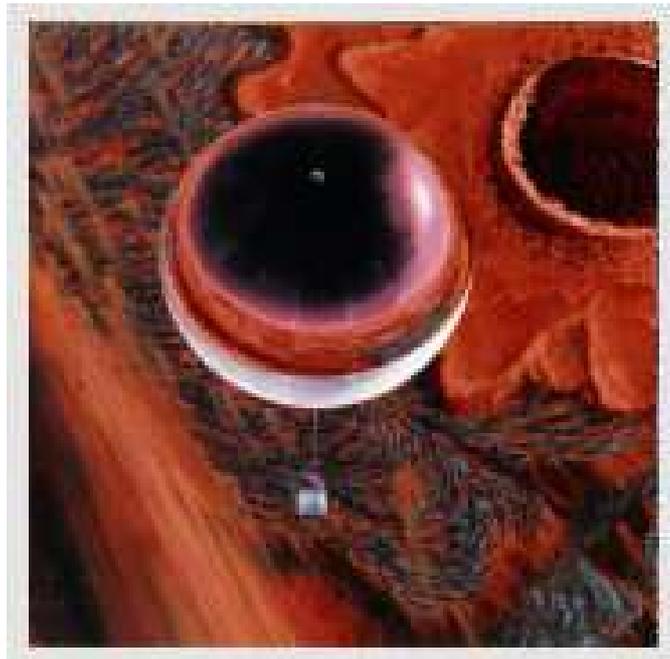


ASTROFÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS

EL USO DE GLOBOS ESTRATOSFÉRICOS EN INVESTIGACIÓN ESPACIAL



LORENA ESTÉVEZ CUADRADO

ENERO 2008



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	DESCRIPCIÓN.....	2
2.1	¿POR QUÉ VUELA UN GLOBO?	2
2.2	GENERALIDADES.....	3
2.3	DURACIONES DE VUELO	4
2.3.1	<i>Vuelos de Corta Duración.....</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Vuelos de Media/Larga Duración.....</i>	<i>5</i>
3	MISIONES.....	5
3.1	AGOSTO DE 1999: GRABACIÓN DE LA LLUVIA DE METEORITOS DE PERSEO.....	5
3.2	NOVIEMBRE DE 1999: GRABACIÓN DE LA LLUVIA DE METEORITOS DE LAS LEÓNIDAS.....	6
3.3	DICIEMBRE DE 1999: EXPERIMENTO DE RAYOS CÓSMICOS EN EL POLO SUR.....	6
3.4	JUNIO DE 2000: PROTOTIPO DE GLOBO PARA TRANSPORTAR GRANDES TELESCOPIOS AL ESPACIO.....	7
3.5	NOVIEMBRE DE 2004: TELESCOPIO DE RAYOS X CAPTURA UN PULSAR ÚNICO	7
3.6	ENERO DE 2005: RECORD DE VUELO DE UN GLOBO	8
3.7	JULIO DE 2005: LANZAMIENTO DE FIRST.....	8
3.8	OTRAS MISIONES	8
4	FUTURO DEL USO DE GLOBOS EN INVESTIGACIÓN.....	9
5	APLICACIÓN: INSTRUMENTACIÓN ESPACIAL.....	12
6	CONCLUSIONES.....	14
7	REFERENCIAS.....	15

1 INTRODUCCIÓN

Los globos son una herramienta única en la investigación científica. Solo los globos pueden estar durante largos periodos de tiempo en la estratosfera, que es una zona demasiado baja para que orbiten satélites y que es atravesada demasiado rápido por las sondas espaciales como para conseguir datos significativos.



Globo estratosférico

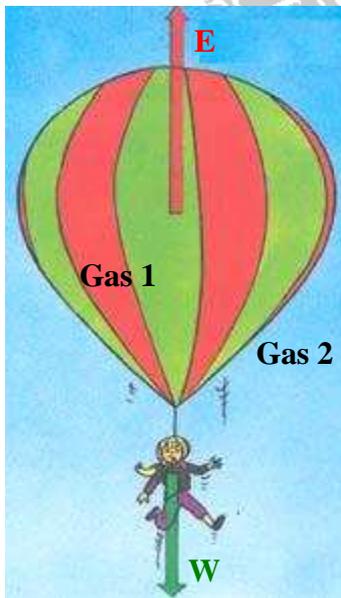
Los globos se utilizan en investigación desde 1960. Lanzar un globo a la estratosfera es una excelente forma de conseguir datos científicos por dos razones:

- Las observaciones astronómicas están libres de las distorsiones causadas por la atmósfera terrestre.
- El bajo coste del lanzamiento de un globo en comparación con el de otro tipo de aeronave.

