



LA BÚSQUEDA DE INTELIGENCIA EXTRATERRESTRE: S.E.T.I.

Marc Caballero Gómez

Estudiante de la ETSETB y Miembro de la Rama de Estudiantes del IEEE Barcelona
mave25@casal.upc.es

INTRODUCCIÓN

Actualmente la humanidad se encuentra en un momento de su evolución que podríamos definir como la adolescencia tecnológica; en ella los avances tecnológicos se suceden con una celeridad asombrosa que nos sorprende con nuevos descubrimientos y aplicaciones a diario y nos conducen hacia una madurez todavía inimaginable y que, según parece, tardaremos aún bastante en alcanzar. Aunque estos avances permiten satisfacer muchos de nuestros deseos y necesidades, la humanidad aún posee muchas inquietudes y deficiencias por resolver; una de esas inquietudes, aunque algunos no quieran admitirla, es la de conocer si estamos solos en la inmensidad del universo. Parece lógico considerar que con toda la tecnología de que disponemos y los avances que la favorecen, nos dediquemos a intentar conocer mejor el universo que nos rodea, un universo tan inmenso y antiguo que nuestra existencia individual ni siquiera sería tan relevante como la de una chispa, un universo que contiene aún tantos secretos y sorpresas que resulta el campo de trabajo perfecto para el enorme afán de investigación que caracteriza la comunidad científica actual. Una de las líneas de investigación se basa en considerar la posibilidad de que en algún confín adecuado del universo se haya podido desarrollar algún tipo de forma de vida; no creo que sea una idea muy descabellada, consideren sino una frase que escuché una vez y que afirmaba que «si estamos solos en el universo, vaya desperdicio de espacio».

Este tema aún parece un tabú en algunos círculos científicos pero, poco a poco, se está convirtiendo en un referente a considerar y en una base sólida para la evolución de ciertas ramas tecnológicas con aplicación en ciencias tan respetables como la astronomía. Esta especie de aversión que aún produce esta línea de investigación se debe básicamente al hecho que fácilmente se tiende a relacionarla con la búsqueda de *hombrecillos verdes*, *platillos volantes* y el platónico deseo de provocar un encuentro en la tercera fase; nada más lejos de la realidad. Lo cierto es que en los últimos años hemos alcanzado un nivel tecnológico suficientemente importante como para plantearnos la posibilidad de buscar señales de la posible existencia de civilizaciones más o menos avanzadas en los remotos confines del universo; simplemente se trata de rastrear el espacio exterior en busca de sistemas estelares cuya composición hubiese permitido la generación de los procesos físicos y químicos necesarios para la existencia

de vida, tal y como sucedió en nuestro sistema solar; una búsqueda que, además, contribuyè plenamente en avances astronómicos sobre la caracterización del universo. También se procede, mediante el uso de radiotelescopios y otros sistemas de radiodetección extremadamente sensibles, intentando captar del espacio señales de radio cuya procedencia no pueda ser relacionada con fenómenos naturales o con señales de procedencia terrestre; la captación e identificación de estas señales indicaría la existencia de civilizaciones suficientemente avanzadas como para utilizar las comunicaciones vía radio, sin que esto signifique que sean más avanzadas que la nuestra pues debemos tener en cuenta que la banda de radio ocupa una gran parte del espectro electromagnético y podría haber sido descubierta por cualquier civilización más o menos avanzada tal y como hicimos nosotros. Creo, pues, que queda claro que la búsqueda de inteligencia extraterrestre se aleja claramente de la idea de una inminente invasión de *terroríficos hombrecillos verdes* procedentes de «Raticulín», es sólo un tópico que espero que el tiempo acabe de eliminar y así no resulte una mancha negra en el expediente de espléndidos científicos.

Siguiendo esta línea de investigación debemos, primero, ser conscientes de las pocas probabilidades de éxito que tenemos, para ello nada mejor que referirse a la fórmula que propuso Frank Drake para estimar el número de civilizaciones extraterrestres que pueden existir en la galaxia:

$$N = R \cdot f \cdot n \cdot l \cdot i \cdot c \cdot L$$

N = Número de civilizaciones tecnológicamente evolucionadas en la galaxia.

R = Número medio de estrellas presentes en la galaxia.

f = Fracción de estas estrellas que pueden tener un sistema planetario.

n = Número de planetas en el interior de estos sistemas que podrían permitir la evolución de la vida.

l = Número de planetas donde actualmente se desarrolla vida.

i = Número de planetas donde la vida es inteligente.

c = Número de planetas en los que se han desarrollado tecnologías aptas para la comunicación.

L = Vida media de tales civilizaciones.

