

¿Dónde instalamos el TELESCOPIO?

La búsqueda de sitios adecuados para emplazar grandes telescopios ópticos y radiotelescopios de microondas en el noroeste argentino

EM Arnal y R Morras

Instituto Argentino de Radioastronomía, UNLP-CONICET

D García Lambas y P Recabarren

Instituto de Astronomía Teórica y Experimental, UNC

Uno de los grandes problemas que enfrenta la observación astronómica es la perturbación que causa la atmósfera terrestre a la luz u otra clase de ondas emitidas por los cuerpos celestes y captadas por los telescopios. Las señales que estos perciben deben atravesar la mezcla heterogénea de gases en constante movimiento que forma el aire, una situación semejante a la de percibir objetos mirando a través del agua de un río turbulento. Si el caudal del río fluye de manera plácida o no turbulenta (técnicamente, en régimen laminar), la percepción mejora en forma notable.

Para la astronomía de observación que opera en la región visible del espectro electromagnético, es decir, con luz como la que perciben nuestros ojos, la cuestión consiste en encontrar lugares en los que el aire de la atmósfera se desplace en régimen laminar. Pero la astronomía opera también en otras zonas del espectro, como las de diferentes frecuencias o bandas de radio o las de los rayos infrarrojos y los rayos X, para mencionar las más usuales. En todas ellas, la atmósfera se comporta como un filtro que limita las posibilidades de observación. Por esta razón se emplazaron telescopios fuera de la atmós-

fera de la Tierra, en satélites artificiales; entre otros, el telescopio espacial Hubble y el observatorio heliosférico solar. El gran inconveniente de estos instrumentos exteriores es su muy alto costo de operación y mantenimiento, una circunstancia que confiere enorme valor a los sitios terrestres de buena calidad para la observación astronómica y que hace rentables los esfuerzos dedicados a encontrarlos.

En los últimos tiempos, además, se han realizado importantes avances técnicos en materia de diseño y construcción de telescopios y otros instrumentos usados para la observación astronómica, que ayudan a mitigar los efectos de la atmósfera. Así, las modernas ópticas de los grandes telescopios pueden modificar su geometría para compensar diferentes tipos de aberraciones, entre ellas las deformaciones impuestas por la turbulencia del aire. De todos modos, esos sistemas avanzados no arrojan resultados óptimos si no se los emplaza en sitios con buenas características. Recíprocamente, la conjunción de instrumentos de moderna tecnología con sitios de excelente calidad permite el máximo aprovechamiento de los grandes instrumentos actuales de observación astronómica.

Existe en el mundo un número limitado de lugares con condiciones adecuadas para instalar grandes instrumentos astronómicos. Un caso cercano es el centro y el norte de Chile, donde se encuentran muchos de los más grandes y modernos telescopios. Fueron instalados por entidades científicas de los países avanzados mediante convenios que otorgan al país anfitrión determinado tiempo de uso de esos instrumentos, situación por demás ventajosa para la astronomía chilena, que de ese modo adquirió acceso a medios de observación fuera de su alcance por razones de costo.

En la Argentina, investigadores del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), de la Universidad Nacional de La Plata y el Conicet, y del Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE), de la Universidad Nacional de Córdoba, están realizando una búsqueda sistemática de sitios adecuados para emplazar modernas instalaciones astronómicas en el territorio nacional. Han focalizado su atención en la puna o altiplano, un sector geográfico ubicado en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy, cuyas características lo señalan como buen candidato. Esas características son su altura sobre el nivel del mar, que oscila entre los 3500 y 4500m (lo que significa una disminución del espesor de la atmósfera igual a esa altura); la escasa humedad relativa del aire y por ende su pequeño contenido de vapor de agua precipitable; una reducida probabilidad de que se produzcan sismos; elevado porcentaje de noches sin nubes; escasísimos niveles de contaminación lumínica, por ser un área escasamente poblada, y exigua turbulencia de la atmósfera. Para los observatorios radioastronómicos, se trata de una zona en la que se registran pocas o nulas interferencias radiales de origen humano en las frecuencias de interés astronómico.