El uso de globos en investigación es muy versátil, abarcando desde estudios sobre rayos X, infrarrojo, visible, ultravioleta y rayos γ , hasta rayos cósmicos, y el estudio de la atmósfera.

2 DESCRIPCIÓN

2.1 ¿POR QUÉ VUELA UN GLOBO?



Esquema de fuerzas en un globo

El funcionamiento de un globo está basado en el principio de Arquímedes, que se puede reducir en última instancia a un juego entre las densidades de los fluidos, en el que los más livianos tienden a ubicarse por encima de los más pesados.

Si el gas interior (gas 1) ocupa un volumen V , la suma de fuerzas en globo será: $\sum F = E - W - \rho_1 gV$, siendo

$E \equiv$ empuje de Arquímedes ($E = \rho_2 gV$)

$W \equiv$ peso elevado por el globo (góndola)

$\rho_i \equiv$ densidad del gas i

Por lo tanto, el globo dejará de ascender cuando $\sum F = 0$.

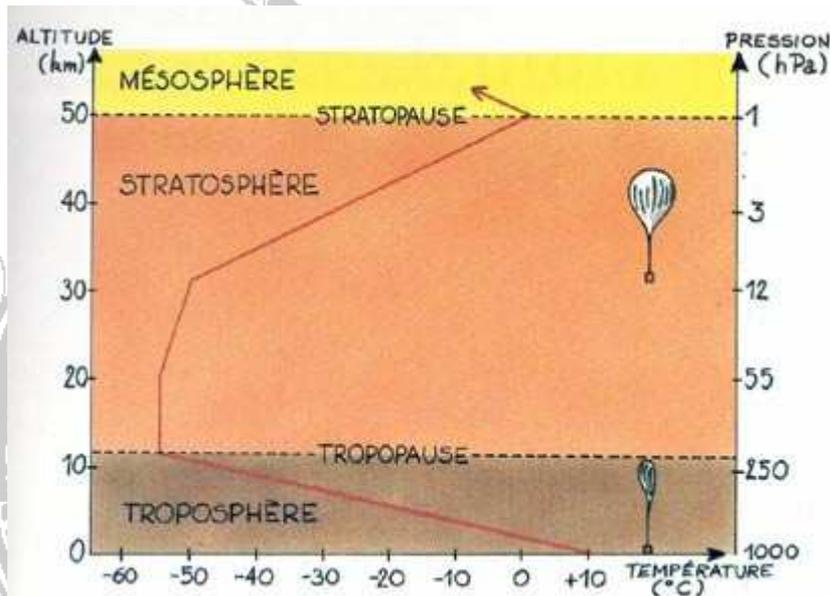
El principio de Arquímedes no funciona en el vacío, por lo que es imposible que un globo vuele en el espacio, no obstante si es posible hacerlos volar sobre planetas de nuestro sistema solar que posean algún tipo de atmósfera.

2.2 GENERALIDADES

Consta de tres partes: la envoltura, un paracaídas de seguridad, y la carga de pago.

El material de la envoltura es polietileno de unos 0.02mm de espesor. Pueden llevar un peso de hasta 3600kg, y el tamaño del globo se determina en función de dicho peso.

Alcanzan una altitud máxima de 42km y la duración del vuelo varía entre 12 – 24 horas y varios meses.