A tenor de esta expresión resulta realmente difícil considerar la posibilidad de hallar alguna, pero los últimos avances en astronomía han favorecido el descubrimiento de planetas orbitando alrededor de lejanas estrellas e incluso de un sistema planetario. Hasta hace poco la existencia de planetas extrasolares era sólo una creencia

pero en los últimos cinco años se han descubierto un total de veinte planetas fuera de nuestro sistema solar, sobre todo gracias a la labor del astrónomo estadounidense Geoffrey Marcy que halló catorce de ellos. Todos estos hallazgos hacen, pues, aumentar las posibilidades y, por tanto, suponen una gran fuente de motivación para los incansables investigadores del SETI. No es para lanzar las campanas al vuelo porque resulta que dieciocho de ellos son de tipo gaseoso y, por tanto, un poco inhóspitos como para albergar vida, al menos vida similar a la que conocemos, mientras que sobre los otros dos, aún siendo de tipo terrestre, no tenemos suficientes datos científicos como para extraer conclusiones; aún así estos descubrimientos resultan un gran avance y un preludio de lo que puede suceder en los próximos años.

Respecto a la identificación de señales de radio procedentes de otras civilizaciones los resultados no son nada gratificantes hasta ahora pero, en parte, es lógico debido a la gran dificultad que supone. Pensemos en lo amplio que resulta el estudio del espectro electromagnético y en que debemos analizarlo para cada una de las estrellas o sistemas que creamos que puedan ser propensos a albergar civilizaciones. Para hacernos una idea de lo que esto significa consideremos el caso particular de nuestra galaxia, la Vía Láctea, en ella debe haber, aproximadamente, unos 250.000 millones de estrellas y, según otro astrónomo, Carl Sagan, alrededor de un millón de ellas poseerían civilizaciones con cierto grado de tecnología; esto significa que menos de una estrella entre 250.000 tendría un planeta o sistema planetario con vida inteligente. Así pues, primero debemos identificar ese "reducido" número de estrellas candidatas y después, realizar el completo análisis de su espectro. Notemos, pues, el enorme esfuerzo que se requiere, pero es que aún así debemos considerar la posibilidad de que esas civilizaciones utilicen sistemas de comunicación totalmente desconocidos para nosotros y que, por tanto, aún buscando en la estrella adecuada, nunca reconozcamos señal alguna que indique la presencia de una civilización, en este caso, más avanzada que la nuestra.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El hecho de analizar el espectro de radio se debe a la suposición que si una civilización avanzada decidiese comunicarse con una menos avanzada la radio es el método más obvio para hacerlo, además, es la mejor técnica de larga distancia que posee nuestra tecnología.

El primer intento serio de escuchar señales de radio procedentes de otras civilizaciones se remonta al año 1959 en el que Frank Drake organizó el proyecto Ozma*; desde las instalaciones del "National Radio Astronomy Observatory" (NRAO) en Green Bank se observaron dos estrellas cercanas, Epsilon Eridani y Tau Ceti, durante algunas semanas; no se obtuvieron resultados favorables pero podemos considerarlo como el inicio del SETI.

Tras esto, a principios de 1970, la omnipresente "National Aeronautics & Space Administration" (NASA) se planteó la posibilidad de iniciar un ambicioso proyecto; desde el "NASA's Ames Research Center" (ARC) en Mountain View se realizó un estudio, conocido como "Project Cyclops" y dirigido por Bernard Oliver, sobre la viabilidad del proyecto; lo realizaron un grupo de científicos del "Massachusetts Institute of Technology" (MIT), encabezados por Phillip Morrison, que aprobaron la idea y cuyo informe determinó un análisis sobre la ciencia SETI y sobre los requerimientos tecnológicos que constituyeron la base para trabajos posteriores.

A modo de estudio preliminar, a finales de los 70 los programas SETI se habían establecido en el "Jet Propulsion Laboratory" (JPL) en Pasadena, California, y en el NASA's ARC; ambos programas adoptarían una estrategia común para realizar un SETI a gran escala, Ames examinaría 1.000 estrellas similares al sol mediante una búsqueda selectiva y con capacidad para detectar señales débiles y esporádicas; por su parte, el JPL barrería sistemáticamente todas las direcciones. No fue hasta 1988 cuando después de más de una década de estudios y diseños preliminares, la dirección de la NASA adoptó formalmente esta estrategia y fundó el programa oficial que iniciaría las observaciones cuatro años después. Todo parecía propicio para el comienzo del ambicioso proyecto, incluso la fecha de inicio de las observaciones, pues coincidía con el quinto centenario del descubrimiento de América; pero ni la reputación de los miembros del MIT que realizaron el estudio inicial, ni el prefacio que contenía el informe Cyclops a cargo del Reverendo Theodore Hesburgh, presidente de la Universidad de Notre Dame, consiguieron que el programa tuviera el respaldo constante del congreso. Dicho programa estuvo caracterizado, ya desde su etapa preliminar, por constantes recortes presupuestarios y suspensiones periódicas, que finalmente desembocaron en su definitiva cancelación en septiembre de 1993, sólo un año después de su formalización, gracias, sobre todo, a la intervención del Senador por Nevada Richard Bryan.

Vale la pena remarcar que aparte de la NASA, desde el proyecto Ozma se habían realizado algunos modestos intentos tanto en los Estados Unidos como en Canadá, pero fue en la Unión Soviética donde, durante los 60, hubo cierta actividad destacable. Los soviéticos optaron por ciertas líneas arriesgadas de investigación; en vez de orientar la búsqueda hacia estrellas cercanas optaron por observar grandes porciones de cielo con antenas casi omnidireccionales; no podemos, pues, darle otro calificativo que el de arriesgadas porque implícitamente estaban considerando la existencia de al menos unas pocas civilizaciones capaces de radiar con una gran potencia.