Además de los parámetros señalados, para que un sitio permita el asentamiento de grandes telescopios necesita tener una razonable vinculación con un centro urbano que la brinde una gama mínima de servicios básicos, como comunicaciones, alojamiento, abastecimiento de combustible y alimentos, etcétera.

Búsqueda del sitio adecuado para un observatorio óptico

El mencionado instituto de la Universidad Nacional de Córdoba recibió apoyo financiero de una entidad de la Unión Europea, el Observatorio Europeo Austral, para su búsqueda de un sitio adecuado en el que emplazar un importante telescopio óptico. La institución europea investiga dónde instalar uno de gran tamaño, dotado de un espejo de 42m de diámetro, denominado Telescopio Europeo Extremadamente Grande (en inglés *European Extremely Large Telescope* o E-ELT). Ha resuelto indagar más allá

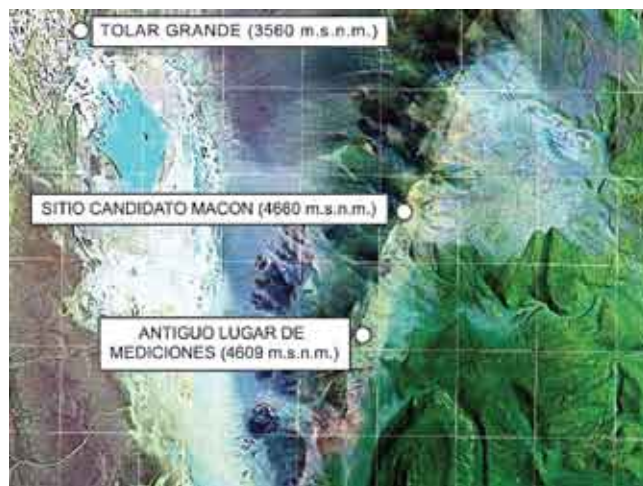


Figura 1. Área escogida como más promisoría para buscar un sitio en el que instalar el Telescopio Europeo Extremadamente Grande (E-ELT), limitada por los paralelos de los 24° y 27° de latitud sur, y los meridianos de los 66° y 68° de longitud oeste.

de los sitios clásicos o de reconocida calidad para la observación astronómica, como Chile y las islas Canarias, y extendido su análisis a lugares potencialmente aptos en Bolivia, la Argentina, Namibia, Uzbekistán y Marruecos.

En 2000, el IATE comenzó la búsqueda analizando imágenes satelitales del noroeste del país para identificar sectores de baja nubosidad. Mediante tal análisis, quedaron descartadas localizaciones al sur del paso cordillerano de San Francisco (entre Catamarca en la Argentina y Copiapó en Chile), situado aproximadamente a 27° de latitud sur, lo mismo que el área ubicada al norte del paralelo de los 24°, en la que se producen grandes lluvias durante el verano austral. De la misma manera, quedó excluido el territorio al oriente del meridiano de los 66° de longitud oeste, pues la nubosidad aumenta dramáticamente, mientras que el límite occidental quedó establecido por los 68° de longitud, más allá del cual se encuentran la alta cordillera y el límite con Chile (figura 1).

Posteriores análisis del área identificada en el párrafo anterior, que incluyeron información geológica relacionada con posibles movimientos sísmicos, así como siete viajes de exploración, llevaron a seleccionar cuatro ubicaciones, entre las cuales luego se eligió una en la que medir en detalle los parámetros meteorológicos y de caracterización astronómica. Se trata del extremo sur del cordón Macón, a 9km de la localidad de Tolar Grande, en la puna salteña, a 4665m sobre el nivel del mar. Su ubicación se aprecia en la figura 2, tomada de Google Earth.