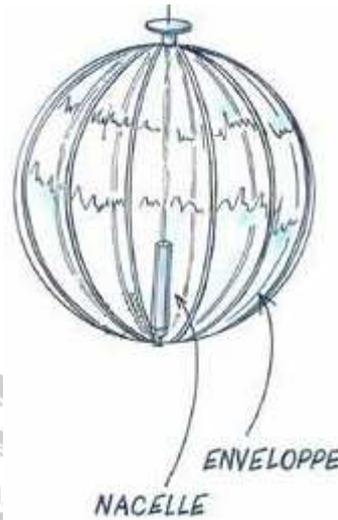
Partes de la atmósfera en función de la altitud y la presión

Para abarcar todo el rango de necesidades, hay varios tipos de globos estratosféricos:

- Globos estratosféricos de presión nula:
Tienen una o más aberturas en su parte inferior. Solo pueden mantenerse en vuelo durante unos pocos días.
- Globos de infrarrojo de Montgolfiere:
El aire caliente proveniente del Sol y la radiación infrarroja de la Tierra proporcionan la sustentación. Para vuelos de larga duración.
- Globos de superpresión:
Están sellados y su envoltura es lo suficientemente fuerte para aguantar vuelos de larga duración.
- Aeroclippers (la traducción más aproximada sería aero-velero).



Globo estratosférico de presión nula



Esquema y foto de un globo de superpresión

2.3 DURACIONES DE VUELO

2.3.1 Vuelos de Corta Duración

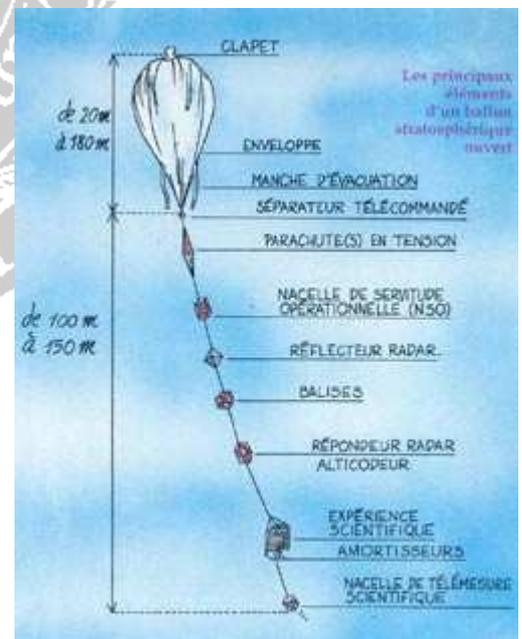
Los vuelos de corta duración abarcan un rango de tiempo desde unas pocas horas a unos pocos días.

El globo mejor adaptado para este tipo de vuelos es el **globo de presión nula**.

En este tipo de globos la presión interna es siempre igual que la externa. El gas que utilizan es el Helio, de forma que pueden cargar grandes pesos hasta altitudes estratosféricas.

Están equipados con unas válvulas para expulsar el exceso de gas. A medida que el globo asciende la presión del aire disminuye y el gas en el interior del globo se expande. El globo continúa su ascenso hasta que el gas llena completamente el envoltorio, en este punto cualquier expansión del gas produce un exceso que tiene que ser expulsado. Debido a la expansión del gas, el envoltorio tiene que ser muy grande (puede llegar a superar la extensión de un campo de fútbol).

En la práctica, este tipo de globos se utilizan para vuelos de una duración máxima de un día o vuelos en los polos, ya que es inevitable que a partir de la primera noche el globo empiece a descender (la bajada de temperatura del aire por la noche hace que el gas del interior del globo se contraiga).



Partes de un globo de presión nula

2.3.2 Vuelos de Media/Larga Duración

Los vuelos de media/larga duración abarcan un rango de tiempo a partir de unas pocas semanas en adelante. Hay tres tipos de globos que pueden llevar a cabo estos vuelos: los globos de superpresión, los globos de infrarrojo de Montgolfiere y los aeroclippers.

Los **globos de superpresión** pueden volar durante 3 – 4 semanas. El volumen de su envoltorio (de hasta 10m de diámetro) no cambia con las variaciones de presión y temperatura. Debido a esto, la expansión máxima de su envoltorio es de 2m y es capaz de llevar una carga de solo unos pocos kg (hasta 30kg). Se utilizan para estudiar la atmósfera, y en especial el agujero de la capa de ozono en los polos.

Los **globos de infrarrojo de Montgolfiere** están basados en los globos de aire caliente que inventaron los hermanos Montgolfiere en 1782.

