

## ARTICULOS

### ¿SABÍAS QUE LA NASA CONTROLA SUS SONDAS ESPACIALES DESDE MADRID?

Desde el comienzo de la carrera espacial, las agencias dedicadas a la investigación y al lanzamiento de satélites han necesitado comunicarse con los aparatos que enviaban al espacio, para recoger los datos científicos, imágenes y los datos de telemetría (los datos que indican el estado de los componentes de la nave) que permitirían manejarlos. Para los satélites que giran alrededor de la Tierra y para las misiones tripuladas, las antenas se repartían por el planeta para mantener una cobertura constante mientras los satélites giraban alrededor de la Tierra.

Además, tampoco era necesario mantener un contacto constante ya que las naves podían almacenar los datos y transmitirlos cuando sobrevolasen las estaciones de seguimiento. Por otra parte, la distancia a las que se encontraban estos satélites era de unos pocos cientos de kilómetros como máximo, por lo que bastaba con antenas de entre 1 y 5 metros de diámetro para mantener las comunicaciones.

Sin embargo, cuando comenzó la exploración del Sistema Solar con las sondas, las agencias espaciales se encontraron con un problema. Al lanzar una nave que se alejase constantemente de la Tierra, las señales se hacían cada vez más

débiles por lo que se hacía necesario construir antenas



Radiotelescopios de robledo de Chavela. Madrid

cada vez más grandes y sensibles que permitiesen seguir recibiendo las señales con calidad. Y dado que la Tierra gira continuamente sobre su eje, la estación que siguiese las evoluciones de la nave, al cabo de pocas horas perdería el contacto con ella. Por tanto, se hacía imprescindible construir una red de estaciones de seguimiento que permitiese un contacto continuado con las sondas, sobre todo en los momentos más críticos de las misiones, como son los aterrizajes o los encuentros con los cuerpos celestes.

Dada la situación, la NASA comenzó a construir tres complejos de seguimiento que se encontrasen

repartidos por nuestro planeta con una separación equivalente entre si y que tuviesen un contacto continuo con cualquier sonda, de forma que cuando una de ellas fuese a perder la señal de la nave, la siguiente se

hiciese cargo de ella.

Los lugares elegidos fueron Goldstone en California, Canberra en Australia y Robledo de Chavela en Madrid y las tres forman la llamada Red de Espacio Profundo o Deep Space Network (DSN).

Robledo de Chavela. En el contrato firmado por la NASA para abrir las instalaciones en España, se indicaba que los trabajadores debían ser todos españoles. Al principio vinieron técnicos norteamericanos para formar a la plantilla española que poco a poco se fue haciendo cargo de todas las operaciones del complejo.

Además de las instalaciones de Robledo, la estación de Madrid estuvo formada en un tiempo por otros dos complejos situados en Fresnedillas (en Madrid, llamada DSS-62) y en Cebreros (Ávila).

La estación de Fresnedillas fue cerrada en 1.985 y la de Cebreros en 1.983. Esta última estación fue la primera en pasar a manos españolas en 1.969 con una antena de 26 m. (llamada DSN-31).

Este lugar fue elegido ya que se encontraba cerca de una ciudad importante que tenía comunicaciones y aeropuertos, pero en una zona que no estuviese excesivamente cerca

de la capital como para que las emisiones de antenas de radios y televisiones pudiesen interferir con las sensibles antenas de recepción del complejo. Además, todas las instalaciones se encuentran dentro de un pequeño valle que las protege de las interferencias externas.

El Complejo de Robledo de Chavela (llamada también MDSCC ó DSS 61) está situado 60 km. al oeste de Madrid y se comenzó a construir en el año 1.964 para asegurar las comunicaciones con la sonda Mariner 4 que llegaría a Marte al año siguiente. Además del seguimiento de sondas,

el complejo también lleva a cabo investigaciones en radioastronomía para estudiar los cuerpos del Sistema Solar y del resto del Universo. El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) es el encargado de operar las instalaciones para la NASA desde 1.970 y actualmente el complejo ocupa 47 hectáreas y trabajan en el 150 técnicos pagados por la agencia estadounidense. Además se mantiene una estrecha colaboración para el seguimiento de misiones de la Agencia Espacial Europea y la Japonesa.