Paralelamente a la NASA, otras organizaciones y universidades decidieron iniciar proyectos similares y con el mismo objetivo; puede que no dispusieran de la misma

* El nombre de OZMA se debe al lugar exótico, distante y difícil de alcanzar que representa la tierra de Oz del libro de L. Frank Baum.



capacidad tecnológica y económica que la de la NASA pero con el tiempo algunos de ellos consiguieron el merecido reconocimiento de su labor y adquirieron especial relevancia al cancelarse definitivamente el programa oficial.

En 1981, el físico de Harvard y asesor de la NASA Paul Horowitz decidió seguir una de las propuestas sobre soluciones, de coste modesto, que proponía el informe de Morrison acerca del desarrollo de sistemas receptores de radio más sensibles y sistemas computerizados de procesamiento de señales. En esta línea propuso crear el «Suitcase SETI» que no era más que un receptor computerizado portátil para la búsqueda de señales en 131.000 radiocanales de banda muy estrecha. En esa época el proyecto de la NASA sufría uno de sus comunes recortes pero Horowitz se dirigió con su propuesta hacia la recién creada «Planetary Society» (PS) y decidieron instalar su sistema en las instalaciones donde la PS planeaba empezar su proyecto BETA, esto daba la posibilidad de iniciar un nuevo proyecto a más corto plazo, lo llamaron «Project Sentinel».

Aparte del Sentinel, la PS inició en otoño del 1985 el «8-million-channel project META» (Megachannel Extraterrestrial Assay) que se ocuparía de rastrear el cielo del hemisferio Norte terrestre; cinco años después, en 1990, se iniciaría el META II, un duplicado del proyecto que, desde Buenos Aires (Argentina), se encargaría de ampliar el proyecto con el rastreo del hemisferio Sur. El META escaneaba 8.388.608 canales con una resolución espectral de 0.05 Hz y 400 kHz de ancho de banda instantáneo y unos otros 1.048.576 canales redundantes para el control. El sistema, además, corregía la frecuencia observada ante los movimientos respecto a tres encuadres inerciales astronómicos. También ajustaba la frecuencia para compensar la rotación de la Tierra, que genera un cambio característico en la marca Doppler para señales de origen extraterrestre.

A finales de 1994, el META I había cubierto cinco veces el cielo utilizando una longitud de onda de 21 cm.; longitud que corresponde a la banda del Hidrógeno por lo que está más o menos libre de radiación cósmica de fondo y sería, pues, la frecuencia más propensa a ser utilizada como vía de comunicación para civilizaciones extraterrestres. El META I también consideró la idea de uno de los pioneros del SETI, Sebastian von Hoerner, de estudiar el segundo armónico de la frecuencia, a 10.5 cm. Por su parte, el META II había recorrido el cielo del hemisferio sur unas tres veces escaneando sólo en la banda del hidrógeno.

Sobre los resultados globales del META podemos decir que se detectaron algunas docenas de señales intrigantes pero ninguna de ellas se repitió y, por tanto, no se pudo eliminar la interferencia para identificarlas. En concreto podemos decir que a finales de 1994 el META I,

operado por Horowitz desde la universidad de Harvard, había examinado más de 60 trillones de canales diferentes de los que sólo 37 resultaron ser candidatos. En el hemisferio Sur, el META II, dirigido por Raúl Colomb en el Instituto de Radio Astronomía de Buenos Aires, encontró 19 posibles candidatos entre los 16 trillones de canales examinados. Todas estas señales candidatas tenían anchos de banda extremadamente pequeños que no parecía que siguieran la rotación terrestre; por desgracia todas estas señales no pudieron detectarse de nuevo en la reobservación y esto resulta imprescindible para su identificación como señal de procedencia extraterrestre.

La PS también participaría con su apoyo, a partir de 1996, en el proyecto SETI desarrollado en la «University of California» en Berkeley, el SERENDIP («Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed Intelligent Populations»). Desde el 15 de abril de 1992, el SERENDIP III, tercera fase del proyecto, había estado operando desde el radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico, que con sus 305 metros de antena se puede considerar como el mayor del mundo. El programa había analizado más de 200 trillones de canales de datos y había rastreado un 30 % del cielo, abarcando pues, más volumen que todos los anteriores proyectos SETI del mundo combinados. El sistema examinaba 4.2 millones de canales cada 1.7 segundos y se anotaron 200 millones de canales con picos espectrales por encima del ruido de fondo que generaron 400 señales candidatas para su posterior estudio detallado.

Las contribuciones de la PS permitieron a Dan Werthimer, miembro del programa, concluir el diseño e implantación de una nueva máquina, el SERENDIP IV, mucho más potente que su antecesora y que la sustituiría en Arecibo a partir de junio de 1997. Este nuevo sistema mejoraría las capacidades según un factor 40, por lo que permitiría analizar hasta 160 millones de canales cada 1.7 segundos. Desde Arecibo también se optó por analizar la banda del Hidrógeno por las ventajas antes comentadas y, también, por el hecho que la ley internacional prohíbe transmisiones de radio en esta parte del espectro frecuencial, por lo que la posibilidad de interferencia debida a la tecnología terrestre es mínima.