El envoltorio se calienta debido al Sol durante el día, alcanzando altitudes de 30km, y durante la noche debido a la radiación infrarroja de la Tierra. Aunque la sustentación producida por el efecto invernadero es pequeña, es suficiente como para mantener el globo en una altitud estable en torno a los 20km.

Puede llevar cargas de hasta 50kg. Su principal característica es que oscilan continuamente entre dos altitudes durante 2 – 3 semanas. Se utilizan en el estudio de la estratosfera.

Los **aeroclippers** se diseñaron inicialmente para estudiar Marte. Puede adquirir simultáneamente datos del aire, desde la góndola, y del agua, utilizando una sonda situada al final de la cuerda guía unida al globo. Alcanza 50m por encima del nivel del mar durante varias semanas. Se utiliza en el estudio de las interacciones entre el mar y la atmósfera.



Globo de infrarrojo



Aeroclipper

3 MISIONES

En esta sección se expondrán algunos ejemplos de misiones realizadas por globos estratosféricos.

3.1 AGOSTO DE 1999: GRABACIÓN DE LA LLUVIA DE METEOROS DE PERSEO

El globo fue lanzado por *NASA's Marshall Space Flight Center* en Huntsville, Alabama, superando los 30km. Estaba equipado con una cámara digital con el objetivo de grabar la lluvia de meteoros de

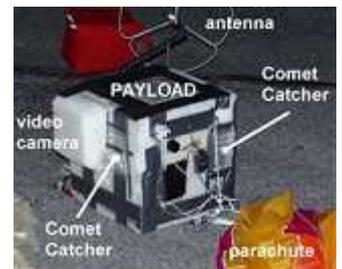
Perseo, y con diversos detectores que recogieron datos de partículas en la estratosfera durante dicha lluvia.



Lluvia de meteoros de Perseo

3.2 NOVIEMBRE DE 1999: GRABACIÓN DE LA LLUVIA DE METEOROS DE LAS LEÓNIDAS

El globo, lanzado por el *NASA's Marshall Space Flight Center*, iba equipado con una cámara de video CCD, un receptor de ondas radio para frecuencias menores de 10kHz y un “capturador” de meteoros, y alcanzó una altitud de 32km.



Carga de pago

3.3 DICIEMBRE DE 1999: EXPERIMENTO DE RAYOS CÓSMICOS EN EL POLO SUR

El objetivo de la misión era el estudio de rayos cósmicos para su aplicación en la protección de la tripulación en futuros viajes a Marte.

El globo, que fue lanzado por *NASA's Marshall Space Flight Center* en la estación de McMurdo en la Antártida, estaba equipado con dos detectores de rayos cósmicos.

El tiempo de exposición fue de 10 días y el globo alcanzó una altitud de 38km.



Detectores de rayos cósmicos de aluminio (izquierda) y plástico (derecha)



Imagen previa al lanzamiento del globo

3.4 JUNIO DE 2000: PROTOTIPO DE GLOBO PARA TRANSPORTAR GRANDES TELESCOPIOS AL ESPACIO

El proyecto fue desarrollado por *NASA Goddard Space Flight Center's Wallops Flight Facility* y se denominó ULDB (Ultra-Long Duration Balloon). El globo es un globo de superpresión, y el diseño y el material de la envoltura son únicos y especialmente diseñados para este proyecto. El material consta de dos capas de polietileno entre las que se sitúa una estructura tipo sándwich. La forma es la de una calabaza.



Dibujo de un globo de superpresión en el espacio

3.5 NOVIEMBRE DE 2004: TELESCOPIO DE RAYOS X CAPTURA UN PULSAR ÚNICO

El instrumento InFOC μ S (International Focusing Optics Collaboration for μ -Crab Sensitivity, desarrollado por NASA en colaboración con Japón), embarcado en un globo, capturó imágenes de un pulsar emitiendo en rayos X duros.

El globo fue lanzado desde Fort Sumner, Nuevo Méjico, y alcanzó una altitud de 39km. El pulsar que observó es el 4U 0115+63, situado a 23000 años luz en la constelación de Casiopea.