En marzo de 2004 se instaló allí una estación meteorológica, y un año después se comenzó con la toma de datos sobre calidad de imágenes (o *seeing*, en la jerga astronómica, ver Glosario) y sobre turbulencia de la atmósfera. Para ello se emplearon tres instrumentos, dos cámaras DIMM (*differential image motion monitor*) y una cámara MASS (*multi aperture scintillation sensor*). Con la úl

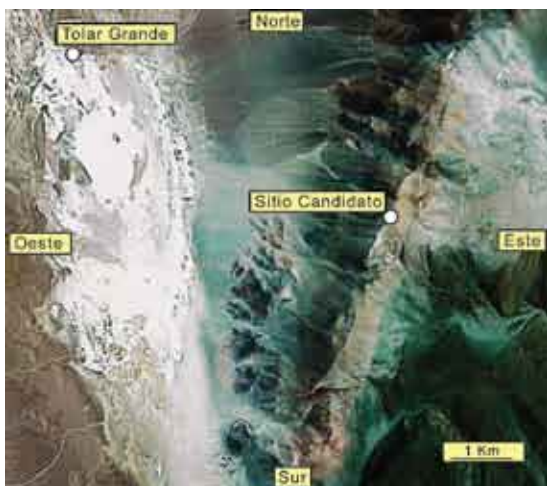


Figura 2. Imagen de Google Earth de la zona del cordón Macón. Están señalados los sitios en que se realizaron las primeras mediciones, el emplazamiento elegido y la localidad de Tolar Grande.

tima se realizaron 132 noches de observación en Tolar Grande; con las primeras, se cumplieron 35 noches de observación en el filo del cordón Macón, a 1000m por encima de la altitud del pueblo. Los buenos resultados obtenidos indujeron a programar la realización de mediciones continuas por un año (ampliable a dos), a ser cumplidas en el punto exacto del emplazamiento propuesto para el gran telescopio, es decir, en el mismo cordón Macón y a unos 3km al norte del lugar de las primeras mediciones. Como el sitio carecía de acceso para vehículos, para llegar a él desde la ruta que une Tolar Grande con San Antonio de los Cobres hubo que construir un camino de 12km de longitud y 600m de desnivel, por una topografía montañosa.

El camino estuvo terminado en diciembre de 2007 e inmediatamente comenzó la instalación de los equipos. En mayo de 2008 se empezó con la toma de datos, con

instrumentos iguales a los empleados en otros posibles sitios, en Chile, Canarias y Marruecos. Será interesante comparar los datos obtenidos en Macón con los del sitio chileno de cerro Ventarrones, que se encuentra a no más de 200km al oeste, casi a la misma latitud, del otro lado de la cordillera de los Andes. Esa comparación de datos registrados con equipos similares permitirá discernir cómo la cadena montañosa afecta las condiciones de observación astronómica.

Los equipos actualmente en uso en el cordón Macón incluyen una cámara MASS-DIMM, construida en el Instituto Astrofísico de Canarias, montada sobre un tubo Celestron de 11 pulgadas, en una montura robótica Astelco, emplazada en una torre de 5m de altura y protegida por un domo de apertura también robótica. Dos estaciones meteorológicas separadas por una distancia de 3km, una cámara de vídeo para el monitoreo a distancia de las instalaciones, un radioenlace con la base de operaciones en Tolar Grande, un sistema fotovoltaico de alimentación de 4,5kVA de potencia y un refugio para albergue del personal completan la dotación (figura 3). Las estadísticas compiladas hasta el momento sobre la calidad de las imágenes astronómicas indican que el sitio tiene muy buenas condiciones para la observación.

