

INTERFERENCIA EN OBSERVACIONES RADIOASTRONOMICAS ¹

Liliana Chacón^a, Sergio Torres^{a,b}

^a*Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia*
y ^b*Centro Internacional de Física*

Resumen. Para poder extraer información astronómica de datos tomados por un radio telescopio es necesario hacer que estos estén libres de interferencia. Se explora un método estadístico para la detección de interferencia de baja intensidad. Se establece un criterio para detectar el nivel mínimo de potencia RFI en antena a partir del cual la interferencia comienza a contaminar los datos.

INTRODUCCION

Un estudio sobre las posibilidades de llevar a cabo observaciones radio astronómicas en Colombia señala el gran potencial que tendría dicho programa (Hoeneissen et al. 1992). La posición ecuatorial estratégica de Colombia, la existencia de microclimas y la presencia de picos superiores a los 3.000 mt, abren una ventana de posibilidades con gran potencial científico. Observaciones de la emisión difusa de radio de la Galaxia en particular (ver artículo de Umaña

¹*De la Astronomía a la Cosmología: estudios y resultados recientes*, Primera Escuela Nacional de Astrofísica, Ed. S. Torres, Bogotá, Nov 28 -1 Dic. 1994

Y Torres en estas memorias) se benefician grandemente de los atributos geográficos mencionados. Dada la posibilidad de realizar estas mediciones dentro del proyecto GEM (colaboración internacional Brasil, Colombia, Italia, Estados Unidos (De Amici et al. 1994)) se ha emprendido un estudio de los efectos producidos por la interferencia de radio existente en casi todos los lugares del planeta. La temperatura de antena debida a la señal galáctica es de pocos cientos de mili Kelvin (mK) lo cual hace necesario el uso de radiómetros muy sensibles. Fuentes de interferencia de intensidad muy alta, por lo tanto, serán evidentes a primera vista como excursiones de la señal a niveles muy superiores a lo esperado por fluctuaciones de ruido, o a la señal galáctica, y se desechan. El problema que aquí se plantea está relacionado con fuentes de interferencia de radio (RFI) que no sean ‘evidentes’ en la forma de la señal con el tiempo, pero que si puedan generar un efecto sistemático en los datos después de varias horas de observación.

SIMULACION DE MONTE CARLO

Para poder evaluar los efectos de interferencia de radio en observaciones con un radio telescopio se ha diseñado un programa que genera datos artificiales y con parámetros controlados por el usuario. De esta forma se generan datos que tienen en cuenta todos los factores experimentales y así se asemejan a los medidos por un radio telescopio real.

La señal recogida por un radio telescopio T_s es la suma de tres contribuciones:

$$T_s = T_g + T_r + T_i \quad (1)$$

donde T_g es la señal proveniente de la esfera celeste (galaxia, objetos extragalácticos, planetas, Sol, etc) que se interesa medir, T_r es el ruido inherente al radiómetro y T_i es la interferencia producida por fuentes cercanas a la antena. En la simulación cada una de estas contribuciones se modela y se ajustan sus parámetros para medir el efecto en la señal.

El simulador tiene en cuenta el movimiento azimutal de la antena y el movimiento de rotación de la tierra. La antena se coloca en un punto dado sobre la Tierra y se inclina 30° con respecto al zenit. Durante el periodo de integración de los datos la señal vista por el haz de la antena se acopla a los amplificadores, filtros y al diodo detector que forman el radiómetro. La señal detectada es integrada durante 0.56 s y convertida de análogo a digital. Para cada observación se calculan las contribuciones a T_s teniendo en cuenta la dirección del haz de la antena en ese instante.

Para modelar la galaxia se usan los datos de Haslam et al. (1982) a 408 MHz previamente suavizados con una gaussiana con ancho, σ , igual a la apertura angular de GEM a esa longitud de onda ($\sim 10^\circ$). El mapa ‘modelo’ de la Galaxia se pixeliza usando pixels de $\sim 3^\circ$ siguiendo el esquema usado por COBE (Torres et al. 1989).

El ruido intrínseco del radiómetro se simula superponiendo a la señal para cada medición un número aleatorio extraído de una distribución gaussiana de media nula y desviación estándar igual a la sensibilidad del radiómetro:

$$\Delta T_{min} = \frac{T_{sys}}{(B\tau)^{1/2}}. \quad (2)$$

Para la temperatura de ruido del sistema T_{sys} , el ancho de banda B y el tiempo de integración de la señal τ se usan los datos derivados de GEM directamente: 300 mK, 28 MHz y 0.56 segundos. De estos resulta una sensibilidad de 75.76 mK. Es posible que debido a los cambios de temperatura del sistema, la ganancia del receptor sufra cambios que aparecen como un ‘baseline’ superpuesto al valor DC de la señal. Aunque este efecto se puede incluir fácilmente en las simulaciones, se trabaja bajo el supuesto que la señal ha sido corregida por corrimientos de ‘baseline’.