En 2001, el experimento, embarcado en un globo, HERO (High Energy Replicated Optics) consiguió imágenes en rayos X, pero menos energéticas que los de InFOC μ S. Otro experimento embarcado en globo fue HEFT (High Energy Focusing Telescope), que consiguió resultados similares a InFOC μ S.

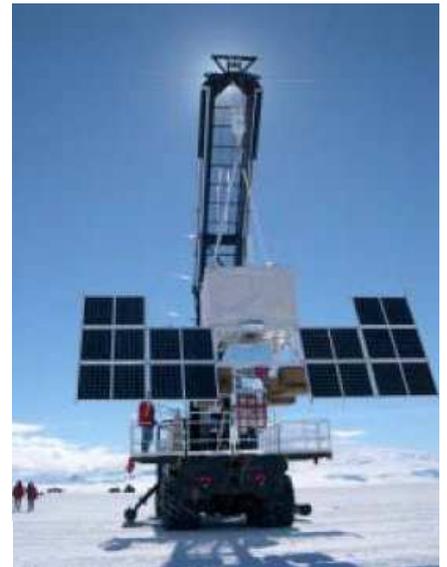


Carga de pago del globo

3.6 ENERO DE 2005: RECORD DE VUELO DE UN GLOBO

El globo de la NASA que batió el record en duración y distancia de vuelo ascendió a 38km de altitud en un periodo de tiempo de 42 días en los que trazó 3 órbitas alrededor del Polo Sur. El vuelo más largo hasta ese momento se había realizado en 2001, con una duración de 32 días en los que se trazaron 2 órbitas alrededor del Polo Sur.

La carga de pago era CREAM (Cosmic Ray Energetics And Mass). El globo era del tipo ULDB (Ultra-Long Duration Balloon), diseñado para vuelos de hasta 100 días, y se lanzó desde la base de McMurdo. Su diámetro era de 137m y pesaba más de 1800kg.



CREAM

3.7 JULIO DE 2005: LANZAMIENTO DE FIRST



La carga de pago del globo era el sensor FIRST (Far-Infrared Spectroscopy of the Troposphere), cuyo objetivo era el estudio de la energía emitida por la Tierra al espacio.

El lugar de lanzamiento elegido por NASA fue Fort Sumner, en Nuevo Méjico y el globo superó una altitud de 35km. El rango de longitudes de onda que es capaz de medir FIRST va de 10 a 100 μ m; se cree que la mitad de la energía que pierde la Tierra está en longitudes de onda entre 15 y 100 μ m.

*Imagen previa al lanzamiento del globo.
Carga de pago: FIRST*

3.8 OTRAS MISIONES

Además de las misiones y experimentos de los que se ha hablado, destacan también:

- ✓ Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)
- ✓ Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP)
- ✓ Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI)
- ✓ Cosmic Ray Isotope Spectrometer on the Advanced Composition Explorer (ACE)
- ✓ Earth Observing System (EOS)-Aura
- ✓ Thermal and Evolved Gas Analyzer (TEGA)

4 FUTURO DEL USO DE GLOBOS EN INVESTIGACIÓN

Algunas de las futuras misiones en las que se usarán globos estratosféricos son:

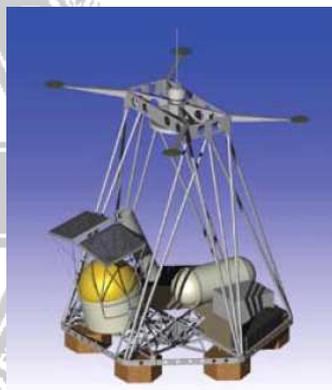
- **Programa Einstein:** cuyo objetivo es averiguar cuál fue la energía que desencadenó el BigBang, observar cómo los agujeros negros manipulan el espacio, el tiempo y la materia, e identificar la materia oscura.

Precusores del observatorio Constellation X son High Energy Focusing Telescope (HEFT), High Energy Replicated Optics (HERO), e International Focusing Optics Collaboration for μ -Crab Sensitivity (InFOCuS), que son telescopios de rayos X duros que han sido desarrollados para vuelos en globo.

La tecnología del Einstein Black Hole Finder Probe (BHFP) está siendo ensayada mediante globos, con los que se ha conseguido que el Universo de altas energías (>30 keV) sea visible.



