seleccionada por un grupo científico compuesto por investigadores de los países integrantes del Proyecto con el fin de explotar al máximo las características especiales del radiotelescopio, se definirá la prioridad en función de la importancia de los proyectos científicos. En la fase inicial de operaciones la antena debería estar equipada con al menos 2-3 receptores de línea y continuo en las bandas de 84-116 GHz (3mm), 211-275 GHz (1mm) y 275-373 GHz (0.85mm). A posteriori, en ambos países se seguirá generando nueva instrumentación para mantener al telescopio LLAMA en la frontera de la investigación en los años venideros.

De forma independiente, se trabajará en la protección del espectro de radio en las bandas de frecuencias de operación del telescopio LLAMA, de 70 a 700 GHz, siguiendo las recomendaciones de la Unión Astronómica Internacional vía la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

### **El analizador espectral**

El rápido incremento en la frecuencia de muestreo de los modernos convertidores analógico - digitales comerciales y la creciente potencialidad de los arreglos de lógica programables (FPGAs) han llevado a la posibilidad tecnológica de construir espectrómetros, digitalizando de forma directa las señales de frecuencia intermedia de radio-receptores y transformarlas en una señal espectral digital, en tiempo real. Estos espectrómetros tienen grandes ventajas sobre los espectrómetros tradicionales:

- se alcanzan anchos de banda de hasta 1 GHz
- muestreo completo de señales de hasta 8 bits
- incremento en el n° de canales de hasta  $2^{15}$
- mayores sensibilidades y estabilidades
- diseño sencillo y modular

- ocupan poco espacio y bajo consumo de energía (lo cual es una ventaja a grandes alturas)
- costos decrecientes / GHz debido a los dispositivos digitales comerciales
- esto implica a futuro, incremento en los ancho de banda con costos decrecientes.

A todas estas ventajas habría que agregar que estos analizadores espectrales (ver figura 7) pueden construirse en el país, poniendo al mismo en el “estado del arte” de esa tecnología.

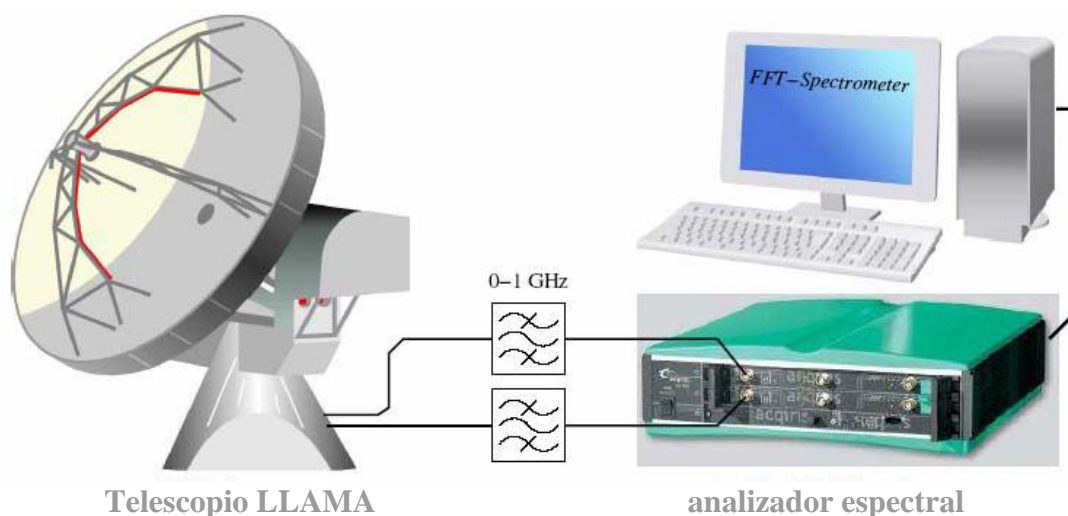


Figura 7: esquema de sistema radiotelescopio-analizador espectral-computadora de control.

