

BUSQUEDA DE SITIO PARA INSTALACIÓN DE FACILIDADES RADIOASTRONÓMICAS EN BANDAS MILIMÉTRICAS Y SUBMILIMÉTRICAS DEL ESPECTRO

Dr. Ricardo Morras

Las bandas de longitudes de onda milimétricas y sub-milimétricas (0.3 – 1.0 mm) del espectro electromagnético, son únicas en astronomía: contienen más de 1.000 (mil) líneas espectrales de moléculas interestelares y circumstelares, como así también emisión en banda ancha originada en emisión del polvo frío del medio interestelar. Por lo tanto, estas son las únicas bandas en el espectro donde podemos detectar polvo frío y moléculas, en regiones tan lejanas como galaxias con altos corrimientos al rojo en sus espectros (redshifts) en el temprano universo, como así también en las regiones de formación de proto-estrellas más cercanas, en la Vía Láctea. También son las únicas bandas que dan información detallada acerca de la cinemática en a) los alrededores de estrellas jóvenes, b) jets bipolares; c) discos proto-planetarios; d) estrellas tardías, con envolturas extensas y enriquecidas de elementos pesados, eyectadas en las últimas etapas de su evolución; e) etc.

Debido al rico potencial de la ventana milimétrica y sub-milimétrica, este tipo de astronomía ha llevado a un amplio esfuerzo a nivel mundial, con al menos 16 naciones desarrollando tecnología de punta en ese rango espectral. La banda sub-milimétrica es, tal vez, la última casi completamente inexplorada banda del espectro debido a que es técnicamente muy difícil de operar, por la complejidad de la instrumentación y la opacidad de la atmósfera en ese rango espectral. Al presente hay 19 telescopios milimétricos y sub-milimétricos operando en sitios tan distantes como América, Asia y Europa. Con los nuevos instrumentos, la astronomía milimétrica pasó a ser, desde el descubrimiento de las primeras líneas espectrales originadas en moléculas interestelares, en los años 70, una poderosa rama de la astronomía observacional, proveyendo estudios detallados de objetos estelares jóvenes, de envolturas circumstelares y nubes moleculares en galaxias cercanas.

Sin embargo, la principal limitación para realizar astronomía sub-milimétrica está relacionada con la absorción de la atmósfera en el rango de frecuencias (para las bandas de interés) comprendidas entre 350 y 1000 GHz, debido principalmente a la atenuación de la señal originada en la presencia de Vapor de Agua y Oxígeno de la atmósfera. Por lo tanto, para mejorar la transmisividad de la misma, se requiere la localización de sitios geográficos donde, por ejemplo, la contribución del Vapor de Agua Precipitable (en particular) sea menor que 1 mm.

Por otra parte, en estos años, los países que realizan grandes inversiones en el área de la astronomía están proyectando los futuros grandes instrumentos para las próximas décadas. Paralelamente, se han asociado a **grupos de investigación que están realizando exhaustivas búsquedas de sitios adecuados para la instalación de los mismos.**

Debido al creciente interés científico de realizar observaciones astronómicas en esas frecuencias y **adquirir esa estratégica tecnología**, astrónomos de nuestro país, junto con colegas de otros países de Sudamérica están intentando unir sus esfuerzos para poder instalar un radiotelescopio que fuese capaz de trabajar en las bandas mencionadas. El instrumento propuesto constaría de una antena de 12 m de diámetro, con una superficie que permita observaciones en la banda sub-milimétrica, y receptores de línea y continuo que cubrirán un amplio rango de frecuencias. Dicho instrumento también puede ser parte de un

interferómetro de larga línea de base, que opere conjuntamente con otros similares recientemente instalados en la Puna de Atacama, Chile (Proyecto APEX)

Con vistas a ese objetivo final, la fase inicial de ese ambicioso proyecto está relacionada con la una serie de campañas de *búsqueda de sitio adecuado*, que cumpla con una serie de especificaciones que el proyecto requiere.

RELEVANCIA DEL PROBLEMA

La atmósfera afecta la amplitud, fase y dirección de la propagación de las microondas. Los efectos de propagación son causados por gases atmosféricos y el vapor de agua. Cada uno de los efectos puede estar relacionado a la distribución de parámetros meteorológicos tales como: a) temperatura; b) presión; c) humedad relativa; d) agua contenida en nubes, lluvia, nieve; etc.

Sabemos que la atmósfera es una mezcla de gases con las siguientes abundancias: a) Nitrógeno (78,09 %); b) Oxígeno (20,95 %); c) Argón (0,93 %); d) Monóxido de Carbono (0,03 %) y también otros gases en menor proporción. Estas abundancias son válidas para altitudes menores que 80 Km. De particular importancia para la propagación de microondas son el Vapor de Agua, el Oxígeno y el Ozono.

Debajo de los 80 Km, la concentración relativa se mantiene fija, mezclada por turbulencia y, arriba de los 80 Km (debido a efectos de dilución) comienza a cambiar la concentración relativa de los gases. Arriba de 80 Km afectan la propagación a frecuencias menores que 1 GHz, pero no afectan la propagación en el rango de microondas.