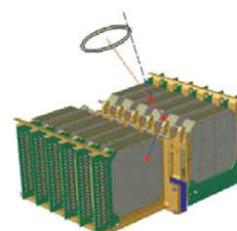
HEFT



Energetic X-ray Imaging Survey Telescope (EXIST)
Candidato a formar parte del BHFP

- **Inflation Probe:** con el objetivo de desarrollar técnicas de medición de la polarización de los CMB (Cosmic Microwave Background), realizar las primeras medidas de dicha polarización, y medir el ruido que puede interferir con las observaciones de CMB.

- **Advanced Compton Telescope MeV-gamma-ray instrument (ACT):** es un telescopio diseñado para detectar los núcleos radioactivos producidos en las explosiones estelares, semilla de nuevas estrellas, y la evolución de los sistemas planetarios. Actualmente se encuentra en fase de ensayo en globos del tipo ULDB.

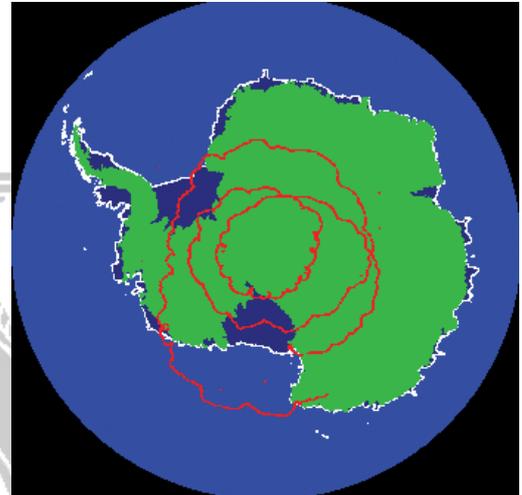


Telescopio Compton

- **Balloon-borne Large Aperture Submillimeter Telescope (BLAST):** aportará datos sobre la estructura, evolución y dinámica de nuestra galaxia, así como información sobre la formación de las primeras galaxias. Embarcado en un globo ULDB y con una exposición de 50 horas, BLAST

debería ser capaz de detectar 100 veces más galaxias submilimétricas de las que su homólogo en tierra (SCUBA) ha encontrado en varios años.

- **ANtarctic Impulsive Transient Antenna (ANITA):** detector de neutrinos por encima de 10^{18} eV en la Antártida.