Las antenas. Actualmente posee un total de seis antenas de diferentes diámetros, totalmente equipadas y reformadas por completo. En funcionamiento se encuentran la antena principal del complejo de 70

metros de diámetro, 3 antenas de 34 metros, una de 26 metros y otra de 11 metros. La mayor se usa para las sondas que se encuentran más allá de la órbita de Júpiter, las de 34 metros para comunicarse con las sondas más cercanas y las de 26 y



Entrada al complejo de robledo de Chavela. Madrid

11 metros para los vuelos tripulados y los satélites que se encuentran más cerca de la Luna ya que al ser más pequeñas, pueden moverse con más rapidez y realizar un seguimiento adecuado de los satélites de órbitas bajas que pasan muy rápidamente por el cielo.

La antena gigante de 70 metros (conocida como DSS-63) posee una parte móvil con un peso de 3.500 toneladas y en su totalidad pesa 9.500 toneladas. Su altura es equivalente a la de un edificio de 23 plantas y los cimientos tienen una profundidad de 12 pisos. Para las comunicaciones con las sondas se opera principalmente en la frecuencia de las microondas, obteniendo a 8.148 MHz. una ganancia de 74,2 decibelios con un au-

mento en la intensidad de la señal de 26.000.000 de veces la original. Para girar sobre si misma, la antena se encuentra flotando sobre una capa de aceite de 7 centésimas de milímetro ya que ningún otro material soportaría la fricción y el rozamiento.

Fue

construida en 1.974 con un tamaño de 64 metros y en 1.987 se amplió hasta los 70 metros para seguir a las sondas Voyager.

Una de las antenas de 34 metros tenía originalmente 26 metros (la llamada oficialmente DSN-29) y estaba instalada en un principio en Fresnedillas. Los técnicos la llamaban 'La Dino' y fue utilizada para la retransmisión de la llegada del

hombre a la Luna en 1.969. Más tarde se trasladó por piezas a Robledo y fue ampliada. Para ello dos grúas la levantaron por completo para colocarle bajo sus soportes varios bloques de hormigón, para evitar que el disco de la antena chocara contra el suelo debido a su mayor tamaño.

Para amplificar las señales recibidas, a veces es necesario que varias de las antenas trabajen conjuntamente, con un sistema llamado interferometría, de forma que todas las antenas usadas equivalen a una sola que tuviese como tamaño la distancia existente entre ellas. Además, para evitar que las señales se pierdan debido a los ruidos de fondo (interferencias terrestres y señales de radio naturales del espacio), lo primero que

se hace es amplificarlas con un 'amplificador criogénico de máser' que aumenta la señal hasta 700.000 veces. Para que funcione debe estar enfriado con helio gaseoso a  $-270^{\circ}$  ( $3^{\circ}$  K).

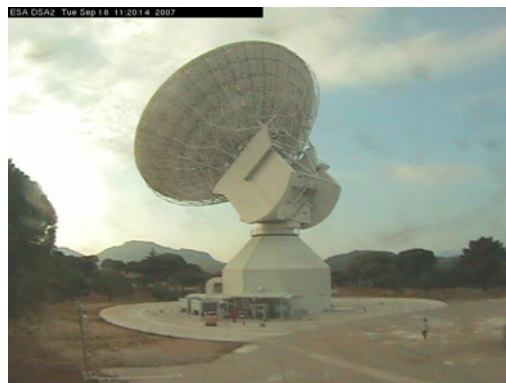
Las comunicaciones. La comunicación con las naves se establece en los dos sentidos. Hacia las sondas se mandan comandos y órdenes informáticos que le dicen a las naves las tareas que tienen que realizar y permiten reprogramar los ordenadores de las sondas para cada fase de la misión. Y desde las sondas se reciben dos tipos de señales: los datos científicos adquiridos por los instrumentos y los datos de telemetría que permiten conocer las temperaturas y el estado de todos los sistemas de la nave, además de múltiples parámetros que permiten deducir su velocidad y distancia a la Tierra. Todos estos datos se reciben codificados y se analizan en los centros de control de cada misión. Algo que hay que tener en cuenta es el tiempo que tarda la señal en ir y volver a la sonda, ya que en las grandes distancias, las señales pueden tardar hasta 20 horas en llegar (como en las Voyager) por lo que todo debe ser enviado con la suficiente antelación.