### **Interferometría de base muy larga (VLBI) con el Telescopio LLAMA**

Con la técnica de VLBI se pueden obtener resoluciones angulares menores que un milisegundo de arco y, por lo tanto, permite realizar estudios de los fenómenos astrofísicos energéticos que se desarrollan en las escalas más pequeñas. Dicha técnica logra lo anterior mediante la correlación de las señales recogidas por antenas que se encuentran a grandes distancias entre sí, y utiliza estas señales para sintetizar un telescopio cuya apertura efectiva iguala la separación entre las antenas. Debido a su extrema calidad de imagen, la interferometría VLBI ha realizado grandes contribuciones a la astrofísica. Esta técnica será transformada en los próximos años, lo que mejorará muchísimo sus capacidades de exploración de una gran variedad de fenómenos astrofísicos con aún mejor resolución angular. El avance se deberá a dos factores: a) la disponibilidad de nuevos telescopios milimétricos y submilimétricos que incrementarán el área colectora entre 86 y 350 GHz; b) los recientes desarrollos tecnológicos que permiten obtener anchos de bandas mayores e incremento en las velocidades de los sistemas de adquisición de datos. Estas nuevas capacidades permitirán grandes avances científicos en varias áreas. La incorporación del telescopio LLAMA a la red internacional de VLBI será un paso importante en esa dirección.

Antenas a más de 4600 metros de altura y 120-150 Km. de los telescopios ASTE, APEX y ALMA en el norte chileno, serán el primer paso para desarrollar un interferómetro

para VLBI con antenas distribuidas a lo largo de la Cordillera de Los Andes. Argentina, Brasil, Chile y México están desarrollando grupos científicos tecnológicos en radioastronomía y su integración en proyectos de astronomía milimétrica y submilimétrica sería deseable.

La instrumentación que permita hacer interferometría de base muy larga no está incluida en las primeras etapas del Proyecto LLAMA pero se prevé estudiar la posibilidad de una colaboración para tener acceso a ella.

## **FORMACION DE RECURSOS HUMANOS**

La formación de una nueva generación de astrónomos, ingenieros y técnicos ha sido desde siempre una responsabilidad fundamental de los Institutos involucrados en el Proyecto. Uno de los incentivos que ofrecerá LLAMA es la oportunidad de desarrollar nueva infraestructura científica y tecnológica en ambos países. Desde los inicios del proyecto, se incrementará el número de estudiantes en los institutos: no sólo astrónomos y físicos, sino también ingenieros y técnicos que realizarán sus trabajos de licenciaturas, maestrías y doctorados, en los campos de la electrónica, mecánica, óptica, sistemas de control, criogénica y en otras áreas críticas para la astronomía milimétrica moderna. Su sólida formación será una de las grandes herencias del proyecto y contribuirá a la modernización de la base tecnológica de ambos países.

## APENDICE F

### INFRAESTRUCTURA

1) El sitio seleccionado deberá contar con una infraestructura básica para su funcionamiento. Esta debe tener en cuenta todo lo necesario para el funcionamiento del instrumental como así también comodidades mínimas para el Personal involucrado en las distintas tareas que la actividad demande. A modo de ejemplo, pueden mencionarse entre otras:

- a) Camino consolidado de acceso al sitio
- b) Sala de control de Instrumentos
- c) Pequeños laboratorios de Electrónica y Mecánica
- d) Sectores de almacenaje de repuestos electrónicos y mecánicos
- e) Pequeño sector para alimentación del Personal y alojamiento de emergencia.
- f) Generadores de energía. Potencia requerida 200-250 KVA.
- g) Galpón para alojamiento de central eléctrica
- h) Depósito de combustible
- i) Sistema de Comunicaciones (Internet, telefonía, etc.)
- j) Alambrado de protección perimetral
- k) Baños y planta depuradora de líquidos
- l) Oxigenadores en sectores claves (b, c, e)
- m) Dos (2) vehículos del tipo 4 x 4 y un (1) vehículo para transporte del Personal
- n) etc.