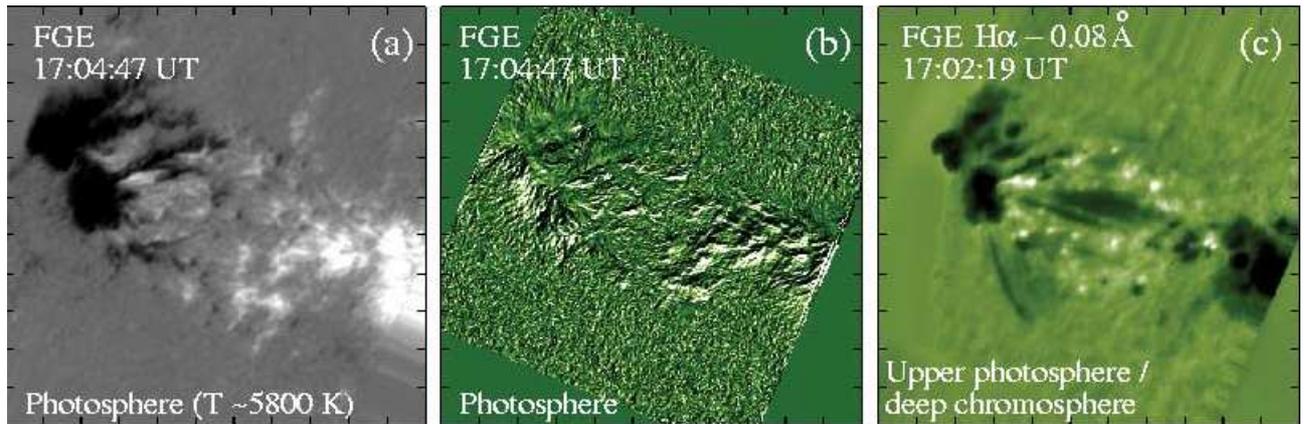


Recorridos de ANITA (derecha) y de CREAM (izquierda) en la Antártida

- **Cosmic Ray Energetics and Mass (CREAM):** detector de rayos cósmicos en globos con vuelos de alta duración, que responderán a las preguntas de cómo se aceleran los rayos cósmicos y qué los acelera.
- **Estudios del Sol** y de otros objetos tanto en óptico como en otras longitudes de onda:
 - Los telescopios embarcados en globos determinarán las causas del calentamiento de la cromosfera.
 - Se estudiarán los comienzos del sistema solar y cómo evolucionó hasta el presente.
 - Solar Bolometric Imager (SBI), mediante varios vuelos en globos ULDB en distintas fases del ciclo solar, determinará las causas de las variaciones en la irradiancia solar, que puede haber sido la causa de los cambios climáticos de la Edad Media y durante la Pequeña Edad de Hielo.
 - Se realizarán mapas de alta resolución de la zona de transición magnética entre la cromosfera y la fotosfera, con el objetivo de desarrollar un modelo de las fulguraciones solares.



SBI



Imágenes de las manchas solares del 25 de enero del 2000 tomadas por el instrumento embarcado en globo FlareGenesis Experiment (FGE)

- **Medición de auroras** y otras condiciones ionosféricas para poder deducir cómo se producen los procesos que tienen lugar en la magnetopausa y dónde se originan.
- **Estudios de la atmósfera de la Tierra:** validación in situ de los datos de aeronaves y posibilidad de observación en detalle de procesos en una escala de espacio y de tiempo mucho menor que en el espacio.
- **Exploración de Marte, Venus y Titán:** recolección in situ de datos de las atmósferas de planetas, así como datos de alta resolución de tipo geológico, geoquímico y geofísico.



Artists' concepts of balloons in the atmospheres of Mars, Venus, and Titan (left to right). The round images are from (left to right) the Mars Global Surveyor, Hubble Space Telescope, and European Southern Observatory.

- **Deep Space Test Bed (DSTB)** es un experimento que consiste en varios vuelos en globos ULDB sobre la Antártida para exponer a radiación cósmica diversos materiales y monitores de radiación durante semanas. El objetivo es poder proteger adecuadamente a los astronautas en futuras misiones a Marte y a la Luna.

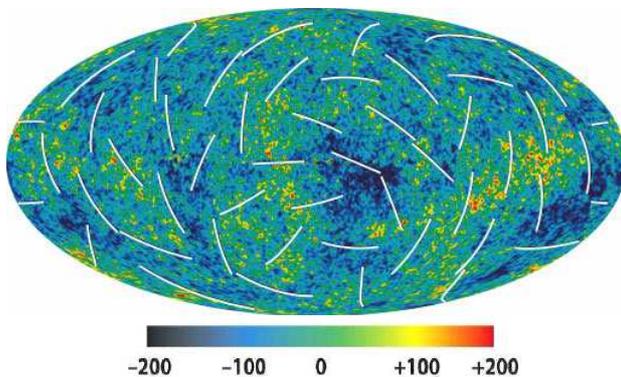


Despegue de un experimento en globo

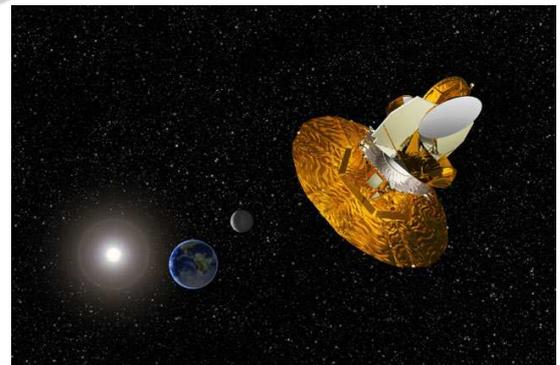
5 APLICACIÓN: INSTRUMENTACIÓN ESPACIAL

Mucha de la instrumentación embarcada en globos ha sido luego utilizada o ha sentado las bases para la instrumentación utilizada en misiones espaciales:

- **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP):**
Esta misión está enfocada a conocer la “infancia” del Universo.