Antes de la intervención de la «Society», en Berkeley ya habían realizado dos proyectos SERENDIP, el I y el II. El primero de ellos se realizó entre 1980 y 1982 con un analizador de espectros con capacidad para el estudio de 100 canales de 1 kHz por canal montado en los radiotelescopios del «Hat Creek Observatory» al norte de California y el «Goldstone Observatory» del desierto del Mojave. El segundo de ellos se realizó entre 1986 y 1988 y era miles de veces más potente que su predecesor; podía analizar 65.000 canales por segundo desde el radiotelescopio del NRAO en West Virginia y, en menor medida, desde otros cuatro telescopios situados alrededor del mundo.

La maquinaria del SERENDIP se complementa con un ordenador capaz de almacenar las señales de interés y sincronizar el telescopio con estas señales para su ulterior y concienzudo estudio. También se utilizan una serie de algoritmos computacionales para eliminar la interferencia humana que claramente se impone sobre la aglomeración de señales captadas y que se conoce como «Radio Frequency Interference»(RFI).



Radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico, con un diámetro de 305 metros.

De las anteriores líneas se deduce la importante labor de colaboración de la Planetary Society con los diferentes proyectos SETI, pero existen también otras organizaciones que colaboran en la búsqueda, y entre ellas destaca el «SETI Institute», un ambicioso proyecto que pretende coordinar los diferentes centros de investigación y programas en un esfuerzo común de detección de señales extraterrestres. El Instituto colabora, por ejemplo, con el SERENDIP antes comentado y, además, inició su propio proyecto en febrero de 1995 denominando al programa «Project Phoenix».

Podemos considerar al Phoenix como el sucesor del proyecto SETI de la NASA; cuando éste fue cancelado los sistemas de procesado de señales TTS («Targeted Search System») que utilizaba el programa oficial estaban siendo mejorados, así que, lo que decidieron los miembros del Instituto fue terminar esas mejoras que habían quedado a medias y reestructurar el sistema para adecuarlo a las nuevas investigaciones que pretendían realizar e intentar tenerlo todo apunto para seguir los planes de observación

que tenía el programa de la NASA, esto suponía tenerlo todo listo en diciembre de 1994; se retrasaron un poco pero no demasiado, pues en febrero de 1995 se iniciaron las observaciones desde la antena de 64 metros del radiotelescopio de Parkes en New South Wales, Australia. Se escrutaron unas 200 estrellas de características solares en una ventana de microondas que iba de los 1.2 a los 3.0 GHz. La señal captada resultaba ser la primera de las dos necesarias para la aplicación de un sistema de confirmación en tiempo real mediante la utilización de otra antena con un sistema de procesado de señal independiente; la antena Mopra, de 22 metros, situada a unos 200 Km. al norte de Parkes, comprobaba cada una de las señales, propuestas como candidatas por la antena primaria, mediante el sistema FUDD («Follow-Up Detection Device») que realizaba un filtrado adaptado a la señal, de esta manera también se conseguía compensar la poca sensibilidad del telescopio utilizado.

Las observaciones en Australia concluyeron en junio de 1995, entonces el sistema de recepción se trasladó a California para realizar ciertas mejoras. A principios de septiembre de 1996 se instaló el sistema en el NRAO; utilizando la antena de 140 pies del complejo se realizaron observaciones hasta abril de 1998 utilizando el telescopio, más o menos, la mitad del tiempo disponible. Debemos tener en cuenta que la mayoría de programas deben compartir las antenas con otros investigadores por lo que sólo disponen de ellas a tiempo parcial; esto alarga claramente el tiempo real necesario para realizar las observaciones planeadas por el programa y, consecuentemente, el tiempo de obtención de resultados, pero mientras los recursos sean limitados esta es la mejor forma de que los diferentes campos de investigación implicados realicen sus estudios.

A mediados de 1998 el proyecto Phoenix subió un peldaño más trasladándose al radiotelescopio de 305 metros de Arecibo; allí, con una antena recién mejorada para dar mayor sensibilidad, dispusieron de un total de 2.600 horas de observación en sesiones de dos o tres semanas al año. En este enclave la antena de confirmación que se utilizó fue la del telescopio Lovell del «Jodrell Bank Observatory» de Inglaterra. La gran distancia entre ambas y la diferencia de latitudes la convertían en un inmejorable filtro frente a la RFI.

Como en la mayoría de los demás programas no se rastreaba todo el cielo sino que se focalizaba el estudio en los alrededores de estrellas cercanas y parecidas al sol; el hecho de centrarse en las de características solares se debe a que se cree que son las más propensas a tener planetas de suficiente antigüedad como para albergar vida. Se incluirían también las estrellas de las que se conocía la existencia de planetas orbitándolas; en total se seleccionaron unas 1.000 estrellas para su estudio, todas ellas comprendidas en un margen de 150 a 200 años luz de distancia. Se buscaban señales comprendidas entre los 1.000 y 3.000 MHz que supusieran una simple marca en el espectro, o

sea, señales de banda muy estrecha, característica que representaría la firma de una transmisión inteligente. Se analizan canales de 1 Hz de ancho de banda, o sea, billones de canales por cada estrella seleccionada. Para ello deben monitorizarse simultáneamente millones de ellos por lo que la «escucha» debe realizarse por ordenador, los astrónomos simplemente realizan las decisiones críticas sobre las señales intrigantes que detecta el análisis informático. No debe pasarnos inadvertida la enorme capacidad computacional necesaria para procesar todos los datos, necesidad que aumenta con el tiempo y que se está convirtiendo en un problema.