Entre los hitos del complejo se encuentra la recepción de la primera imagen jamás enviada por una sonda desde otro planeta. Era el año 1.965 cuando se recibieron las fotografías de la misión Mariner 4 a Marte y la Estación de Madrid fue la encargada de recogerlas. También se recibieron las imáge-

nes de la llegada del hombre a la Luna con el Apolo 11 (en Fresnedillas con la antena llamada 'La Dino'), las primeras fotos de la Mars Pathfinder y las primeras imágenes del Voyager 2.

Nueva antena para Madrid. Durante los últimos meses del año 2.003 y los primeros de 2.004,

debido a la llegada a su destino de varias sondas, la NASA necesitará tener más antenas en funcionamiento ante la avalancha de datos que llegarán. Aunque cada uno de los complejos puede seguir simultáneamente hasta 4 sondas, con la llegada a Marte de tres 'rovers' y dos orbitadores y el encuentro de dos sondas con cometas (ahora con la 'baja' de la sonda Contour), más las misiones que ya estaban en funcionamiento, el número de antenas era insuficiente por lo que la Agencia decidió comenzar la construcción de una nueva antena de 34 me-



Radiotelescopio de Cebrenos. Avila

tros en el complejo de Robledo.

Esta nueva antena utilizará la última tecnología disponible y como novedad, los equipos encargados del aná-

lisis de la señal estarán situados en una sala subterránea debajo de la antena (llamadas de tipo 'Beam Waveguide') y no en la propia antena (antena tipo 'High Efficiency').

La construcción de la antena fue adjudicada a la empresa Schwartz-Hautmont Construcciones Metálicas S.A. de Tarragona, por un precio de 54 millones de dólares y debe estar concluida para el mes de noviembre de 2.003. Hasta la fecha, las obras de construcción van a buen ritmo y pueden ser seguidas con imágenes semanales en Internet.

Esta será la decimo-cuarta antena de este diámetro de la DSN, ya que actualmente hay siete en Goldstone, tres en Australia y otras tres en Robledo. Con esta antena, la NASA tendrá 70 horas semanales más para el seguimiento de sus sondas en Marte, aumentando en un 33% la capacidad de recepción del complejo.

- Deep Space Network  
- NASA

- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

- Galería de imágenes de la construcción de la nueva antena de 34 metros en Madrid (¡actualizadas semanalmente!)

Sondas Espaciales  
<http://www.sondasespaciales.com>

## PLANETA “LA TIERRA”

La Tierra es el tercer planeta del sistema solar. Es el único planeta en el que La Tierra es el tercer planeta del sistema solar es el unico en el que se conoce que exista vida. La Tierra posee un único satélite natural, la Luna.

La Tierra gira alrededor del Sol describiendo una órbita elíptica a una velocidad media de 29,8 km por segundo.

La distancia media que la separa del Sol es de 149.600.000 km.

La Tierra, como todos los cuerpos celestes, no se encuentran en reposo, sino que esta sujeta a una larga serie de movimientos (más de diez), reflejaremos los cuatro más importantes movimientos que realiza de forma simultánea:

- **Traslación:** sobre su órbita alrededor del Sol, que determina nuestro calendario.

- **Rotación:** sobre su propio eje, que determina los días y las noches, con una duración de 23 horas, 56 minutos y 3,5 segundos.