Como se mencionó en la primera parte de esta propuesta, se acordó que la compra de la antena sería realizada por la contra-parte de Brasil y nuestro país realizaría su aporte a través de todos los gastos que se requieran en obras de infraestructura. Una de las ventajas de este acuerdo para Argentina, es la no realización de gastos en divisas y el dinero que demanden dichas obras será reinvertido en el país mediante las obras a realizar por empresas, tanto públicas como privadas, con la consiguiente generación de puestos de trabajo.

El tipo de construcción a utilizarse no requiere que sea de mampostería. Puede ser de tipo modular y/o containers, del tipo utilizado en campamentos mineros, acondicionados para soportar situaciones climáticas extremas.

La construcción de esa infraestructura básica puede ser utilizada por cualquier otro grupo de investigación, a fin que el sitio se convierta en un laboratorio de gran altura donde puedan operar otros observatorios científicos con propósitos diversos.

2) Las condiciones extremas de un observatorio de gran altura hacen recomendable que el Personal (Investigadores, Profesionales, Técnicos, etc.) no permanezcan en forma permanente en el sitio donde se encuentra el radiotelescopio, sino que lo hagan en facilidades ubicadas a menores alturas. En ellas se deberán construir oficinas, laboratorios, alojamiento, etc. Ejemplo de esta necesidad es el Complejo Astronómico El Leoncito y su sede central en la ciudad de San Juan. En ese sentido se están evaluando diversas alternativas:



- a) San Antonio de los Cobres (3760 m.s.n.m.) por su cercanía con el sitio
  - b) La ciudad de Salta (1180 m.s.n.m.), por ser un importante centro urbano, con una Universidad Nacional; aeropuerto internacional; hoteles; centros de convenciones; hospitales; etc.
- 3) Será necesario equipar los laboratorios de Electrónica y Mecánica con el instrumental apropiado para las tareas de Desarrollo y Mantenimiento de equipos y receptores que estarán en el denominado “Estado del Arte” de la tecnología, y en los cuales se generará el “know-how” que se espera, a posteriori, transferir a la sociedad. La experiencia del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) lo corrobora.

## APENDICE G

### Presupuesto preliminar

	En miles de U\$S	Comentarios
<b>Costos de traslado de la antena, Armado y Puesta en operaciones<sup>1</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Infraestructura estación base<sup>2</sup></b>	<b>700</b>	
<b>Terreno base<sup>3</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Energía eléctrica en la base<sup>4</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Estudios geológicos del sitio<sup>5</sup></b>	?	A ser determinado
<b>camino al sitio del telescopio<sup>6</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Movimiento de tierra en el sitio del telescopio<sup>7</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Alambrado perimetral telescopio<sup>8</sup></b>	<b>7</b>	
<b>Fundaciones de la antena</b>	?	A ser determinado
<b>Infraestructura estación telescopio<sup>10</sup></b>	<b>200</b>	
<b>Sistema de comunicaciones<sup>11</sup></b>	<b>70</b>	
<b>Sistema de provisión agua<sup>12</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Planta depuradora líquidos en estación telescopio<sup>13</sup></b>	<b>5</b>	
<b>2 Vehículos tipo 4x4 y 1 tipo Traffic<sup>14</sup></b>	<b>100</b>	
<b>Provisión de energía en el sitio del telescopio<sup>15</sup></b>	?	A ser determinado
<b>Equipamiento de laboratorios de Electrónica y Mecánica<sup>16</sup></b>	<b>2.000</b>	
<b>Receptores, analizador espectral<sup>17</sup></b>	<b>2.000</b>	
<b>Antena de 12 m de diámetro<sup>18</sup></b>	<b>8.700</b>	
<b>TOTAL PARCIAL</b>	<b>13.782</b>	
<b>Gastos en Personal<sup>19</sup></b>	<b>4.235</b>	