Para simular la presencia de fuentes de interferencia se supone una fuente puntual. En general cuando una fuente es observada con una antena que tiene patrón de potencia $P(\theta, \phi)$, la potencia por unidad de ancho de banda (potencia espectral) observada está

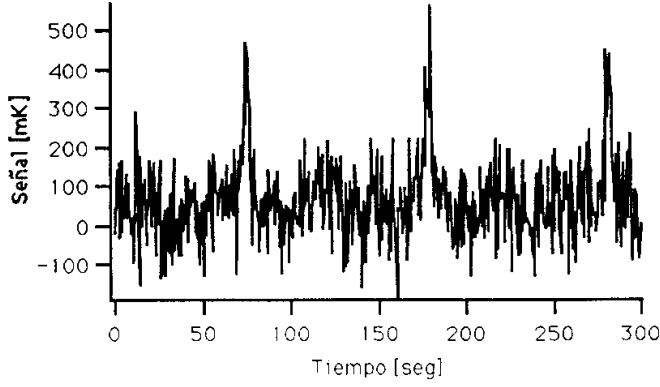


Figure 1: Señal simulada de radiómetro incluyendo los efectos de ruido instrumental, galaxia y fuentes de RFI de baja intensidad

dada por (Kraus 1986):

$$\frac{dW}{d\nu} = \frac{1}{2} A_e \int B(\theta, \phi) P(\theta, \phi) d\Omega \quad (3)$$

donde A_e es la apertura efectiva de la antena y $B(\theta, \phi)$ es el brillo de la fuente ($\text{watts m}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \text{ rad}^{-2}$). El patrón de antena es aproximado por una gaussiana con ancho $\sigma = 10^\circ$. Para una fuente de interferencia puntual, el brillo esta dado por una función delta de Dirac, normalizada de tal forma que la potencia vista en el eje de simetría de la fuente $\theta = 0^\circ$ se reduzca a la aproximación para $\Omega_s \ll \Omega_A$, donde Ω_s es el ángulo sólido de la fuente vista desde la antena y Ω_A es el ángulo sólido del patrón de antena. El resultado final para la temperatura de antena es:

$$T_A(\theta) = \frac{T_s}{4\pi r^2} \left(\frac{\Omega_s}{\Omega_A} \right) \frac{A_e}{2} \exp\left(\frac{-\theta^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

donde la potencia y la temperatura de antena en la fuente están relacionadas por $P_s = kT_s \Delta\nu$. En la Fig. 1 se ilustra el resultado de la señal en el tiempo obtenida para cada una de las componentes.

METODO PARA DETECTAR RFI

Se buscan sólo fuentes de RFI de intensidad baja, ya que las de intensidad alta son desechadas cuando se están tomando los datos. El método consiste en establecer un corte en temperatura a partir del cual cualquier dato que supere dicho umbral es rotulado como ‘interferencia’. Evidentemente existirá un nivel de corte que comienza a confundir la señal que queremos observar con interferencia. Por esta razón es necesario estudiar las distribuciones estadísticas de la temperatura esperada en mapas que sólo contienen la señal galáctica y el ruido intrínseco de radiómetro. En un mapa de la señal construido en un sistema de coordenadas fijo a la base de la antena, la señal de RFI debe aparecer después de un tiempo largo de integración como una región caliente. El corte que se pueda establecer a partir de las distribuciones de temperatura efectivamente lo que hace es desechar todos los datos que caen en esa región. En las figuras 2 y 3 se presentan las distribuciones estadísticas de la temperatura de los datos resultantes del simulador con y sin RFI. Es evidente de la figura 3 la cola larga en la distribución debida a la interferencia.