- **Precesión:** movimiento de la Tierra como consecuencia de la atracción gravitacional del sol y la luna sobre el ensanchamiento ecuatorial, provoca una especie de lentísimo balanceo en nuestro planeta durante su movimiento de traslación. Este efecto

se realiza en sentido inverso a la rotación del planeta Tierra.

Bajo la influencia de dichas atracciones, el eje de los polos terrestres va describiendo un cono de 47° de abertura, cuyo vértice esta en el centro de la Tierra.

Este movimiento puede compararse con el balanceo de una peonza que al ser lanzada en posición algo inclinada, gira sobre su eje y mientras se traslada oscila lentamente trazando en el espacio un círculo que es la base del cono cuyo vértice esta en el extremo inferior de su eje. La consecuencia inmediata de este movimiento es el cambio de la posición del polo celeste, actualmente apunta a la estrella polar que permanecerá allí hasta el 2015, después de esta fecha ira alejándose paulatinamente describiendo un inmenso círculo para volver a la posición actual después de transcurrir 25.765 años.

- **Nutación:** es un pequeño movimiento de vaivén del eje de la Tierra, debido a que la influencia de la Luna no siempre posee la misma intensidad, puesto que unas veces se halla sobre el plano de la orbita terrestre y otras por debajo, por tanto no ejerce siempre la misma situación sobre la dilatación ecuatorial de la Tierra en la misma dirección en que la ejerce el Sol.

Consecuencia de este movimiento es que el eje de la Tierra no es perfectamente cónico sino levemente ondu-

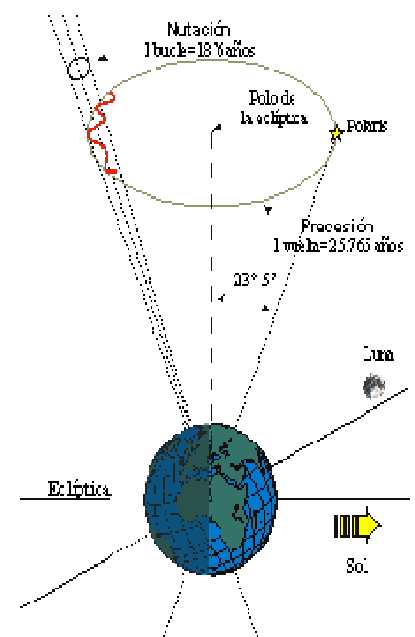
lado y se repite con un periodo de 18,6 años.

El movimiento de nutación aunque muy pequeño, puede ser detectado por los observatorios astronómicos por afectar a los movimientos relativos de todas la estrellas.

### Forma de la Tierra:

Históricamente se supusieron múltiples formas. Remontándonos a la civilización griega nada más, digamos que se imaginaba la Tierra como un disco plano rodeado por el río Océano (Homero). Con los Pitagóricos y Platón se piensa que es una esfera perfecta, por razones filosóficas. Es Aristóteles quién aporta evidencias de la forma esférica al observar que en los eclipses de Luna la sombra proyectada por nuestro planeta es circular. A partir de este momento la cuestión que se plantea es la de su tamaño.

La Tierra no es una es-



fera perfecta, sino que tiene forma de pera. Cálculos basados en las perturbaciones de las órbitas de los satélites artificiales revelan que la Tie-

rra es una esfera imperfecta porque el ecuador se engrosa 21 km; el polo norte está dilatado 10 m y el polo sur está hundido unos 31 metros.