- 1) Incluye a) alquiler de distintos tipos de grúas y camiones de distinto porte y distintos períodos de tiempo, traslados, seguros, combustible, gastos de operarios (alojamiento, comidas y traslados); b) traslado desde el puerto; c) gastos eventuales.
- 2) Se estima una superficie cubierta similar a la que tiene el CASLEO en la ciudad de San Juan:  $\sim 700 \text{ m}^2$  y un costo promedio de U\$S 1000 el  $\text{m}^2$
- 3) Sitio a ser determinado. Si es en la ciudad de Salta, podría ser dentro del predio donde funcionan Facultades e Institutos de la UNS. Debería firmarse un convenio con la Universidad.
- 4) Si la estación Base se encuentra en la ciudad de Salta, la energía deberá ser provista por la empresa correspondiente. En caso de ser la ciudad de San Antonio de los Cobres se deberán estudiar alternativas de generación propia.
- 5) Se deberán realizar estudios sobre la estabilidad geológica del sitio y características del suelo.

- 6) Para el sitio de Chorrillos, se deberá construir un camino de acceso, en zona montañosa, desde la ruta Nacional 51 hasta la cima del sitio. La distancia estimada, en línea recta, es de 2-2.5 Km. No requiere que sea pavimentado.
- 7) Se estima preparar un terreno con una superficie de ~ 1 Ha.
- 8) Corresponde a un alambrado de seguridad alrededor de la superficie mencionada en el ítem anterior
- 9) Corresponde a los trabajos de preparación del lugar donde se colocará la antena para asegurar su estabilidad
- 10) Corresponde a las construcciones necesarias para funcionamiento del Telescopio LLAMA. Conciérne a los ítems b), c), d), e), f), y g) mencionados arriba. Sectores b) y e) deben contemplar suplementos de oxígeno.
- 11) Corresponde a un presupuesto de un sistema de comunicaciones entre el sitio y la localidad de San Antonio de los Cobres que incluye 4 líneas telefónicas, equipos de radio, antenas transmisoras-receptoras y repetidoras, etc. Se deberá incluir un moderno sistema de comunicaciones que permita también realizar observación remota desde Salta, Buenos Aires (IAR) y San Pablo-Brasil (IAG) y monitoreo remoto de todas las variables que hagan al funcionamiento y seguridad del Telescopio.
- 12) Es un problema a resolver, por cuanto el sitio está en la cima de una montaña y las exigencias del proyecto hacen que el sitio sea extremadamente seco.
- 13) Se pretende evitar todo tipo de contaminación ambiental.
- 14) La finalidad de los vehículos es para traslado de Personal, instrumental de laboratorio y mercaderías entre el sitio, la base y otras localidades
- 15) Ver aparte distintas alternativas en el ítem **generación de energía**.
- 16) Corresponde a la adquisición de moderno equipamiento de laboratorio para tareas de Desarrollo y Mantenimiento de la antena, receptores y “back-ends” y actividades de Transferencia Tecnológica del “Know-how” adquirido.
- 17) Se estima para uso de la antena como disco simple. No se tiene en cuenta, en una primer etapa, su uso para VLBI
- 18) Antena de 12 metros de diámetro que sería adquirida por Brasil
- 19) Se estima un dotación de **10 Profesionales** (4 Ing. Radiofrecuencia, 3 Ing. Digitales, 1 Ing. Mecánico, 1 Ing. Electricista, 1 Lic. En Informática), **10 Técnicos** (6 Técnicos en Electrónica, 2 Técnicos Mecánicos, 1 Técnico Electricista y 1 Técnico en Informática) y **5 artesanos** (2 chóferes y 3 limpieza y cocina), con salarios de U\$S 1.500, 1.000 y 600 *durante un período de 10 años* y debe incluirse un **Director** (U\$S 2.500) y un **Astrónomo Residente** (U\$S 2000). La dotación de Profesionales y Técnicos deberán rotar su permanencia en el sitio. Estos costos salariales deberán imputarse como adicionales al funcionamiento de la estación y podrían considerarse como aportes del país a los mismos fines.

## Generación de Energía

Uno de los aspectos importantes a resolver en el proyecto es el tema de la generación de energía eléctrica en un lugar apartado como es la Puna, y que puede condicionar fuertemente los costos de mantenimiento de una estación de altura. Es una situación similar a la de los telescopios APEX y ASTE en el norte chileno, que pueden servir de referencia en cuanto a las tecnologías utilizadas para resolver el problema y los costos involucrados.