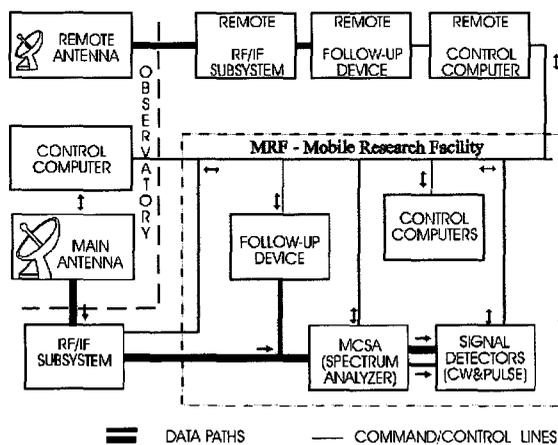
THE PHOENIX TARGET SEARCH SYSTEM

A finales de 1999 el Phoenix había examinado la mitad de las estrellas que configuran su lista de candidatas sin haber encontrado señales claramente extraterrestres.

Una vez analizada la evolución del SETI a lo largo de estos últimos años puede resultar interesante realizar un estudio detallado de alguno de los sistemas de recepción que se utilizan, en concreto nos referiremos al que utiliza el proyecto Phoenix debido a su actual relevancia entre los demás programas y a su relación con el sistema utilizado inicialmente por la NASA.

Como ya hemos mencionado anteriormente, el proyecto Phoenix utiliza un sistema de procesamiento de señales TSS, se trata de un sistema SETI portátil que se utiliza conjuntamente con los radiotelescopios existentes para obtener observaciones de alta sensibilidad. Sus características están totalmente determinadas por los requerimientos observacionales, en concreto se ocupa de rastrear señales artificiales con un ancho de banda realmente estrecho, menor de 300 Hz, en una ventana de microondas desde 1 GHz a 3 GHz, observando cada una de las bandas frecuenciales durante, como mínimo, 300 segundos; para ello utiliza los mayores telescopios disponibles para conseguir, así, mayor sensibilidad. Se observan unas 1.000 estrellas de características solares comprendidas en una

PROJECT PHOENIX -- TARGETED SEARCH SYSTEM



Flujo de datos y de control que definen el sistema TSS.

distancia de 150 años luz. También se requiere que el procesamiento de las señales se realice casi en tiempo real, permitiendo así que las señales consideradas de interés puedan ser testadas inmediatamente. El sistema resultante se ha automatizado al máximo para minimizar la interacción del operador y, por tanto, incrementar la calidad y uniformidad de la búsqueda.

El TSS se compone de una serie de subsistemas, cada uno responsable de uno de los aspectos del procesamiento de la señal captada, controlados por un sofisticado software que facilita la automatización del proceso.

Actualmente no hay observatorios que proporcionen una cobertura continua del total del ancho requerido por el sistema (de 1 GHz a 3 GHz), por lo que el TSS incluye su propio subsistema de recepción . El «Radio Frequency/Intermediate Frequency Subsystem» incorpora dos amplificadores HEMT criogénicamente refrigerados que cubren los rangos de 1.0 a 1.8 GHz y de 1.8 a 3.0 GHz, con bocinas de alimentación dieléctricamente separadas para cada banda. El sistema de recepción proporciona un ancho de banda instantáneo de 300 MHz para cada una de las dos polarizaciones circulares y una temperatura de sistema de 25 K o menor. En este subsistema también se realiza a una conversión a frecuencia intermedia y se selecciona un ancho de 20 MHz de la señal para pasarlo a banda base, digitalizarlo muestreando en cuadratura y enviarlo definitivamente al analizador de espectros multicanal.

El «MultiChannel Spectrum Analyzer» es el espectrómetro del TSS y se compone dos unidades de polarización dual, cada una de las cuales divide 10 de los 20 MHz entregados en decenas de millones de simultáneos canales estrechos que pueden ser analizados en busca de señales por unos ordenadores diseñados a tal fin. Esta función básica podría conseguirse con una simple transformación de Fourier, pero el MCSA debe utilizar una aproximación de filtro polifásico para atender otros posibles requerimientos.

Para minimizar el efecto de la RFI, el MCSA dispone de dos capas de filtros digitales paso banda (BPF) seguidos de una transformación de Fourier. Cada uno de los filtros frontales de cada capa divide el ancho suministrado en aproximadamente 100 bandas menores, con las bandas adyacentes aisladas en más de 100 dB. Este alto grado de rechazo fuera de banda evita que señales potentes puedan contaminar completamente la banda observada. A las muestras de salida del segundo BPF de la capa se les aplica la transformada de Fourier para conseguir canales frecuenciales con resoluciones próximas a 1 Hz; una resolución realmente alta pero necesaria para la detección de señales continuas (CW) como, por ejemplo, portadoras.