Es Eratóstenes, Beta para sus contemporáneos porque decían que era el nú-

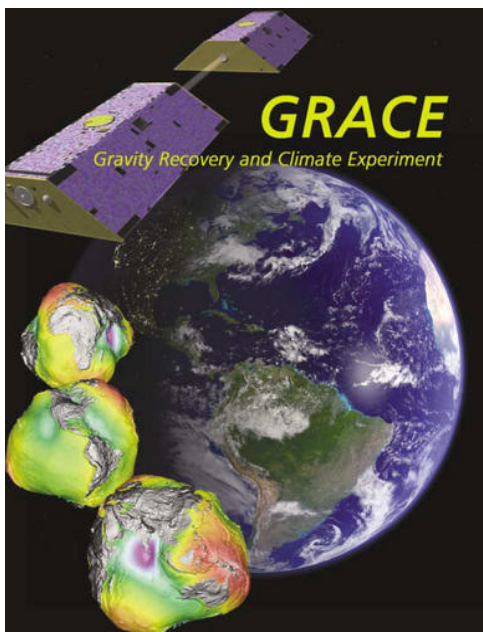


Imagen del satélite GRACE. Se aprecia como es la Tierra sin el agua que la recubre

mero dos en todo, quién hace la primera medición conocida y muy aproximada a la realidad de la circunferencia terrestre. El mediodía del solsticio de verano mide la inclinación de los rayos solares en Alejandría -dónde residía como el Director de su Biblioteca- utilizando un gnomon, determinándola en una cincuentaava parte del círculo, es decir 7,2 grados. Simultáneamente en Siena (la actual Asuán), al Sur de Alejandría, el Sol alcanzaba el cenit, lo que el conocía por testimonios directos. Suponiendo esférica la Tierra resultaba evidente que el ángulo de la sombra daba la distancia angular entre las dos ciudades,

y conociendo la distancia lineal entre ellas -250.000 estadios- pudo calcular la circunferencia terrestre: unos 46.190 km (en este punto se dan numerosas discusiones, por la incertidumbre del valor del estadio en metros)

La esfericidad terrestre comienza a cuestionarse en la Edad Media. Mucho después la Academia de Ciencias de Francia determina que la Tierra es un elipsoide: una esfera achatada ligeramente por los polos, dando una diferencia de 43 km entre las circunferencias ecuatorial y polar.

Finalmente a partir del siglo XIX se cuestiona el elipsoide terrestre para con Gauss y Helmert establecerse que la Tierra es un geode, un elipsoide algo irregular.

A efectos prácticos, especialmente geodésicos, se considera a la Tierra como un elipsoide cuyos parámetros -radio ecuatorial y achatamiento- están recomendados por la Unión Astronómica Internacional (UAI), Sistema Geodésico de Referencia (GRS), Sistema Geodésico Mundial (WGS) y Servicio Internacional de la Rotación Terrestre (IERS), entre otros.

A continuación se dan algunos valores del elipsoide de referencia IERS 2000 tomados del Anuario del Observatorio de Madrid, año 2007:

*Circunferencia ecuatorial:* 40075014 m

*Circunferencia polar:* 40007832 m

*Radio de la esfera equivolumen:* 6371000 m.

Al igual que todo el Sistema Solar, la Tierra se mueve por el espacio a razón de unos 20,1 km/s o 72,360 km/h hacia la constelación de Hércules. Sin embargo, la galaxia Vía Láctea como un todo, se mueve hacia la constelación Leo a unos 600 km/s. La Tierra y su satélite, la Luna, también giran juntas en una órbita elíptica alrededor del Sol. La excentricidad de la órbita es pequeña, tanto que la órbita es prácticamente un círculo. La circunferencia aproximada de la órbita de la Tierra es de 938.900.000 km y nuestro planeta viaja a lo largo de ella a una velocidad de unos 106.000 km/h. La Tierra gira sobre su eje una vez cada 23 horas, 56 minutos y 4,1 segundos. Por lo tanto, un punto del ecuador gira a razón de un poco más de 1.600 km/h y un punto de la Tierra a 45° de altitud N, gira a unos 1.073 km/h.

Además de estos movimientos primarios, hay otros componentes en el movimiento total de la Tierra como la precesión de los equinoccios (véase Eclíptica) y la nutación (una variación periódica en la inclinación del eje de la Tierra provocada por la atracción gravitacional del Sol y de la Luna).