- 1) en el telescopio APEX se utilizan dos (2) generadores diesel con una potencia de 400 KVA cada uno, pero el requerimiento energético es de unos 200 KVA. La pérdida de potencia de los mismos debido a la altura explica el porque de la sobre-potencia de los generadores. Es importante tener dos generadores debido a la necesidad de sacar de servicio uno de ellos para mantenimiento periódico. El gasto en combustible para el funcionamiento de los mismos es de aproximadamente 100.000 euros/año. Cuentan con un tanque de almacenamiento de combustible de 30 m<sup>3</sup>, a lo que hay que sumar los problemas logísticos de transporte del combustible y el incremento constante de los precios del petróleo.
- 2) En el caso del telescopio ASTE, con problemas similares al anterior, cuentan con dos grupos electrógenos de 300 KVA cada uno.

### Para el caso del Proyecto Llama se están analizando diversas alternativas:

- a) resolver el problema por medio de dos generadores diesel de alta potencia (ver Figura 8) como en los casos de APEX y ASTE.



Figura 8: Generador de energía eléctrica y tablero de arranque incorporado

- b) Estudiar la posibilidad de instalar una pequeña central eléctrica en base a varios generadores diesel de menor potencia, que funcionen en paralelo, y que genere la potencia requerida. (ver Figura 9). Este sistema tiene la ventaja sobre el anterior en que no es necesario disponer de otro generador de alta potencia durante las tareas de mantenimiento. Por ejemplo, se pueden disponer de 3-4 generadores chicos y 1-2 adicionales para reemplazarlos durante el mantenimiento periódico. Hay una serie de razones para pensar en una solución como la propuesta:

- **Fiabilidad:** Confianza en el sistema y seguridad de funcionamiento: no se dispone de un solo generador. Minimiza los riesgos de falta de energía: siempre dispongo de alguna fuente de energía.
- **Flexibilidad:** Pueden realizarse tareas de mantenimiento sin tener que detener todo el sistema.
- **Economía:** Cuando se espera que las cargas se incrementen, la inversión inicial es minimizada instalando un generador más pequeño, entonces agrego más equipos en paralelo según el aumento de cargas. El número de generadores en funcionamiento puede variar según el nivel de carga, optimizando el consumo de combustible y vida útil de los equipos.

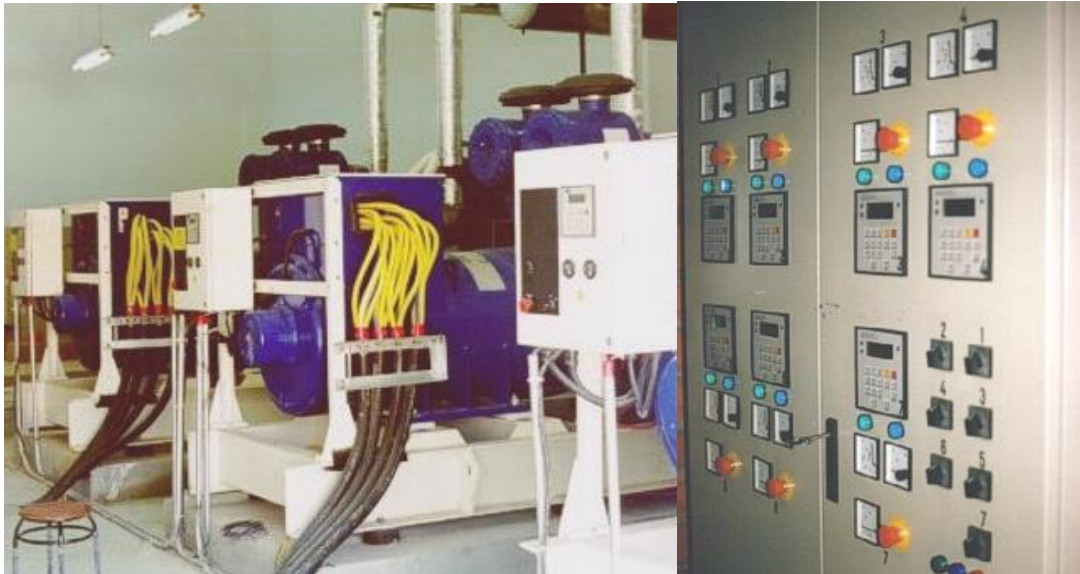


Figura 9: Central eléctrica compuesta por varios generadores y tablero de distribución de energía