El seeing es uno de los parámetros más importantes para caracterizar un sitio destinado a un instrumento astronómico óptico. Nos da una medida de la calidad y resolución de las imágenes que se pueden obtener en el lugar. Se mide en segundos de arco y es mejor cuanto menor es su valor. Los valores de seeing varían desde los 0,3 segundos de arco, como excepcionalmente buenos, en muy pocos sitios, hasta valores por encima de 2 segundos de arco, lo cual ya no se considera aceptable para los modernos telescopios. En Macón más del 50% de los valores de seeing registrados son inferiores a un segundo de arco (0,85 segundos es el valor más probable).

Figura 3. Torre del telescopio, estación meteorológica, refugio y paneles solares (izquierda). Instrumento MASS-DIMM alojado en el domo de la torre (derecha).



Búsqueda del sitio adecuado para un observatorio radioastronómico

Las observaciones astronómicas en la denominada *ventana de radio* (ver Glosario) permiten estudiar objetos y fenómenos celestes que no pueden ser observados en forma adecuada con telescopios ópticos. Las observaciones radioastronómicas llevadas a cabo en la superficie terrestre se encuentran limitadas por la presencia de la *ionosfera*, que impide el paso de radiación cuya frecuencia esté por debajo de los 3MHz (ver Glosario). Por encima de esa frecuencia, la radioastronomía también encuentra limitaciones, impuestas por diversos componentes de la atmósfera. El sitio más adecuado para emplazar un radiotelescopio es el que se ve afectado por las menores limitaciones de esa clase.

Mientras la astronomía óptica observa luz proveniente mayoritariamente de estrellas, las ondas que se captan en la ventana de radio se originan principalmente en material ubicado entre las estrellas, en el llamado espacio o medio interestelar, que se encuentra lleno de gas y polvo sometidos a condiciones físicas particulares. En algunos lugares del *medio interestelar* hay nubes frías y densas que estarían formando nuevas estrellas; en otras zonas, la acción de las estrellas calienta y altera la composición química de ese medio. En una galaxia típica, el medio interestelar posee una fracción importante de la cantidad total de materia presente en ella.

Los cambios de energía que tienen lugar en los átomos, iones o moléculas (genéricamente denominados *especies químicas*) del medio interestelar producen emisiones de radiación electromagnética en frecuencias incluidas en la ventana de radio. Distintas frecuencias específicas son características de las especies que las originan y de las propiedades físicas del medio en que estas se encuentran. Estas observaciones reciben el nombre genérico de *observaciones espectroscópicas*.

Si las regiones del espacio en que se encuentran las especies químicas estudiadas se están moviendo, o si el material incluido en ellas se desplaza, se producen pequeños cambios en las frecuencias emitidas por los átomos o moléculas (llamados *efecto Doppler*, ver Glosario), lo que permite determinar la velocidad con la que se mueve el material. El resultado importante es que, observando las emisiones espectrales, es factible analizar la composición química del medio interestelar; deducir la cantidad de materia presente en él y conocer cómo se está moviendo una región con respecto al observador.

Muchas interacciones entre iones y electrones, y entre estos y campos magnéticos, producen pulsos de energía cuya frecuencia cae en la ventana de radio. La intensidad y la frecuencia de emisión de esos pulsos son variables. La superposición de un gran número de ellos cubre un rango muy amplio de frecuencias y conforma una radiación que recibe el nombre genérico de

radiación de continuo (y cuya observación se denomina *observación de continuo*).

La radiación de continuo puede originarse en una variedad de procesos físicos, por lo que su estudio requiere captar frecuencias muy disímiles. En algunos casos, la emisión puede encontrarse polarizada (ver Glosario), lo que indica la probable presencia de campos magnéticos. El análisis de la radiación de continuo permite deducir tanto las propiedades de la fuente que la origina como las del medio interestelar por el que se propaga.

Las señales astronómicas que se captan en la ventana de radio son generalmente muy débiles para los estándares terrestres. Por ello, las señales de radio artificiales u originadas en la actividad humana, que para la observación radioastronómica tienen el carácter de *interferencias*, constituyen una seria perturbación de esa observación. Si la cantidad general de interferencias aumentase, los estudios radioastronómicos llevados a cabo en observatorios ubicados en la superficie terrestre no tendrían un futuro muy promisorio.