### **Composición y estructura:**

La composición de la Tierra en masa en diferen-

tes elementos químicos es:

Hierro: 34,6 %

Oxígeno: 29,5 %

Silicio: 15,2 %

Magnesio: 12,7 %

Níquel: 2,4 %

Azufre: 1,9 %

Titanio: 0,05 %

Otros elementos: 3,65%

La Tierra tiene una estructura diferenciada en diferentes capas. Estas capas poseen diferentes composiciones químicas y comportamiento geológico. Su naturaleza puede estudiarse a partir de la propagación de ondas sísmicas en el interior terrestre y a través de las medidas de los diferentes momentos gravitacionales de las diferentes capas obtenidas por diferentes satélites orbitales.

La datación radiométrica ha permitido a los científicos calcular la edad de la Tierra en 4.650 millones de años. Aunque las piedras más antiguas de la Tierra datadas de esta forma, no tienen más de 4.000 millones de años, los meteoritos, que se corresponden geológica-

mente con el núcleo de la Tierra, dan fechas de unos 4.500 millones de años, y la cristalización del núcleo y de los cuerpos precursores de los meteoritos, se cree que ha ocurrido al mismo tiempo, unos 150 millones de años después de formarse la Tierra y el Sistema Solar (véase Sistema Solar: Teorías sobre el origen).

Después de condensarse a partir del polvo cósmico y del gas mediante la atracción gravitacional, la Tierra habría sido casi homogénea y relativamente fría. Pero la continuada contracción de estos materiales hizo que se calentara, calentamiento al que contribuyó la radiactividad de algunos de los elementos más pesados. En la etapa siguiente de su formación, cuando la Tierra se hizo más caliente, comenzó a fundirse bajo la influencia de la gravedad. Esto produjo la diferenciación entre la corteza, el manto y el núcleo, con los silicatos más ligeros moviéndose hacia arriba para formar la corteza y el manto y los elementos

más pesados, sobre todo el hierro y el níquel, sumergiéndose hacia el centro de la Tierra para formar el núcleo. Al mismo tiempo, la erupción volcánica,

provocó la salida de vapores y gases volátiles y ligeros de manto y corteza. Algunos eran atrapados por la gravedad de la Tierra y formaron la atmósfera primitiva, mientras que el vapor de agua condensado formó los primeros océanos del mundo.

Las diferentes capas en las que tradicionalmente se divide la estructura terrestre son:

**Corteza:** Es la capa más superficial y tiene un espesor que varía entre los 12 km, en los océanos, hasta los 80 km en cratones (porciones más antiguas de los núcleos continentales). La corteza está compuesta por basalto en las cuencas oceánicas y por granito en los continentes.

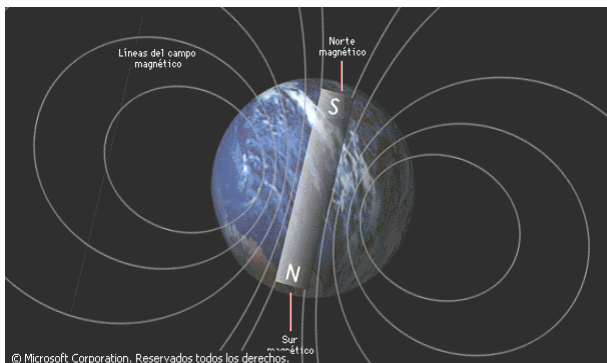
**Manto:** Es una capa intermedia entre la corteza y el núcleo el cual llega hasta una profundidad de 2900 km. El manto está compuesto por peridotita.

**Litosfera:** Es la parte más superficial que se comporta de manera elástica. Tiene un espesor de 250 km y abarca a la corteza y la porción superior del manto.

**Astenosfera:** Es la porción del manto que se comporta de manera fluida.

**Núcleo:** Es la capa más profunda del planeta y tiene un espesor de 3475 km. Está compuesto de una aleación de hierro y níquel y es en esta parte donde se genera el campo magnético terrestre. Éste se subdivide a su vez en el núcleo interno, el cual es sólido, y el núcleo externo, el cual es líquido.

