

## **Proyecto para construir un nuevo instrumento radioastronómico en Argentina**

E.M.Arnal<sup>1,2</sup>, P. Benaglia<sup>1,2</sup>, G.E. Romero<sup>1,2</sup>, R. Morras<sup>1,2</sup>, C.E. Cappa<sup>1,2</sup>, M.C. Martín<sup>1</sup> y J.C. Testori<sup>1</sup>

*(1) Instituto Argentino de Radioastronomía - CONICET*

*(2) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP*

**Resumen.** En este trabajo se describen en forma sucinta los objetivos científicos y las características técnicas de un interferómetro de síntesis de apertura. Dicho instrumento estaría diseñado para trabajar en el rango de frecuencias de 500 MHz a 7000 MHz.

### **1. Introducción General**

La radioastronomía abrió la primera ventana electromagnética fuera del rango óptico, aportando una nueva visión del universo y descubriendo una gran variedad de fenómenos que no eran accesibles a los telescopios convencionales. Entre los descubrimientos realizados con técnicas radioastronómicas cabe mencionar el hallazgo de la radiación de fondo cósmico, la determinación de la distribución y cinemática del hidrógeno neutro en el espacio, la existencia de radiogalaxias, cuasares, pulsares, pulsares de milisegundos, microcuasares, así como el establecimiento de la estructura de la emisión difusa continua de la galaxia.

La Astronomía argentina viene desarrollando estudios radioastronómicos desde hace poco más de cuatro décadas, a partir de la creación del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) en el año 1962. Actualmente el IAR cuenta con dos radiotelescopios de 30 m, operables en las frecuencias de 1.4 a 3.3 GHz, en las modalidades de observación de línea y continuo. La resolución angular [RA] de estos instrumentos es 34' en 1.4 GHz y 12' en 3.3 GHz. Con los mismos se han podido realizar relevamientos importantes del cielo sur, además de contribuir con bases de datos que permitieron llevar adelante numerosos estudios sobre objetos individuales.

Aunque en el Hemisferio Norte existe una gran cantidad y variedad de instrumentos radioastronómicos, éste no es el caso en el Hemisferio Sur. Este aspecto hace atractiva la idea de desarrollar un nuevo instrumento.

Los principales instrumentos, además de los existentes en el IAR, que pueden, total o parcialmente, observar el Cielo Sur a frecuencias inferiores a 10 GHz, son los radiotelescopios de Parkes, el Australia Telescope Compact Array (ATCA), el Long Baseline Array (LBA), el de Tidbinbilla, el Molonglo Observatory Synthesis Telescope (MOST), el Very Large Array (VLA), el Very Long Baseline Array (VLBA), el Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) y el de Haartebeesthoek. La Tabla 1 lista el diámetro y la resolución angular de cada instrumento. En

el caso de que se trate de un interferómetro, al final de las columnas dos y tres se agregan una (I) y el número de antenas (entre paréntesis) que componen el mismo.

Tabla 1 Características Técnicas Principales.

País	Instrumento	Tamaño (m)	Bandas (GHz)	HPBW (')
Australia	Parkes	64	0.44-5.1	30- 4.2
Australia	ATCA (I)	22 (6)	0.322-6.1	1.0-0.5''
Australia	LBA (I)	22-70 (8)	1.4-8.5	$\ll 1''$
Argentina	IAR	30 (2)	1.4-3.3	30-13
India	GMRT (I)	45 (30)	0.05-1.42	1- 2''
Sudáfrica	Haartebeesthoek	26	1.4-1.7	34
Australia	MOST (I)	11.6 $\times$ 778 (2)	0.843	43'' $\times$ 43'' csc $\delta$
EEUU	VLA (I)	25 (27)	0.073-5.0	24'' - 0.4''
EEUU	VLBA (I)	25 (10)	0.312-5.1	$\ll 4''$
Australia	Tidbinbilla	70	1.6 -8.5	8-1.8
Perú	IGP-NOAJ	32	6.7	6.0