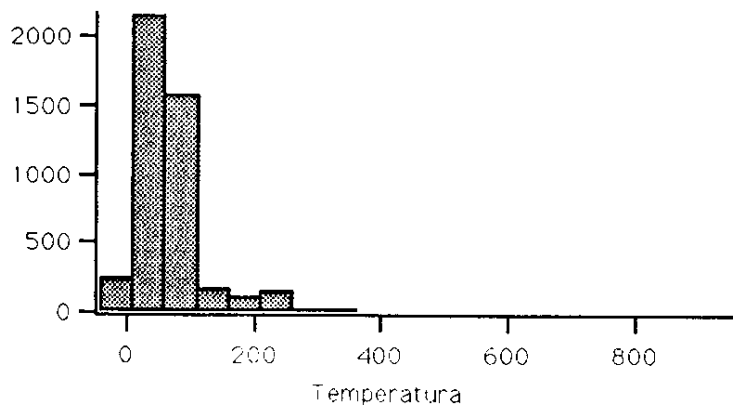


Figure 2: Distribución de temperatura para un mapa sin señal de interferencia

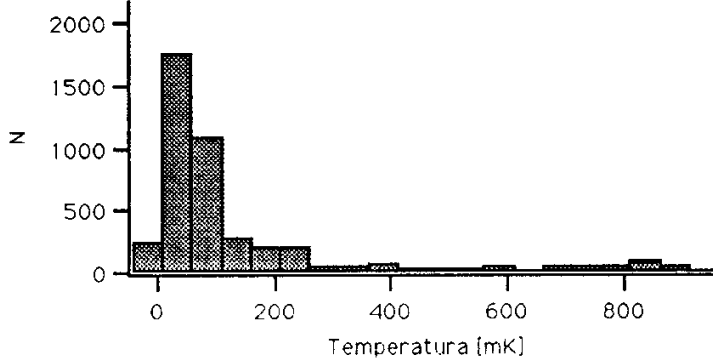


Figure 3: Distribución de temperatura para un mapa con señal de interferencia

DESARROLLO Y RESULTADOS

Por construcción, la distribución de la temperatura en un mapa generado únicamente con ruido del radiómetro es gaussiana. En este caso un corte a 3σ eliminaría 0.27% de los datos. Un análisis de la distribución de temperatura cuando la señal de la Galaxia se incluye en las simulaciones demuestra que su desviación estándar es muy similar a la de los mapas con solo ruido. Se hizo la aproximación de tomar la distribución conjunta (ruido + Galaxia) como una gaussiana y por lo tanto cumple las condiciones anteriores. Se investigó para qué valores de potencia de antena se comienza a notar desviaciones mayores a $3\sigma_0$ en las distribuciones de temperatura de los mapas reconstruidos. El parámetro σ_0 denota la desviación estándar obtenida en mapas con sólo ruido instrumental y señal galáctica. Controlando el parámetro de potencia de transmisión de la fuente de RFI, $P_s = kT_s\Omega_s/r^2$ (k es la constante de Boltzmann), se pudo establecer el aumento en la varianza de la señal generado por la presencia de RFI como función de P_s :

$$\sigma = P_s / (1.357 \times 10^{-16} \text{ watt Hz}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ rad}^2) \quad (5)$$

Claramente para valores de P_s que produzcan una distribución con un $\sigma < 3\sigma_0$ 286 mK la señal debida a la fuente de interferencia

se confunde totalmente con la señal ‘real’. Esto ocurre a partir de un valor $P_s = 3.8 \times 10^{-16}$ watt Hz⁻¹ m⁻² rad² para el cual la contribución de RFI al mapa es visible y se puede cortar. Este resultado significa para el caso específico de un radio telescopio con las características de GEM, y para una inclinación de 30°, que el valor umbral de potencia espectral de transmisión a partir del cual comienza a afectar las observaciones astronómicas es de 3.8 watts Hz⁻¹ para una fuente de RFI a 10 Km de distancia del receptor. Los valores encontrados a partir de la simulación están resumidos en la tabla 1.

Table 1: Desviación estándar de la señal simulada, σ_s , para diferentes valores de potencia de antena P_s (en unidades de 10^{-16} watt Hz⁻¹ m⁻² rad²)

Fuente	P_s	σ_s [mK]
Galaxia		62.96
Ruido		74.03
Galaxia + ruido (= σ_0)		94.96
galaxia + ruido + RFI	0.138	94.90
galaxia + ruido + RFI	3.795	286.14
galaxia + ruido + RFI	7.866	572.89

REFERENCIAS

- De Amici, G., et al. 1994, *Astrophys. Space Science*, 214, 151
- Haslam, C.G.T, Salter C.J, Stoffel H., and Wilson W. E. *Astr. Astroph. Suppl. Ser.*, 47,1 1982.
- Hoeneissen, B., Torres S., Violini G. 1992, *Nuclear Physics. B.* (proc suppl.) 28B, 191
- Kraus, J. D. 1986, *RadioAstronomy*, (Ohio: Cygnus-Quasar Books)
- Torres, et al. 1989 in *Data Analysis in Astronomy*, III, ed. V. di Gesu, L. Scarsi, & M. Macarone (New York: Plenum), 319