c) Un sistema similar al anterior en base a tecnologías de nueva generación, por ejemplo micro-turbinas colocadas en paralelo (ver Figura 10). Tiene la ventaja respecto a los anteriores en el bajo costo de mantenimiento, pero la inversión inicial en equipos es de unas 5-6 veces la de los generadores convencionales. Las principales características de estos sistemas son:

- Funcionan con diversos combustibles: Gas Natural, Gas licuado (GLP) - Propano, Gas de pozos de petróleo, Diesel/Gas Oil, Kerosene, Biogas.
- Generan energía eléctrica de calidad superior a la de la Red, sin armónicas ni distorsiones.
- Simplicidad constructiva: una sola parte móvil.
- No utilizan líquidos refrigerantes ni lubricantes.
- Alta confiabilidad y prácticamente libres de mantenimiento.
- Operación automática, controlada digitalmente y en forma remota con una PC vía telefónica por módem, ModBus, etc.
- Mínimas emisiones.
- Los módulos operan en paralelo entre ellos y/o con la Red, sin necesidad de tableros de sincronismo / paralelismo.



Figura 10: ídem anterior pero en base a micro-turbinas

d) Cualquiera de las alternativas mencionadas previamente, pero que usen gas natural como combustible. Esta variante tiene la ventaja de no tener depósitos de combustible líquido y se independiza del transporte del mismo cuyas fuentes están a más de 200 Km. del sitio. A unos 2 Km. del sitio de Chorrillos pasa un gasoducto proveniente de Campo Durán del cual se podría derivar el gas. Al costo de los generadores habría que agregar los de la construcción de la mencionada derivación y de la planta de disminución de presión del gas. Actualmente se esta estudiando esta factibilidad con las autoridades de la Dirección de Energía de la Provincia de Salta, propietaria del gasoducto.

La siguiente tabla muestra, en forma aproximada, la inversión en equipos para generar la energía según las distintas alternativas mencionadas. No tiene en cuenta los costos derivados de traslado e instalación en el sitio. Tampoco están contemplados los costos edilicios para alojar los motores.

<b>Tipo de equipos</b>	<b>Nº</b>	<b>Costo (U\$S)</b>
<b>Generadores Diesel</b>	<b>2</b>	<b>153.000</b>
<b>Usina (varios generadores)</b>	<b>5</b>	<b>140.000</b>
<b>Micro-turbinas</b>	<b>5</b>	<b>592.000</b>

## **Apoyo internacional al Proyecto LLAMA**

Con El Proyecto LLAMA, Argentina y Brasil se estarían anticipando a un futuro crecimiento natural de ALMA, que sería colocar antenas a distancias mayores, en un esquema similar al proyecto SKA. Tal iniciativa no podría llevarse a cabo sin un consenso internacional, ya que objetivo en sí requiere de la amplia colaboración.

El proyecto LLAMA fue presentado por los Dres. Jacques L epine (IAG-USP), como representante de Brasil, y Marcelo Arnal (Director del IAR), a los directores de ALMA (Dr. Thijs de Graauw), de ESO (Dr. Tim de Zeeuw), y al representante para América Latina de NRAO, Dr. Eduardo Hardy (responsable de la participación de EEUU en ALMA), en el marco de una reunión llevada a cabo en Santiago de Chile El 14 /03/09.