Para poder ajustar señales pulsadas, el MCSA efectúa simultáneamente múltiples FFTs para dividir la banda

en canales de tres anchos de banda diferentes a elegir entre seis disponibles: 28.740.096 canales con ancho de 1 Hz, 14.370.048 de 2 Hz, 7.185.024 de 4 Hz, 4.105.728 de 7 Hz, 2.052.864 de 14 Hz o 1.026.432 de 28 Hz. Esto proporciona cierta sensibilidad a pulsos de una duración que oscile entre los 0.02 y los 1.5 segundos. Se debe tener en cuenta también que es bastante improbable que los pulsos estén sincronizados con los relojes terrestres que imponen el periodo de muestreo en el MCSA, por lo que se opta por la superposición en tiempo, y al 50 %, de sucesivos espectros.

En el MCSA los canales también se solapan levemente en frecuencia para conseguir una respuesta casi óptima tanto para CW como para señales pulsadas, siempre y cuando esas señales se mantengan estables en un mismo canal o se desplacen por el espectro, como mucho, hacia un canal adyacente.

El montaje del equipo para el MCSA requiere dos armarios de equipamiento estandarizados para situar 8 placas computacionales comerciales, 72 sistemas circuitales de 6 tipos diferentes y un total de 384 DSP's diseñados especialmente para el sistema. Cabe también resaltar que el sistema logra una tasa de operación de aproximadamente unos 75 GFLOPS (75 billones de operaciones de coma flotante por segundo).

Los dos tipos de señales, tanto las CW como las pulsadas, requieren unos sistemas de procesamiento totalmente diferentes, por ello el «Signal Detection Subsystem» (SDS) se divide en dos sistemas independientes de detección. Estos operan en paralelo sobre los dos flujos de salida del MCSA y remiten los resultados básicos de la detección a un subsistema encargado de su evaluación, el SCS que después analizaremos.

El detector de señal continua (CW) analiza la salida del MCSA de mayor resolución para cada una de las polarizaciones separadamente, en ella busca señales con componente continua con una relación señal a ruido (SNR) por canal mayor o igual a 0.25. Para frecuencias de señal superiores a 2 GHz se utiliza una resolución de 1 Hz, mientras que por debajo, la resolución a 2 Hz se procesa para compensar el amplio margen de traslación Doppler que presentan las señales. Trabajando con la resolución de 1Hz, el detector de CW recibe 80 millones de medidas de potencia espectral por segundo (28.74 millones de canales por polarización cada 0.714 segundos). Si consideramos que el producto temporal de las muestras es unitario, la tasa de datos resulta ser la misma tanto para la resolución de 2 Hz como para cualquier otra. El algoritmo utilizado para realizar una suma eficiente de las potencias detectadas en cada canal a lo largo de toda la deriva potencial que sufre el recorrido de las señales en el dominio de frecuencia-tiempo, requiere que todos los datos deban almacenarse durante la observación; esto requiere la utilización de un Hardware de grabación que se implementa de la forma más económica posible mediante hileras de discos de grabación (RAID). Una vez

completada la observación los datos almacenados se procesan mediante un sistema formado por cuatro placas circuitales que realizan 3.2 billones de sumas por segundo; de mientras, un segundo grupo de RAID's almacena los datos de una nueva observación. Tras completar el proceso, el detector CW indicará al sistema si en alguno de esos recorridos se ha sobrepasado un umbral preestablecido de potencia.

Considerando que las señales pulsadas con una potencia media similar a la de las CW van a ser relativamente fuertes sólo cuando estén a nivel alto, los datos entregados por el MCSA deben ser cribados previamente al procesado. Únicamente los canales con unos niveles de potencia que superen un cierto umbral de decisión se entregarán al detector de señales pulsadas del SDS. De esta forma se puede establecer un umbral tal que en situaciones de ausencia de señal alguna, o sea única presencia de ruido, sólo un canal entre 10^5 pasará al detector. Esto supone que se dispone de una reducida serie de datos para procesar, por lo que podemos optar por representarlos mediante una matriz de dispersión en el dominio frecuencia-tiempo. El conjunto de datos de las dos polarizaciones estudiadas se almacena en un disco de 1GB de capacidad y un procesador i860 se encarga de buscar, entre los datos, series de tres pulsos regularmente espaciados. Cualquier «tripleta» de pulsos con una potencia global que exceda del umbral estático predefinido se remite, al igual que para las señales CW, al SCS.

Este «System Control Subsystem» (SCS) está compuesto por los ordenadores y el software necesarios para realizar la configuración, monitorización y control de todos los subsistemas y observaciones del TSS. Un par de estaciones HP (HP9000/755 y /735) con arquitectura cliente/servidor configuran el SCS para el TSS a 20 MHz. Una estación 9000/715 controla el equipamiento de la estación remota. El software está basado en concurrentes procesos comunicativos, cada uno de los cuales implementa una función específica del sistema; son muchas las capacidades y funciones disponibles del SCS.