Las interferencias experimentadas por los observatorios radioastronómicos pueden ser de origen local, regional o global. Interferencias locales pueden provenir de maquinaria industrial, de equipos electrónicos defectuosos, de computadoras, de estaciones de telefonía celular, de estaciones de radio que emitan en FM y no se ajusten a las reglamentaciones, etcétera. Las interferencias locales requieren una solución local, por ejemplo, reparar un transmisor defectuoso o establecer una *zona quieta de radio* (ver Glosario) al amparo de legislación vigente.

Una interferencia de origen regional podría provenir de una estación de televisión que opere en una frecuencia cercana a las bandas asignadas al uso astronómico (ver Glosario). Las interferencias de origen global son quizá las más problemáticas para la radioastronomía. Ejemplo de ellas son las emisiones originadas en satélites artificiales individuales o constelaciones de satélites. Contra estas interferencias no existe protección legal alguna y las soluciones tienen que buscarse por el lado de filtrar en forma apropiada sus frecuencias.

Las interferencias más comunes son las de bajas frecuencias. Los radios FM transmiten en la banda de 88 a 108MHz; los canales de televisión de aire, en la de 170 a 220MHz; la telefonía celular móvil opera en frecuencias cercanas a los 980MHz; la constelación de satélites rusos Glonass transmite en una frecuencia cercana a los 1,612GHz; los enlaces punto a punto de internet trabajan en frecuencias cercanas a los 2,4GHz y en diversos canales entre 5 a 6GHz.

Actualmente existen varios miles de satélites artificiales en órbita alrededor de nuestro planeta. Su número se incrementa continuamente y se espera que varias constelaciones de ellos sean lanzadas en los años venideros. Sin duda, ofrecen servicios necesarios para el bienestar general de la humanidad. Pero con cada nuevo satélite que se lanza aparece en el cielo una nueva fuente de interferencias. Los satélites usan principalmente las bandas

de 137 a 144MHz, de 1,5 a 2,5GHz, de 4 a 6GHz; de 11 a 14GHz, de 20 a 30GHz y de 40 a 50GHz. En el futuro, esas bandas se congestionarán y será necesario asignar nuevas para el uso satelital, con lo que los peligros de interferencia de ese origen se incrementarán.

A diferencia de las observaciones ópticas, que deben ser realizadas de noche, las de radio pueden ser efectuadas también de día. Las de baja frecuencia podrían ser llevadas a cabo con un cielo nublado, y aun con lluvia y nieve, aunque deben suspenderse ante tormentas eléctricas o fuertes vientos. La ventaja de poder observar en casi cualquier condición meteorológica se pierde a medida que la frecuencia de las ondas que se desea captar se incrementa, ya que la atmósfera comienza a jugar un papel cada vez más importante.

Las características descriptas deben tenerse en cuenta en la búsqueda de un sitio apropiado para instalar un radioobservatorio. Es necesario llevar a cabo extensas mediciones para identificar fuentes significativas de interferencia. Las condiciones meteorológicas y orográficas tienen su influencia. Un sitio rodeado de montañas se encuentra protegido contra interferencias de frecuencias superiores a los 900MHz, pero frecuencias inferiores no son bloqueadas en forma efectiva por las montañas.

Una vez seleccionado el sitio apto para instalar un radioobservatorio, se deben hacer los mayores esfuerzos para preservar su pureza electromagnética, algo complejo que normalmente requiere la sanción de normas de protección.