## 2. ¿Nueva instrumentación?

Teniendo en cuenta los instrumentos radioastronómicos de observación, existentes o planeados, a nivel mundial, y restringiéndonos a un plano estrictamente científico, para planificar el diseño, construcción y operación de un nuevo instrumento que implique un salto cuantitativo -por las posibilidades que pueda brindar- para los investigadores, se debería:

- Identificar claramente aquellas *áreas* en el campo de la investigación científica en las que un nuevo instrumento podría ser competitivo por resolución angular, sensibilidad y posibles contribuciones científicas.
- Considerar la factibilidad de diseño y de construcción en un lapso razonable, por lo que se debería maximizar el uso del "*know-how*" tecnológico disponible en el país.
- Ubicar el nuevo instrumento en una región geográfica del país en la que la polución electromagnética sea compatible con los niveles de sensibilidad que se pretendan alcanzar.

Los primeros dos aspectos, con fuerte incidencia del segundo, indican que el instrumento debería operar en el rango de las bajas frecuencias (longitudes de onda desde unos pocos centímetros hasta unas pocas decenas de centímetros). El último de los requerimientos hace aconsejable la ubicación del mismo en las proximidades del actual emplazamiento del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), ubicado en la provincia de San Juan.

### 3. ¿Qué hacer?

En el Hemisferio Norte, el *Dominion Radio Astrophysical Observatory* (DRAO) usando un interferómetro ubicado en la dirección Este-Oeste, produjo bases de datos de la emisión de hidrógeno neutro en  $\lambda \sim 21$ -cm, y en el continuo de radio a 408 y 1420 MHz, que han tenido un muy importante impacto en la investigación del medio interestelar (MIE) de nuestra Galaxia. Las antenas que componen el instrumento del DRAO, siete en total, poseen un diámetro de  $\sim 9$  metros y alcanzan una máxima separación de 614 metros. Cabe señalar que el DRAO ha tenido como *competidores* a los mayores interferómetros (eg: VLA, VLBA, GMRT, WSRT, Merlin) y radiotelescopios de disco simple (eg: MPIfR, Jodrell-Bank, Lovell, NRAO, OSO) ubicados en el Hemisferio Norte.

Tabla 2 Características de los relevamientos.

Nombre	Cobertura	HPBW (min.)	Modo	$\Delta V$ (km/s)	Sens.
DRAO	$74.2 \leq l \leq 147.3$ $-3.6 \leq b \leq +5.6$	$\sim 1$	Esp(HI)	0.82	3.0K
DRAO	$74.2 \leq l \leq 147.3$ $-3.6 \leq b \leq +5.6$	$\sim 1$	Con(1.4 GHz)		$\sim 0.3$ mJy/haz
DRAO	$74.2 \leq l \leq 147.3$ $-6.7 \leq b \leq +8.7$	$\sim 3.4$	Con(0.4 GHz)		$\sim 3$ mJy/haz
VLA	$18.0 \leq l \leq 67.0$ $-1.3 \leq b \leq +1.3$	$\sim 1$	Esp(HI)	1.56	2.0K
VLA	$18.0 \leq l \leq 67.0$ $-1.3 \leq b \leq +1.3$	$\sim 1$	Con(1.4GHz)		0.3K
ATCA	$253.0 \leq l \leq 358.0$ $-1.5 \leq b \leq +1.5$	2.2	Esp(HI)	0.8	1.6K
ATCA	$5.0 \leq l \leq 20.0$ $-1.5 \leq b \leq +1.5$	3.3	Esp(HI)	0.8	1.6K
ATCA	$325.5 \leq l \leq 332.5$ $-0.5 \leq b \leq +3.5$	2.2	Con(1.4GHz)		0.25mJy/haz
Parkes	$238.0 \leq l \leq 5.0$ $-5.0 \leq b \leq +5.0$	9.2	Con(2.417GHz)		17mJy/haz
IAR	$\delta \leq -10.0$	30.	Con(1.42GHz)PT		0.05K
IAR	$\delta \leq -10.0$	30.	Con(1.42GHz)Pol		0.012K
IAR	$\delta \leq -25.0$	30.	Esp(HI)	1.2	0.07K
ATCA	Nube Mayor Mag.	$\sim 1$	Esp(HI)	1.65	2.5K
ATCA	Nube Menor Mag.	$\sim 1$	Esp(HI)	1.65	1.4K
Parkes	Nube Menor Mag.	$\sim 8.9$	Con(2.45 GHz)		15mJy/haz
Parkes	Nube Menor Mag.	$\sim 4.4$	Con(4.75 GHz)		8mJy/haz
Parkes	Nube Menor Mag.	$\sim 2.8$	Con(8.55 GHz)		17mJy/haz
Parkes (GASS)	$\delta \leq 0.0$	15.	Esp(HI)	0.8	0.07K