El observador puede programar de forma interactiva una serie de observaciones mediante un interfaz gráfico. Puede, por tanto, configurar los subsistemas seleccionando las resoluciones para el MCSA, los umbrales de decisión, eligiendo subseries de datos para visualizar o almacenar, o, simplemente, aceptando la configuración por defecto del sistema. Cuando se está a punto de iniciar una de las observaciones programadas, el SCS establece conexión con el ordenador de control del observatorio para que éste proceda a orientar el telescopio según la posición de la estrella a observar, y se mantiene a la espera de la confirmación del rastreo de ésta. Cuando la recibe, indica a los diferentes subsistemas que inicien la observación.

Mientras se lleva a cabo, el observador puede cambiar interactivamente el margen de frecuencias y la resolución de los datos monitorizados. Cuando se reciben



señales del SDS, el SCS compara las señales remitidas por los detectores con las de una base de datos que contiene señales interferentes conocidas o previamente observadas. Las señales que no pueden clasificarse como interferencia se remarcan para un posterior análisis con el «Follow-Up Detection Device» (FUDD).

Para poder tener un análisis inmediato e independiente de las señales candidatas, sin que esto signifique una pérdida del preciado tiempo de telescopio disponible, se utiliza un subsistema específico. El FUDD aplica un intensivo procesado de la señal en un ancho de banda relativamente estrecho, alrededor de la señal. Dadas las características básicas de la señal candidata (frecuencia, tasa de desplazamiento en frecuencia, potencia), el FUDD puede utilizar una mayor resolución para conseguir mayor sensibilidad y exactitud. Además, cuando esas características son conocidas con suficiente exactitud, el sistema puede optar por generar un filtro adaptado que aún mejora más la sensibilidad. Esta ganancia de sensibilidad que se obtiene con la utilización del filtro adaptado permite el uso de una antena relativamente pequeña para confirmar la detección preliminar de la gran antena principal. Esta confirmación de señal obtenida en un observatorio independiente se considera esencial para la clasificación de la señal como de origen extraterrestre.

En la práctica este proceso se lleva a cabo simultáneamente mediante dos FUDD situados en ambas antenas. Cuando el SCS determina que una señal remitida por el SDS no puede ser reglada como interferencia, las características de la señal se entregan a los dos FUDDs. Mientras los principales subsistemas del TSS proceden a estudiar una nueva frecuencia de observación sobre la estrella en cuestión, el FUDD sintoniza con la frecuencia de la señal candidata y la observa simultáneamente. Si la señal es persistente, el FUDD en la antena principal puede rápidamente detectar y mejorar las medidas de las características de la señal. Estos parámetros mejorados de la señal junto con los factores de transformación geométrica entre los dos lugares se entregan al FUDD de la antena remota, donde se diseña un filtro adaptado optimizado. La sincronización entre antenas hace que ese filtro actúe sobre los datos que se recogen simultáneamente en la antena principal, así, si la señal se detecta en los dos FUDDs, entonces podemos empezar a considerarla como una auténtica candidata a ser una señal extraterrestre.

El FUDD se implementa en un ordenador convencional con procesador Pentium. Una placa para la FFT implementada con chips Plessey FFT (PDSP16510) puede procesar unas 16 bandas sintonizables de 10 KHz de entre un ancho de banda de 10 MHz; por lo que, en realidad, se utilizan dos unidades de FUDD en cada localización para cubrir los 20 MHz de ancho del TSS. La alta resolución del espectro y la utilización de filtros adaptados para cada banda de señal candidata se generan con el procesador.

Otro aspecto a destacar del sistema es la forma como se monitorizan los datos, el «waterfall plot» o representación en frecuencia-tiempo permite visualizar la evolución de un margen seleccionado de canales. Estos canales, unos 1.000, se representan en forma de una serie de puntos sobre una línea horizontal en la pantalla del ordenador. El tamaño de cada punto es proporcional a la potencia del canal que representa. Cada vez que una nueva serie de medidas llega, cada 0.7 segundos, toda línea de puntos se desplaza totalmente hacia la posición inmediatamente inferior de la pantalla, para dejar espacio para los nuevos datos; así, en general se tiene una pantalla llena de líneas horizontales de puntos donde los nuevos datos aparecen en la línea superior de la pantalla mientras que los más antiguos desaparecen por la parte inferior de ésta.



Una señal constante en frecuencia y siempre activa produce una línea vertical en la pantalla.

Si no hay señales sintonizadas, los puntos en la pantalla adquieren un patrón aleatorio conocido vulgarmente como nieve, similar al aspecto que toma una pantalla de televisión cuando no se tiene sintonizado ningún canal; en cambio, si hay presencia de señal y es suficientemente potente, se observará un cierto patrón destacable entre la nube de puntos aleatorios. En cada canal, la potencia de las señales se suma a la del ruido de fondo presente en el ancho del canal y se produce, entonces, un punto mucho más destacable que los demás. Con el tiempo esos puntos destacados se diferenciarán fácilmente de los puntos de ruido y mostrarán como evoluciona la señal; así, por ejemplo, una señal constante en frecuencia y siempre activa produciría una línea vertical en la pantalla, mientras que si se desplazara en frecuencia generaría una línea inclinada.