Dres. J. Lepine y Zulema Abraham hicieron una visita al sitio de los proyectos ALMA y APEX en junio de 2009, a invitación del Dr. Thijs de Graauw. El objetivo de la visita fue conocer las antenas, los receptores y analizadores espectrales, así como las dificultades inherentes a la operación de un observatorio astronómico a gran altura. All  se entrevistaron con los Dres. Thijs de Graauw, Richard Hills (Director de actividades científicas de ALMA en la fase de instalación), Peter Napier que trabaj  en los test de la antena prototipo, Lars-Ake Nyman, “Jefe de Operación Científica” de ALMA y ex-director del Proyecto APEX, entre otros. En todas las ocasiones los interlocutores manifestaron la posibilidad de apoyar el proyecto LLAMA para cualquier dificultad técnica que se encuentre.

Durante la reunión de la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) en Río de Janeiro, en agosto de 2009, fueron hechas dos presentaciones públicas del proyecto LLAMA, a las que asistieron investigadores con peso decisivo para el apoyo internacional. En el discurso de apertura de la misma Asamblea General, la Dra Catherine Cesarsky, presidente de la IAU, mencionó el proyecto entre las perspectivas futuras de la astronomía brasileña; también fue mencionado por el Ministro de Ciencias, Dr. Sérgio Resende.

Otro apoyo importante vino de México: El Dr. Luis Felipe Rodrigues, conocido radioastr nomo mexicano, facilitó al proyecto LLAMA un “tipper” perteneciente a su grupo. Este instrumento es utilizado para medir la absorción atmosférica en las altas frecuencias de radio, y que se está llevando a cabo en la región de la Puna (Apéndice B). El Dr. Alfonso Serrano Pérez-Grovas, Director del proyecto GMT (radiotelescopio milimétrico mexicano de 45 m de diámetro) manifestó también su interés para un intercambio científico y tecnológico, y en futuros proyectos de VLBI.

Otros investigadores de renombre manifestaron también su interés y apoyo al proyecto: Dr. Richard Schilizzi, Director del proyecto SKA; Dr. Leo Blitz (Universidad de California, ligado al proyecto CARMA, interferómetro de 15 antenas milimétricas); Dr. Jay Gallagher (Universidad de Wisconsin; editor en Jefe de la revista *Astronomical Journal*), Dr. Laurent Vigroux, Director del Institut d’Astrophysique de Paris, y Director del Consejo de ESO; entre otros.

***Investigadores argentinos con interés científico en el proyecto***

Felix Mirabel (IAFE e CEA-Saclay- Francia), Marcelo Arnal (IAR), Ricardo Morras (IAR), Gustavo Romero (IAR), Paula Benaglia (IAR), Cristina Cappa (IAR), Javier Vázquez (IAR), Mariela Corti (IAR), Gabriela Parisi (IAR), Juan Carlos Testori (IAR), Elsa Giacani (IAFE), Estela Reynoso (IAFE), Gloria Dubner (IAFE), Silvina Cichowolski (IAFE), Cristina Mandrini (IAFE), Mario Melita (IAFE), Sergio Parón (IAFE), Gabriela Castelletti (IAFE)

***Investigadores brasileños con interés científico en el proyecto***

Abraham Chian (INPE), Adriana Valio (Mackenzie), Alex Carcioffi (IAG-USP), Alexandre Wuenche (INPE), Anderson Caproni (UNICSUL), Diego Falceta (UNICSUL), Elisabete de Gouveia Dal Pino (IAG-USP), Enio da Silveira (PUC-Rio), Gabriel Franco (UFMG), Guillermo Giménez de Castro (Mackenzie), Heloisa Boechat (UFRJ), Herman J Mosquera Cuesta (CBPF), Horacio Dottori (UFRGS), Jacques RD Lépine (IAG-USP), Jane Gregório-Hetem (IAG-USP), Joaquim Eduardo Rezende Costa (INPE), João Braga (INPE), José Williams Vilas-Boas (INPE), Newton de Figueiredo Filho (UNIFEI-MG), Pierre Kaufmann (Mackenzie), Ramiro de La Reza (ON), Ramacrishna Teixeira (IAG-USP), Roberto Ortiz (EACH-USP), Thaisa Storchi Bergman (UFRGS), Thyrso Villela (AEB), Zulema Abraham (IAG-USP).