Un caso particular: las longitudes de onda milimétricas y submilimétricas del espectro electromagnético

Las bandas de ondas milimétricas y submilimétricas del espectro electromagnético (entre 0,3 y 1mm de longitud) son de especial interés para la astronomía: contienen más de mil líneas espectrales de moléculas interestelares y circumstelares, así como las emisiones del polvo frío del medio interestelar. Son las únicas bandas del espectro que permiten detectar polvo frío y moléculas en lejanas galaxias del temprano universo, así como también en las regiones de formación de protoestrellas en la Vía Láctea. También son las únicas bandas que dan información detallada acerca de los alrededores de estrellas jóvenes, estrellas bipolares, discos protoplanetarios, estrellas tardías con envolturas extensas y enriquecidas de elementos pesados, eyectadas en las últimas etapas de su evolución, etcétera.

Debido al rico potencial de la ventana de ondas milimétricas y submilimétricas, este tipo de astronomía ha llevado a un amplio esfuerzo mundial, con astrónomos de por lo menos dieciséis países empeñados en desarro-

llar nueva tecnología para observar en ese rango espectral. Se trata, en realidad, de una banda muy poco explorada, pues es técnicamente muy difícil de operar en ella dada la opacidad de la atmósfera en esas frecuencias. Requiere, en consecuencia, de complejos instrumentos, de los que al presente operan diecinueve, en América, Asia y Europa. Desde el descubrimiento de las primeras líneas espectrales originadas en moléculas interestelares, realizado en la década de 1970, la astronomía de longitudes de onda milimétricas y submilimétricas se ha convertido en una vigorosa rama de la astronomía observacional, que proporciona datos sobre estrellas jóvenes, envolturas circumstelares y nubes moleculares en galaxias cercanas.

La principal limitación para realizar astronomía milimétrica y submilimétrica es la opacidad de la atmósfera en el rango de frecuencias comprendidas entre 350 y 1000GHz, debido principalmente a la presencia de vapor de agua y oxígeno.

La atmósfera es una mezcla de gases compuesta (hasta aproximadamente los 80km de altura) de nitrógeno (78,09%), oxígeno (20,95%), argón (0,93%), dióxido de carbono (0,03%) y, en menor proporción, otros gases, como el ozono. También contiene vapor de agua. De particular importancia para la propagación de las microondas de interés son el vapor de agua, el oxígeno y el ozono.

Para estimar los efectos de la atmósfera sobre las microondas se requiere establecer las variaciones de la temperatura, la presión y el vapor de agua atmosféricos con la altura. Los valores cambian con la estación del año, el día y la hora (en algunos casos se producen fluctuaciones en el lapso de minutos). La presión atmosférica decrece con la altura en forma aproximadamente exponencial y varía poco de hora en hora.

La concentración de vapor de agua en la alta atmósfera (en la zona llamada troposfera) es altamente variable, especialmente entre los 1,5 y 2,5km de altura. Las variaciones son significativas y están asociadas con las nubes, pues el aire dentro de estas está saturado de humedad y tiene baja humedad fuera de ellas. En cambio, el oxígeno disminuye exponencialmente con la altura, en una escala característica de 5km, y su presencia no varía en forma importante con el tiempo.

La permeabilidad de la atmósfera a las microondas depende de la frecuencia de estas, de la altura sobre el nivel del mar y del contenido de vapor de agua en el aire. Un radiotelescopio colocado cerca del nivel del mar recibirá escasa o nula radiación astronómica de microondas milimétricas o submilimétricas, porque en ese nivel el aire contiene considerable vapor de agua y este absorberá prácticamente la totalidad de esa radiación antes de que alcance el telescopio. En las altas montañas, el contenido de vapor de agua de la atmósfera decrece sustancialmente y el aire permite el paso de las microondas. Por esta razón, los observatorios radioastronómicos que operan en esa región del espectro (igual que los que captan radiación infrarrojo

ja) se emplazan a grandes alturas sobre el nivel del mar, en lugares con la menor humedad atmosférica posible.