Tras lo expuesto podemos afirmar que el sistema del proyecto Phoenix se ha diseñado para poder detectar débiles señales de comunicación procedentes de años luz de distancia y permitir el rechazo de la cacofonía provocada por las comunicaciones terrestres; pero como en todo sistema necesitamos probar su correcto funcionamiento. Idealmente nos gustaría disponer de una señal ET estándar para poder calibrar la sensibilidad y poder comprobar que toda la electrónica y el software de las dos localizaciones,

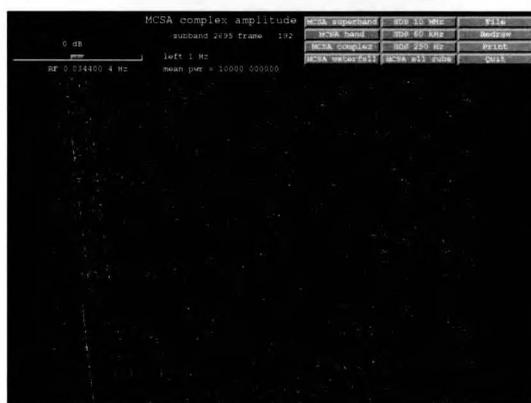
la antena principal y la de verificación, funcionan apropiadamente. Desgraciadamente, hasta que no se descubra la primera, no tendremos ese tipo de señal.



Una señal que se desplazara en frecuencia generaría una línea inclinada.

El reto está, pues, en conseguir algún tipo de señal que nos pueda servir de modelo y que resulte una buena aproximación de una señal ET.

En 1972 se lanzó la Pioneer 10; esta sonda, tras enviarnos las primeras imágenes cercanas de Júpiter y Saturno, ha continuado viajando a través del sistema Solar y más allá de él. El hecho que actualmente se halle a una distancia de más de 10.000 millones de kilómetros y que, además, continúe transmitiendo con unos pocos Wattios de potencia, convierten su emisión en una excelente señal para los test del sistema Phoenix.



Señal que produce el Pioneer 10 representada mediante el «Waterfall plot».

Al igual que muchos otros experimentos radioastronómicos, el Phoenix no se compensa frente al movimiento de la Tierra durante las observaciones. Esto significa que muchos de los transmisores terrestres aparecerán representados por una línea continua como la vista anteriormente, pero, por otro lado, las señales procedentes del espacio profundo mostrarán desplazamientos frecuenciales debidos al cambio de la velocidad relativa

entre el transmisor, ya sea el de una nave o el de otro planeta, y el radiotelescopio en la Tierra. A modo de ejemplo podemos observar la señal que produce el Pioneer 10 representada mediante el «Waterfall plot».

Otra representación de interés es la obtenida durante la observación al modificar la configuración de la pantalla para poder mostrar una de la bandas laterales en las que el Pioneer 10 transmite información. La imagen se puede dividir en dos zonas, en la parte inferior se muestra una parte del espectro (643 Hz) que contiene la portadora, mientras que los dos tercios superiores muestran otra parte diferente del espectro que también contiene señal de datos.

A lo largo del texto hemos visto como se realizan las observaciones y la cantidad de elementos que componen los sistemas de control y detección. También se ha podido observar la cantidad de información que se debe procesar y se ha hecho alusión a los problemas que comporta ese exceso de datos. Para intentar solucionar este serio problema que adquiere, además, mayor relevancia año tras año, se ha iniciado un programa a escala mundial que pretende utilizar la capacidad de procesado de un amplio conjunto de ordenadores esparcidos por todo el mundo para ayudar en la evaluación de los datos captados por los programas de Arecibo; se le conoce como el «seti@home».

Un grupo de científicos de la Universidad de Berkeley, bajo la dirección de David P. Anderson, decidieron implementar un software descargable de la red que, una vez instalado, actuase cuando el ordenador permaneciese inactivo. Funciona a modo de salvapantallas sólo que durante el periodo que actúa, aparte de mostrar en pantalla una imagen variante, se encarga de procesar las señales que se le han entregado desde Berkeley y que se recogen en Arecibo a través del proyecto SERENDIP. Una vez analizada la información, se reenvía automáticamente mediante la conexión a Internet necesaria para colaborar en el proyecto.

La idea es realmente revolucionaria y, a mi entender, una magnífica forma de implicar a todo aquel que disponga de unos mínimos medios informáticos, en una búsqueda que, de concretarse, afectaría a cada uno de los habitantes de nuestro planeta. Sería, además, muy gratificante poder decir que todo el mundo ha podido contribuir de forma relativamente fácil y totalmente desinteresada en el que sería uno de los mayores descubrimientos de la humanidad.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.seti.org>
- [2] <http://www.planetary.org>
- [3] <http://setiathome.ssl.berkeley.edu>

Notas:

- Se ha mantenido el sistema de medida americano para mantener la concordancia con la nomenclatura de los proyectos. De manera que al referirnos a billones, debemos considerar su valor americano: 1 billón = 10^9 .