Los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con



### Campo magnético de la Tierra

Un poderoso campo magnético rodea a la Tierra, como si el planeta tuviera un enorme imán en su interior cuyo polo sur estuviera cerca del polo norte geográfico y viceversa. Por paralelismo con los polos geográficos, los polos magnéticos terrestres reciben el nombre de polo norte magnético (próximo al polo norte geográfico) y polo sur magnético (próximo al polo sur geográfico), aunque su magnetismo real sea opuesto al que indican sus nombres.

los polos geográficos de su eje. El polo norte magnético se sitúa hoy cerca de la costa oeste de la isla Bathurst en los Territorios del Noroeste en Canadá, casi a 1.290 km al noroeste de la bahía de Hudson. El polo sur magnético se sitúa hoy en el extremo del continente antártico en Tierra Adelia, a unos 1.930 km al noreste de Little America (Pequeña América).

Las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran notables cambios de año en año. Las variaciones en el campo magnético de la Tierra incluyen una variación secular, el cambio en la dirección del campo provocado por el desplazamiento de los polos. Esta es una variación periódica que se repite después de 960 años. También existe una variación anual más pequeña, al igual que se da una variación diurna, o diaria, que sólo es detectable con instrumentos especiales.

#### **La hidrosfera:**

La Tierra es el único planeta en nuestro sistema solar que tiene una superficie líquida. El agua cubre un 71% de la superficie de la Tierra (97% de ella es agua de mar y 3% agua dulce), formando cinco océanos y siete continentes.

La Tierra está realmente a la distancia del Sol adecuada para tener agua líquida en su superficie. No obstante sin el efecto invernadero, el agua en la Tierra se congelaría. Al principio el Sol emitía menos radiación que

ahora, pero los océanos no se congelaron porque la atmósfera de primera generación de la Tierra poseía mucho más CO<sub>2</sub> y por tanto más efecto invernadero.

En otros planetas, como Venus, el agua desapareció porque la radiación solar ultravioleta rompe la molécula y el ión hidrógeno, que es ligero, escapa de la atmósfera. Este efecto es lento, pero inexorable. Ésta es una hipótesis que explica por qué Venus no tiene agua. En la atmósfera de la Tierra, una tenue capa de ozono en la estratosfera absorbe la mayoría de esta radiación ultravioleta, reduciendo el efecto. El ozono protege a la biosfera del pernicioso efecto de la radiación ultravioleta. La magnetosfera también es un escudo que nos protege del viento solar.

La masa total de la hidrosfera es aproximadamente  $1,4 \times 10^{21}$  kg.

#### **La atmósfera:**

La Tierra tiene una espesa atmósfera compuesta

en un 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, y 1% de argón, más trazas de otros gases como anhídrido carbónico y vapor de agua. La atmósfera actúa como una manta que deja entrar la radiación solar pero atrapa parte de la radiación terrestre. (Efecto invernadero). Gracias a ella la temperatura media de La Tierra es de unos 17 °C. La composición atmosférica de la Tierra es inestable y se mantiene por la biosfera. Así, la gran cantidad de oxígeno libre se obtiene por la fotosíntesis de las plantas, que por la acción de la energía solar transforma CO<sub>2</sub> en O<sub>2</sub>. El oxígeno libre en la atmósfera es una consecuencia de la presencia de vida, y no al revés.

Las capas de la atmósfera son: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera, la termosfera, y la exosfera. Sus altura varía con los cambios estacionales.

La masa total de la atmósfera es aproximadamente  $5,1 \times 10^{18}$  kg.

#### **Características orbitales:**

Radio medio: 149.597.870 km

Perihelio: 0,983 UA

Afelio: 1,017 UA

Excentricidad: 0,0167

Periodo orbital: 365,2564 días

Satélite: 1 (Luna)