Diferencia de temperatura respecto de la media (μK)



Dibujo de WMAP

→ **Ramaty High Energy Solar Spectroscopy Imager (RHESSI):**

El uso de globos fue esencial para probar los detectores y la electrónica. RHESSI estudia la aceleración de partículas en las fulguraciones solares.



Dibujo de RHESSI



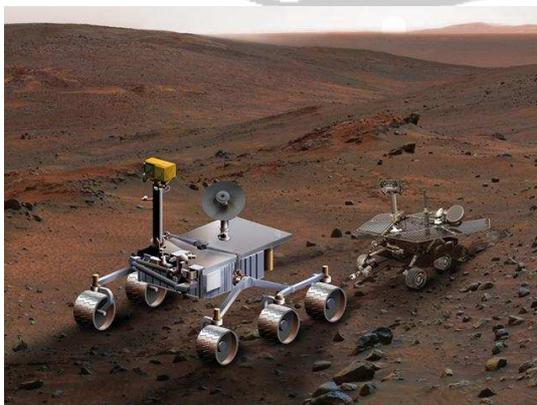
Dibujo de GLAST

→ **Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST):**

Los ensayos en globo demostraron que el telescopio funcionaba bien en un entorno con mucho ruido de fondo. Se encargará de estudiar las “fronteras” del Universo, los agujeros negros, las explosiones de rayos γ , los púlsares, el origen de los rayos cósmicos... Se lanzará a lo largo de este año.

→ **Instrumentos planetarios:**

El Mars Science Laboratory (MSL) llevará un Tunable Laser Spectrometer (TLS), cuyo origen son una serie de experimentos en globo usando el instrumento Balloon-borne Laser In Situ Sensor (BLISS). La misión partirá a finales de 2009 y no llegará a Marte hasta octubre de 2010. TLS es un espectrómetro láser, capaz de hacer medidas precisas de la relación de mezcla de varios gases y de sus isótopos. El espectrómetro BLISS realizó 12 vuelos en globo desde 1983 a 1992, en los que obtuvo medidas de NO_2 , NO , y HNO_3 en la estratosfera.



Dibujo del MSL



BLISS, 1985

6 CONCLUSIONES

El uso de globos en investigación espacial ha contribuido directamente con importantes resultados científicos, e indirectamente como plataformas para testar instrumentos que posteriormente se embarcan en otros tipos de aeronaves.

Entre los logros más recientes cabe destacar:

- Mapas de las anisotropías de los CMB (Cosmic Microwave Background): prueba del estado del Universo cuando tenía una edad aproximadamente de 300.000 años.
- Hallazgo de antiprotones en los rayos cósmicos: futuros experimentos buscarán otras partículas (antihelio, anticarbono...).
- Supernova 1987A como fuente de rayos γ : si se hubiera esperado a lanzar una misión espacial, la emisión de rayos γ habría perdido intensidad o no habría sido detectable.
- Primera observación de líneas de emisión de positrones de la galaxia (en la Nebulosa del Cangrejo) y detección de agujeros negros en rayos X transitorios: estos dos hitos condujeron directamente al desarrollo de proyectos como Solar Maximum Mission (SMM) y Compton Gamma Ray Observatory (CGRO).
- Observación de CFCs (clorofluorocarbonos) y radicales de monóxido de cloro (ClO) en la estratosfera: las observaciones de la destrucción de CFCs y la producción de ClO confirman la teoría de la destrucción de la capa de ozono.



SN 1987A

Estos logros, unidos a un amplio programa de misiones que se realizarán en un plazo más o menos corto, hace que los globos estratosféricos sean una herramienta esencial en el presente y futuro de la investigación espacial.

7 REFERENCIAS

- ⇒ <http://stratocat.com.ar>
- ⇒ Apuntes de Tecnología Aeroespacial. Publicaciones E.U.I.T.Aeronáutica
- ⇒ <http://www.cnes.fr>
- ⇒ <http://www.nasa.gov>
- ⇒ “NASA Stratospheric Balloons” Report of the Scientific Ballooning Planning Team



Nuclear Compton Telescope (NCT)