Para estimar los efectos de la atmósfera sobre las microondas, se requieren perfiles de Temperatura, Presión y Vapor de Agua con la altura, medidos en el lugar requerido. Las propiedades de todos los parámetros cambian con la estación del año, con el día y con la hora. Inclusive, en algunos casos, hay fluctuaciones del orden de los minutos. En el caso de la presión atmosférica, ésta decrece con la altura en forma aproximadamente exponencial y varía poco de hora en hora, según muestran sondeos hechos con la misma masa de aire.

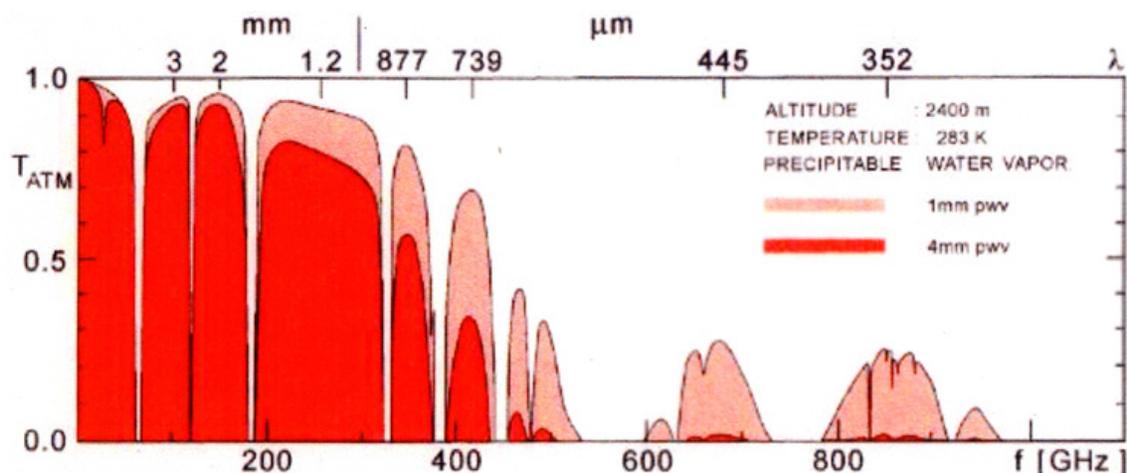
La concentración de Vapor de Agua en la alta troposfera es altamente variable, especialmente dentro de los 1,5-2,5 Km. de altura. Las variaciones son significantes y ocurren a pequeña y gran escala, asociadas a nubes y grupos de nubes. El aire dentro de las nubes está saturado y fuera de ellas se observan valores bajos de humedad. En cambio, el Oxígeno está exponencialmente distribuido en la atmósfera con una escala de altura de 5 Km y no varía en forma significante con el tiempo.

La transmisividad de la atmósfera Γ es una función de la frecuencia (ν), la altura (h), la columna de Vapor de Agua (W) y la masa de aire (A), y esta dada por una función de la forma:

$$\Gamma(\nu, h, W, A) = \exp [-\tau(\nu, h, W) \cdot A] \quad \text{donde } A = \sec(z) \text{ y } z \text{ es la distancia zenital.}$$

A bajas elevaciones se encuentra la mayoría del Vapor de Agua que absorbe la casi totalidad de los fotones sub-milimétricos, antes que alcancen el telescopio. Sin embargo, a altas elevaciones el contenido de Vapor de Agua decrece sustancialmente. Minimizando este contenido, la transparencia de la atmósfera mejora y hace posible la observación astronómica. Por esta razón, los observatorios infrarrojos y sub-milimétricos son construidos a grandes alturas.

La figura siguiente muestra un perfil de la transmisión de la atmósfera, para una temperatura de 283 K, una altitud de 2400 metros y valores de 1 y 4 mm de contenido de Vapor de Agua.



4 mm de Vapor de Agua es, en los hechos, casi completamente seco; sin embargo, la atmósfera bloqueará el 98 % de la radiación a 0.3 mm (800 GHz). En un sitio aún mejor, con un contenido de Vapor de Agua de 1 mm, la atmósfera solo bloqueará el 25 % de la radiación a la misma frecuencia. A frecuencias mas bajas, 200 GHz y menores, o sea en el rango milimétrico, podemos realizar observaciones bajo condiciones donde las observaciones sub-milimétricas serían imposibles.