Esp: espectroscopía; Con: continuo

La zona observada por el DRAO y algunas de las características de los relevamientos que se llevaron a cabo con ese instrumento se encuentran listadas en la Tabla 2. En la misma Tabla se suministra información similar para relevamien-

tos realizados por ATCA, IAR, Molonglo, Parkes y VLA.

De una mirada a la Tabla 2 se desprende que aunque todos los instrumentos interferométricos alcanzan resoluciones angulares y en velocidad (a 1.4 GHz) similares y sensibilidades comparables, el ángulo sólido cubierto en el cielo por las observaciones del DRAO (¡los tiempos de observación involucrados también son comparables!) es notablemente superior. Este hecho, como lo han demostrado las numerosas contribuciones científicas realizadas, ha probado ser de gran importancia en el análisis científico de las bases de datos.

Un instrumento similar al DRAO ubicado en el Hemisferio Sur permitiría realizar una importante contribución científica en varias áreas de investigación. El desarrollo de un instrumento de estas características en nuestro país representará un enorme avance científico y tecnológico. El instrumento tendría que poseer una resolución angular y un campo de visión (a 1.4 GHz) de  $\sim 1'$  y  $\sim 2^\circ$ , respectivamente, operar entre el rango de frecuencias bajas (pocos centenares de MHz) hasta frecuencias intermedias (pocos GHz), y debería poseer capacidad espectroscópica y polarimétrica en el continuo de radio. Los principales aspectos técnicos del instrumento se encuentran resumidos en la Tabla 3.

Tabla 3 Características Técnicas Principales.

Item	Valor	Comentarios
Rango de frecuencias	1.0 a 1.8 GHz	Deseable (0.5 GHz- 7.0 GHz)
Cantidad de Antenas	4 a 9	<i>Velocidad</i> del instrumento
Diámetro de las antenas	9 a 13 m	<i>Sensibilidad</i> del instrumento
Montura	Alta-Acimutal	Deseable ecuatorial. <i>Incidencia en Costo</i>
Campo de visión	$1^\circ$ a $2^\circ$	<i>Velocidad</i> del instrumento
Resolución Angular	$\sim 1'$ (500 MHz)	Máxima línea de base
Máxima línea de base	$\sim 4000$ m	
Modos de observación		Continuo, Espectroscopía, Polarización
Sensibilidad (Con)	$\leq 0.4$ mJy/haz	suponiendo Síntesis Completa
Sensibilidad (Esp)	$\leq 1$ K	Resolución en velocidad de $\sim 1$ km/s
Orientación	Este-Oeste	
Cobertura en el cielo	$-90^\circ \leq \delta \leq -20^\circ$	Degeneración del haz
Seguimiento	$\pm 6$ horas en ángulo horario	

*Nota a la Tabla 3:* Una resolución en velocidad de 1 km/s equivale a  $0.0167 \text{ \AA}$ , a  $\lambda \sim 5000 \text{ \AA}$ . Un flujo entre 0.1 y 0.4 mJy equivale a una magnitud aparente K ( $m_K$ ) en el rango  $17^m.0$  (0.1 mJy) a  $15^m.5$  (0.4 mJy).

El instrumento debería ser planificado de manera de lograr un desarrollo modular en el tiempo. La idea de cumplir con este aspecto es que con una configuración mínima, el instrumento pueda ser utilizado para abordar lo mas rápido posible problemas astrofísicos de interés.

Considerando la infraestructura astronómica existente en el país y los resultados de la campaña de monitoreo de interferencias realizadas en el marco del proyecto

SKA, se propone que el nuevo instrumento sea ubicado en las proximidades del actual emplazamiento del Complejo Astronómico El Leoncito.

### Consideraciones adicionales de importancia

Independientemente de las bondades y beneficios que podrían venir de la mano del uso de un nuevo instrumento, *antes* de poder usarlo *hay* que diseñarlo cuidadosamente, encontrar las fuentes de financiamiento y luego construirlo. Esto implica la necesidad de disponer de una masa *crítica* de investigadores, de ingenieros y de técnicos para que el proyecto pueda ser ejecutado.

Siendo un proyecto de instrumentación radioastronómica, aparece como razonable que el personal técnico del IAR juegue un papel de importancia. Al día de la fecha, la masa crítica técnica necesaria no se encuentra disponible en el IAR; ver artículos Arnal 2006 (p. 29) y Sanz 2006 (p. 47) en las Actas del Workshop *Astronomía Observacional en Argentina: Problemas y Perspectivas*, [www.astronomiaargentina.org](http://www.astronomiaargentina.org). Como fuera mencionado en el mismo Workshop, revertir esta situación es factible, pero depende *de una decisión de política científica que debe ser tomada a nivel de las máximas autoridades del sistema científico-tecnológico nacional*. De considerarlo apropiado, la Asamblea de la A.A.A. podría tomar alguna acción al respecto.

## 4. Proyectos Científicos

Recientemente, instrumentos funcionando a bordo de satélites, han detectado a altas energías fuentes no térmicas como microcuasares, pleriones, remanentes de supernova, nubes moleculares en interacciones con rayos cósmicos, blazares, etc. Todas estas fuentes emiten radiación producida por partículas relativistas, que también deberían radiar en el otro extremo del espectro por mecanismo sincrotrón. Por esta razón, estudios de radio con suficiente resolución angular son fundamentales para establecer las propiedades físicas e identificar las características de las poblaciones de partículas responsables de la radiación a altas energías. En los próximos años, entre cientos y miles de nuevas fuentes serán descubiertas por los telescopios gamma de nueva generación.

Un radiotelescopio con resolución del minuto de arco permitirá, entre otras cosas, estudiar la naturaleza de estas fuentes, así como realizar relevamientos del plano galáctico, estudios de polarización para obtener información sobre el campo magnético (orientación y distribución espacial) de diferentes clases de objetos, etc. Asimismo, un nuevo instrumento interferométrico logrará renovar y extender la capacidad instrumental radioastronómica argentina en forma sustancial, ampliando los campos de investigación y potenciando la formación de recursos humanos en áreas tecnológicas. El desarrollo provocará repercusiones directas en las actividades de transferencia de tecnología realizadas por institutos que se involucren en el desarrollo de este nuevo instrumento.

La gran variedad de proyectos científicos que pueden ser encarados con un proyecto de tal versatilidad cubre los campos de interés de la mayor parte de la comunidad astronómica argentina.

La realización de relevamientos multifrecuencia del plano galáctico en el continuo con resoluciones angulares superiores al minuto de arco (por ejemplo a 2.4 y 5 GHz; ver Figuras 1 y 2) y sensibilidades superiores a 0.2 mJy/haz (ver Figura 3) permitiría abordar investigaciones científicas en áreas tales como las siguientes:

- Regiones de formación estelar galácticas
- Regiones HII gigantes (GEHRs)
- Identificación en la banda de radio de la contrapartida de fuentes en altas energías
- Polarización
- Rotación de Faraday
- Remanentes de supernova
- Nubes Mayor y Menor de Magallanes.

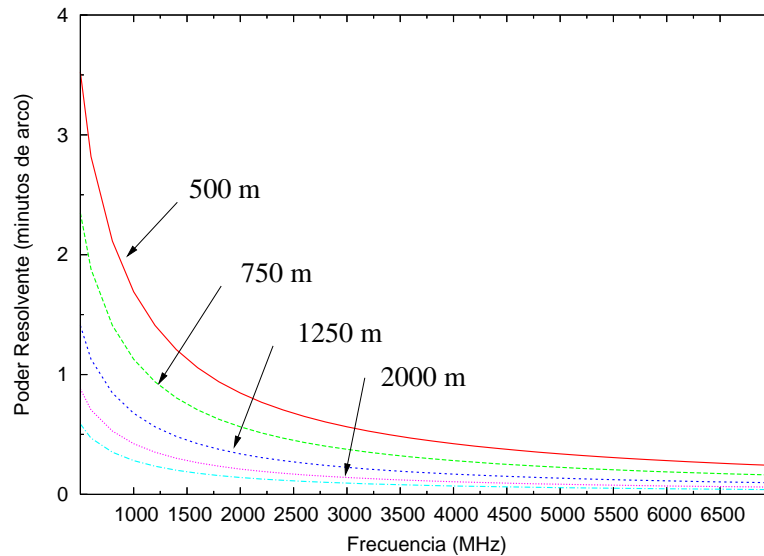


Figura 1. Poder resolvente del interferómetro en función de la frecuencia, para distintas líneas de base máximas.

En el caso de los relevamientos a 2.4 y 5 GHz los denominados “*short spacings*”<sup>1</sup> pueden ser agregados a partir de los relevamientos de 2.4 GHz de Duncan et al.

---

<sup>1</sup>Un interferómetro es insensible a frecuencias espaciales bajas; esto es equivalente a decir que un interferómetro no puede detectar estructuras que son mayores que cierto tamaño angular.

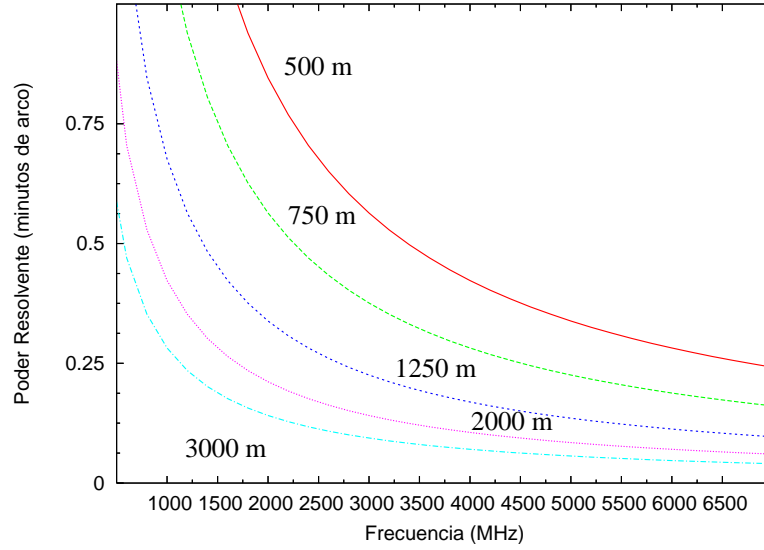


Figura 2. Poder resolvente del interferómetro en función de la frecuencia, para distintas líneas de base máximas.

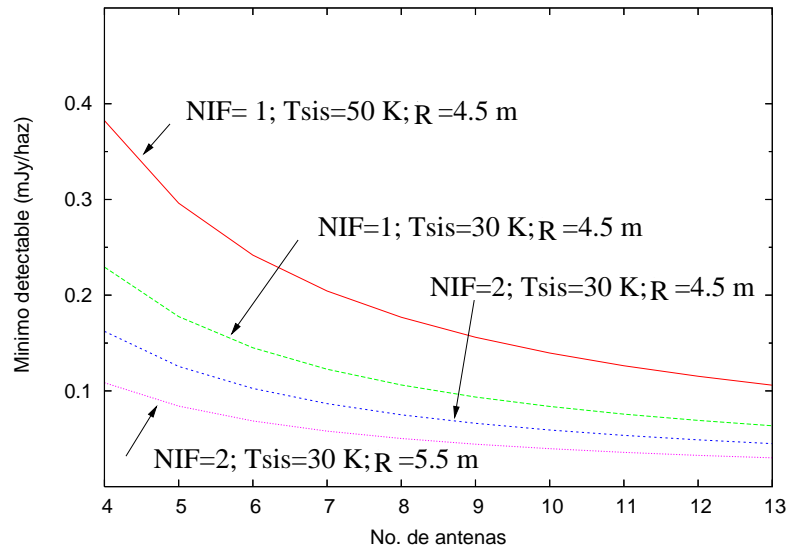


Figura 3. Mínima señal detectable en el continuo de radio en función del número de antenas que componen el interferómetro. En todos los casos el ancho de banda es de 50 MHz (R: radio, NIF: cantidad de frecuencias intermedias).

(1995, MNRAS 277, 36) y del relevamiento de continuo a 5 GHz que se planea realizar con la Antena II del IAR.

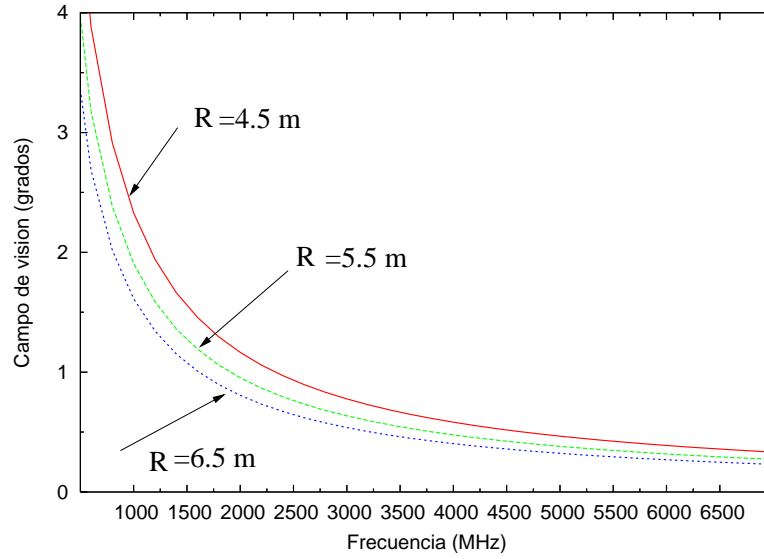


Figura 4. Campo de visión del interferómetro en función de la frecuencia, para distintas dimensiones de las antenas.

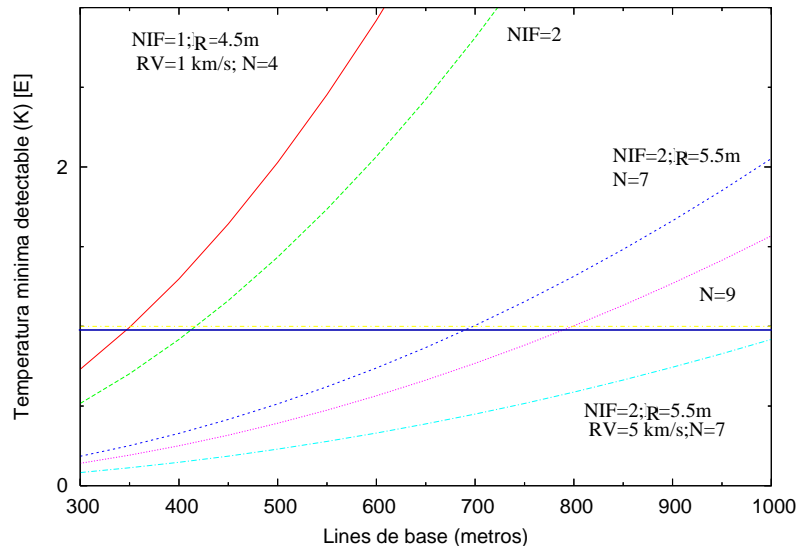


Figura 5. Mínima señal detectable espectroscópicamente en función de la máxima línea de base del interferómetro, para distintos tamaños ( $R$ ) de antenas, diferente número de antenas ( $N$ ), frecuencias intermedias (NIF), y resoluciones en velocidad ( $RV$ ).

La posibilidad de llevar a cabo un relevamiento de HI con campo de visión grande (ver Figura 4), con una temperatura mínima detectable del orden de 1 K, una

resolución máxima en velocidad del orden de 1 km/s, y una resolución espacial del orden de 1', permitirá encarar problemas vinculados a:

- Interacción de estrellas de gran masa (localizadas en cúmulos abiertos y/o asociaciones OB y estrellas relativamente aisladas) con su MIE
- Idem para remanentes de supernova
- Conexión plano-halo galáctico
- Distribución de HI en sistemas extragalácticos
- Distribución de gas atómico en concentraciones moleculares
- Nubes de alta velocidad.

La posibilidad de extender la cobertura en frecuencia hasta alrededor de 7 GHz, permitiría realizar también observaciones sobre:

- Emisión térmica de OH en el cuarteto de líneas de 1612, 1665, 1667 y 1720 MHz
- Emisión máser en las líneas de OH a 1612-1720 MHz; 4750-4765 y 6035 MHz de estados excitados del OH y 6668 MHz del metanol
- Variedad de líneas de recombinación.

## 5. Factibilidad, Recursos Humanos y Transferencia

Además de contar con la colaboración del grupo canadiense que construyó y opera el DRAO, el IAR posee amplia experiencia propia fundamental en desarrollo tecnológico en el área de las radiofrecuencias (radiotelescopios Antena I y Antena II, desarrollos para terceros como radiómetros en 23.8 y 36.5 GHz del Proyecto SAC-D, prototipo de antena, divisores y desfasadores para radar del SAOCOM, etc., ver [www.iar.unlp.edu.ar/ES/transferencia.htm](http://www.iar.unlp.edu.ar/ES/transferencia.htm) y [/desarrollo.htm](http://www.iar.unlp.edu.ar/ES/desarrollo.htm)).

Los primeros desarrollos podrían utilizar la infraestructura preexistente en el IAR.

Se espera que el proyecto produzca una cantidad importante de recursos humanos, ya sea en las áreas tecnológicas (ingenieros, técnicos), como científicas (radioastrónomos), multiplicando los trabajos de diploma y las Tesis de Licenciatura en ambas ramas.

Los requerimientos de desarrollo de instrumental observacional cada vez más complejo derivarán en la formación de un conjunto altamente capacitado de personal técnico, cuyo conocimiento tiene directa transferencia hacia áreas del quehacer tecnológico que no se encuentran directamente vinculadas con la investigación astronómica, y en las que pueden encontrarse una alta tasa de retorno económico (por ejemplo, en el área de desarrollo de partes tecnológicas claves en satélites).