

## LA TIERRA COMO UN SISTEMA

Un *sistema* es un grupo de partes interrelacionadas, interactuantes e interdependientes que forman un todo complejo. Muchos de nosotros oímos y utilizamos el término a menudo en nuestra vida cotidiana, y hablamos de *sistema* de enfriamiento de nuestro automóvil, del *sistema* de transporte de la ciudad, del *sistema político*, y de la aproximación de un *sistema* meteorológico.

Sabemos que la Tierra es tan solo una parte pequeña de un gran sistema conocido como *Sistema Solar*. A medida que la estudiamos, resulta también claro que nuestro planeta puede considerarse como un sistema con muchas partes independientes, pero interactuantes, o subsistemas. La hidrosfera, la atmósfera, la biosfera, la tierra sólida y todos sus componentes pueden estudiarse por separado. Sin embargo, las partes no están aisladas. Cada una se relaciona de alguna manera con las otras para producir un todo complejo y continuamente interactuante que denominamos *el sistema Tierra*.

Las partes del sistema Tierra están relacionadas, de manera que un cambio en una de ellas puede producir cambios en otra o en todas las demás. Por ejemplo, cuando un volcán hace erupción, la lava del interior de nuestro planeta puede fluir en la superficie y bloquear un valle próximo. Esta nueva obstrucción influye en el sistema de drenaje de la región creando un lago o haciendo que las corrientes de agua cambien su curso.

En los sistemas geológicos naturales los cambios de la materia, de un estado a otro, como la energía responsable de la interacción de los elementos, ocurren en la dirección necesaria para establecer y mantener el equilibrio o balance perfecto entre las diferentes fuerzas que interactúan en la naturaleza, a condición de una energía lo mas baja posible.

El concepto dual de sistema - equilibrio, como ha sido desarrollado en los estudios geológicos, provee un marco para comprender como cada parte de la tierra trabaja y porqué está constantemente cambiando. Puede verse, en todas las escalas de tiempo y espacio, que nada es casualidad ni se deja al azar. Cada cosa - desde un grano de arena en la playa, a un lago, o a una cadena de montaña - está allí debido a que fue formado de manera sistemática, por una organizada interacción de materia y energía.

El sistema Tierra es impulsado por la energía procedente de dos fuentes. El Sol impulsa los procesos externos que tienen lugar en la atmósfera, la hidrosfera y la superficie de la Tierra (*procesos exógenos*). El clima, la circulación de los océanos y los procesos erosivos son accionados por la energía del Sol. El interior de la Tierra es la segunda fuente de energía. El calor que queda de cuando se formó nuestro planeta y el calor que esta siendo continuamente generado por la desintegración radiactiva impulsa los procesos internos que producen los volcanes, los terremotos y las montañas (*procesos endógenos*).

Los seres humanos son *parte* del sistema Tierra, un sistema en el cual los componentes vivos y no vivos están entrelazándose interconectados. Por consiguiente, nuestras acciones producen cambios en todas las otras partes. Cuando quemamos gasolina y carbón, construimos rompeolas a lo largo de la línea de costa, eliminamos nuestros residuos y preparamos los terrenos para cultivo, hacemos que otras partes del sistema respondan, a menudo de manera imprevista. A lo largo de este curso conoceremos muchos de los subsistemas de la Tierra: el sistema hidrológico, el sistema tectónico (formación de montañas) y el ciclo de las rocas, por citar unos pocos. Recordemos que estos componentes *y nosotros, los seres humanos*, formamos todos parte del todo interaccionante complejo que denominamos sistema Tierra.

## El origen de la Tierra

La Tierra es uno de los nueve planetas que, junto con aproximadamente una docena de lunas y numerosos cuerpos más pequeños, gira alrededor del Sol. La naturaleza ordenada de nuestro sistema solar lleva a la mayoría de los astrónomos a deducir que todos sus componentes se formaron, esencialmente, al mismo tiempo y de la misma materia primordial que el Sol. Este material es, al inicio del Sistema Solar, una gran nube de polvo y gases denominada *nebulosa primordial*.

La hipótesis de la nebulosa primitiva sugiere que los cuerpos de nuestro sistema solar se formaron a partir de una enorme nebulosa compuesta fundamentalmente por hidrógeno y helio, y solo un pequeño porcentaje de los elementos más pesados.

Hace alrededor de 5.000 millones de años, esta inmensa nube de diminutos fragmentos rocosos y de gases empezó a contraerse bajo su propia influencia gravitacional (Figura 1.8A). El material en contracción empezó a girar de alguna manera. Como un patinador sobre hielo que relega los brazos sobre sí mismo, la nube rotaba cada vez más de prisa conforme se contraía. Esta rotación hizo a su vez que la nebulosa se aplanara para formar un disco (Figura 1.8B). Dentro del disco en rotación, cúmulos menores formaron núcleos a partir de los cuales finalmente se formaron los planetas. Sin embargo, la mayor concentración de material fue empujada hacia el centro del disco en rotación. Conforme se acumulaba hacia su interior, se calentaba gravitacionalmente, formando el *proto-sol* caliente (Sol en formación).

Después de que se formó el *proto-sol*, la temperatura en el exterior del disco en rotación disminuyó de manera significativa. Este enfriamiento hizo que las sustancias con puntos de fusión elevados se condensaran en partículas pequeñas, quizá del tamaño de granos de arena. Primero se solidificaron el hierro y el níquel. Los siguientes en condensarse fueron los silicatos de que están compuestas las sustancias rocosas. Conforme esos fragmentos fueron colisionando a lo largo de unos pocos decenios de millones de años, aumentaron de tamaño hasta dar lugar a los proto-planetes (Figura 1.8C, D). De la misma manera, pero a menor escala, actuaron los procesos de condensación y acreción para formar las lunas y otros cuerpos pequeños del Sistema Solar.

Conforme los *proto-planetes* (planetes en formación) acumulaban cada vez más material, el espacio que había entre ellos empezó a aclararse. Esta eliminación de restos permitió que la luz del Sol alcanzara las superficies planetarias sin estorbos y las calentara. Las elevadas temperaturas superficiales resultantes en los planetes interiores o *planetes terrestres* (*Mercurio, Venus, la Tierra, Marte*) sumados a sus campos gravitacionales comparativamente débiles, hizo que la Tierra y sus vecinos fueran incapaces de conservar cantidades apreciables de los componentes más ligeros de la nube primordial. Esos materiales ligeros, entre los que se cuentan el hidrógeno, el helio, el amoníaco, el metano y el agua, se evaporaron de sus

superficies y fueron finalmente barridos de la parte interna del Sistema Solar por corrientes de partículas procedentes del Sol, denominadas *viento solar*.

A distancias superiores a la órbita de Marte, las temperaturas eran mucho más frías. Por consiguiente, los grandes planetas exteriores (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) acumularon enormes cantidades de hidrógeno y otros materiales ligeros procedentes de la nube primordial. Se piensa que la acumulación de esas sustancias gaseosas es responsable de los tamaños comparativamente grandes y de las bajas densidades de los planetas exteriores.

### **La Tierra comparada con los demás planetas terrestres**

El agua más que ninguna otra cosa hace que el planeta tierra sea único. Debido a su tamaño y distancia al sol ha podido desarrollar y retener una atmósfera y una hidrosfera, y los rangos de su temperatura son tales que el agua puede existir en su superficie como líquido, sólido y gas. Esta condición de planeta único hizo posible la aparición y evolución de la vida como la conocemos en la Tierra.