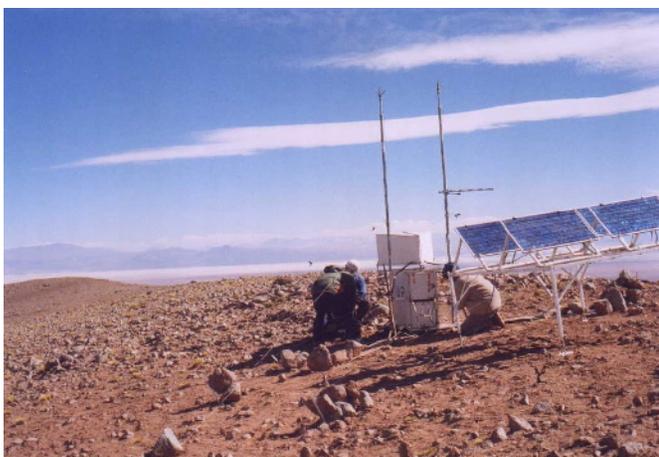
De todo ello se desprende que la astronomía sub-milimétrica solo será posible de realizar en regiones donde el contenido de Vapor de Agua precipitable sea, al menos, inferior a 1 mm. Estas regiones solo son posibles de encontrar en áreas extremadamente secas y por encima de los 2.500 – 3.000 m de altura. Las regiones del altiplano andino parecerían cumplir con esos requisitos. Por ejemplo, para la región de San Antonio de los Cobres (Prov. De Salta), a 3.780 m de altura y según datos meteorológicos provistos por Gendarmería Nacional, la temperatura media invernal es de -12° durante la noche y 16° durante el día; y de -2° en la noche y 18° para los meses de verano; la humedad media (en invierno) es de 8%; el promedio anual de precipitaciones es de 5%. Todos estos datos son válidos para el año 2.002.

Existen regiones más áridas y a mayor altura que la mencionada, por encima de los 4.000 m, que requieren ser monitoreadas. Se considerarán aptas para la instalación de futuros emprendimientos radioastronómicos aquellas zonas que muestren opacidades atmosféricas en 220 GHz por lo menos del orden a aquellas que se obtuvieron en la región de Atacama (Chile), donde se están instalando grandes telescopios sub-milimétricos. De encontrarse en nuestro país sitios con esas características de transparencia atmosférica, las mismas no solo serán aptas para la instalación de instrumentos de los denominados de “disco simple”, sino también que los mismos podrán ser utilizados para realizar

observaciones interferométricas con instrumentos similares en Atacama. Para la selección del sitio se deberán también tener en cuenta otros aspectos tales como: a) actividad sísmica de la zona; b) conocimiento sobre la actividad eólica (velocidad de los vientos); c) importancia y frecuencia de las denominadas “megatormentas”; d) infraestructura existente en las cercanías (camino, energía eléctrica, comunicaciones, etc).

Entre los sitios de potencial interés, pueden mencionarse las zonas de Abra de Chorrillos (4.475 m), cercanías de Olacapato (con sitios cercanos a los 4.200 m) y regiones cercanas a Tolar Grande (4.000 - 4.500 m), todas ellas en la Provincia de Salta parecen ser las más promisorias. A tales fines, se iniciaron, en el año 2004, campañas de monitoreo de la opacidad atmosférica en un punto de la cordillera de Macón, cercano a la localidad de Tolar Grande (Puna, salteña), a 4610 metros de altura.

Para realizar las mediciones, se está utilizando un instrumento destinado a medir la opacidad atmosférica en 220 GHz, denominado “TIPPER”, que ingresó al país a comienzos del año 2003. Este fue cedido, en calidad de préstamo y por el término de cinco (5) años, por el Departamento de Astronomía de la Universidad Autónoma de México (UNAM). El instrumento fue reacondicionado, se le agregaron nuevos sistemas de comunicaciones y de protección de rayos. Desde el sitio donde fue instalado, el TIPPER opera en forma completamente autónoma: la información obtenida es enviada por medio de un enlace radial una estación de comunicaciones en Tolar Grande y, vía Internet, al Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR). Próximo al medidor de opacidad, opera también una estación meteorológica automática para monitorear la temperatura, humedad, presión, velocidad y dirección del viento y un pluviómetro, perteneciente al IATE (CONICET-Córdoba).



Los resultados obtenidos después de cuatro (4) años de actividad del instrumento confirman que la zona es un sitio excelente para realizar astronomía milimétrica con valores de opacidad menores a 0.2 durante el 80 % del tiempo. También es un muy buen sitio para astronomía sub-milimétrica con opacidades menores a 0.1 durante el 40 % del tiempo

La confirmación de la existencia de sitios de gran interés astronómico en el país puede calificarlo también para que grandes consorcios astronómicos (AURA-USA, ESO-comunidad Europea, etc) instalen

grandes instrumentos en el país. Cabe señalar que este tipo de instalaciones trae aparejado grandes beneficios económicos, científicos y tecnológicos para el país anfitrión. A título de ejemplo se puede mencionar el modelo chileno, sede mundial de los mayores telescopios en operación en la actualidad, que percibirá por solo uno de ellos la cantidad de U\$S 700.000 anuales para facilitar el terreno para la instalación del complejo radioastronómico ALMA en las alturas de Atacama. Estos fondos se utilizarán en Chile para financiar proyectos locales y regionales y desarrollo científico a nivel nacional. De más está decir que tanto la construcción, como la operación, de este tipo de instrumentos constituyen una fuente de empleo de gran importancia para el país anfitrión. Igualmente importante es el desarrollo tecnológico que trae aparejado este tipo de proyectos: Astronomía y Tecnología han estado siempre ligadas. Las demandas de innovaciones requeridas por este tipo de instrumentos, tanto en tecnología como en “*software*”, son un desafío para la ingeniería, induciendo desarrollos que luego son transferidos al mercado.