El altiplano andino de Salta, Jujuy y Catamarca parece cumplir con estos requisitos. Por ejemplo, en San Antonio de los Cobres, a 3780m sobre el nivel del mar, según datos de 2002 la temperatura media invernal fue de -12°C durante la noche y 16°C durante el día; y de -2°C de noche y 18°C de día en verano. La humedad relativa media en invierno fue del 8%. Existen zonas más áridas a mayor altura, por encima de los 4000m, que requieren ser monitoreadas. De ellas, en Salta, el abra de Chorrillos (4475m), las cercanías de Olacapató (4200m) y las cercanías de Tolar Grande (4000 a 4500m), y en Jujuy, las cercanías de Susques (4200 a 4500m).

El IAR está realizando mediciones de la opacidad atmosférica para radiación de 220GHz con un instrumento denominado Tipper, recibido en préstamo por cinco años de la Universidad Nacional Autónoma de México en 2003. Reacondicionado, con nuevos sistemas de comunicaciones y de protección de rayos, el Tipper fue instalado en Tolar Grande, en las proximidades de una estación meteorológica que opera el IATE, y envía los datos en forma automática, por un enlace radial, a una estación de comunicaciones, en la que ingresan a internet y llegan al IAR (figura 4). Después de cuatro años de actividad del instrumento, esos datos confirman que la zona es excelente para realizar astronomía milimétrica y muy buena para la astronomía submilimétrica.

Conclusión

Estos proyectos han despertado gran interés tanto en los habitantes del lugar como en diferentes esferas del gobierno salteño y en la colectividad astronómica nacio-



Figura 4. Instalación del instrumento Tipper en la cordillera de Macón, a 4610 metros de altura sobre el nivel del mar. Su propósito es medir la permeabilidad de la atmósfera al pasaje de microondas astronómicas de longitudes milimétricas y submilimétricas.

nal. La población y el municipio de Tolar Grande siempre se mostraron dispuestos a ayudar y la comunidad aborigen local autorizó la realización de actividades en el cerro Macón, que considera sagrado. La Asociación Argentina de Astronomía destacó en sus últimas asambleas el interés de los proyectos de búsqueda de sitios para instalar grandes instrumentos astronómicos en el país.

La confirmación de que existen sitios de importante interés astronómico en territorio argentino puede atraer la atención de los grandes consorcios astronómicos de los Estados Unidos y Europa, y conducir a que consideren la instalación de telescopios en el país. Estas traen aparejados beneficios científicos y tecnológicos para la sociedad anfitriona. Su construcción y operación proporcionan oportunidades únicas de familiarizarse con conocimiento y tecnología avanzados, algo que estimula a la ciencia y la ingeniería locales, permite dinamizar el sistema educativo y constituye un incentivo para los sectores empresarios y laborales de las industrias del conocimiento.

LECTURAS SUGERIDAS

COHEN J, SPOELSTRA T, AMBROSINI R y VAN DRIEL W (eds.), 2005, *CRAF Handbook for Radio Astronomy*, European Science Foundation, accesible (febrero 2009) en <http://www.craf.eu/handbook.htm>.



Edmundo Marcelo Arnal

Doctor en Astrofísica, Facultad de Astronomía y Geofísica, Universidad Nacional de La Plata

Director, Instituto Argentino de Radioastronomía.
Investigador Principal, CONICET.
Profesor Titular, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.



Ricardo Morras

Doctor en Astrofísica, Facultad de Astronomía y Geofísica, Universidad Nacional de La Plata

Sub-Director, Instituto Argentino de Radioastronomía.
Investigador independiente, CONICET
Profesor adjunto, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.



Pablo GA Recabarren

Ingeniero Electricista Electrónico, Universidad Nacional de Córdoba.
Profesor titular, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y

Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Investigador principal, CONICET.

Director de Proyecto de SECYT, Universidad Nacional de Córdoba, pablo@oac.uncor.edu



Diego Rodolfo García Lambas

Doctor en Astronomía, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba.

Director del Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE), Universidad Nacional de Córdoba – CONICET

Vice-director del Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba