

# EL AGUA EN LA TIERRA

por el

Excmo. Sr. D. FRANCISCO HERNANDEZ-PACHECO DE LA CUESTA  
Académico de Número

## LA TIERRA COMO ASTRO

Si contempláramos la tierra desde cualquier astro del Sistema Solar y por su relativa proximidad, desde Venus o Marte, destacaría en el cielo como las más brillantes estrellas. Si la observación se hiciese mediante un telescopio relativo aumento, la Tierra parecería circundada por un anillo ecuatorial blanquecino y brillante, formado por nubes, encuadrado por dos bandas tropicales mucho menos brillantes y de tonalidad amarilla o zonas desérticas. En los polos destacarían dos casquetes blancos, también de gran brillo, formados por hielos nieves, y en las zonas intermedias, entre las bandas tropicales desérticas y los casquetes polares se percibirían manchas de tonalidades diversas y formas diferentes, con algún contorno bien diferenciado que limitaría las áreas continentales, de las oceánicas, de bello color azul.

Si reparamos en esta visión imaginaria de la Tierra, de la que ya tenemos por las fotografías tomadas desde satélites artificiales, deducimos que lo que destaca en su conjunto son las masas de agua; de hielo y nieves en los casquetes polares, las condensaciones atmosféricas del vapor de agua, dando origen a nubes, y las grandes extensiones líquidas de los océanos. El agua en la Tierra presenta en estados físicos diferentes, sólida, líquida y dando origen a masas vapor, siendo por su conjunto abundante.

Teniendo en cuenta lo expuesto, sólo Venus y Marte, dentro del Sistema Solar, ofrecen respecto a lo indicado, una muy precaria semejanza con la Tierra.

## ASPECTO GENERAL DE VENUS

Queda situado el planeta Venus entre Mercurio y la Tierra, siendo por su tamaño, masa y densidad, bastante semejante a la Tierra. Aparece rodeado totalmente por densa masa de

aspecto nuboso, lo que impide conocer detalles de su superficie, por lo que no se sabe cual pueda ser el tiempo que tarda en girar alrededor de su eje con precisión, calculándose que tarde unos veinte o treinta días terrestres, es decir, que gira mucho más despacio que la Tierra.

La atmósfera de Venus está formada por anhídrido carbónico en cantidad considerable, siendo muy pobre en oxígeno y agua, lo que permite suponer que en Venus no existen masas líquidas acumuladas en su superficie. Tales hechos indican las escasas posibilidades de vida animal, pero no, en cambio, para que pueda haberse desarrollado una vida vegetal muy sencilla, que al ser abundante sobre el planeta, habría extraído parte del anhídrido carbónico de su atmósfera, por lo que su concentración sería inferior a la observada.

No se conocen las temperaturas que puedan existir en la superficie de Venus, pero su valor medio ha de ser bastante más elevado que el de la Tierra, especialmente en el hemisferio iluminado por el Sol. teniendo en cuenta su menor distancia a este astro que la Tierra, recibiendo por ello aproximadamente una cantidad doble de radiación solar por cada centímetro cuadrado de su superficie, que al ser absorbida por el suelo se convierte en general en radiación calorífica, que su densa atmósfera no deja escapar hacia el exterior, lo que contribuye a elevar acusadamente la temperatura ambiente de su superficie, que según las técnicas radioastronómicas sería de unos  $300^{\circ}$  C, lo que de ser así, en ella las posibilidades de vida serían nulas. Pero hay que tener en cuenta que otros mecanismos de emisión no térmicos pueden emitir radiaciones muy potentes, aunque la temperatura del cuerpo radiante sea baja, por lo que la real temperatura de Venus nos es aún desconocida; de todos modos, las condiciones existentes en Venus sólo permitirían, por lo que se sabe, la existencia de una vida de extrema sencillez y de tipo vegetal.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE MARTE

Veamos ahora cuáles sean las características de Marte, que está ya muy distanciado del Sol, al quedar situado entre la Tierra y Júpiter.

Su tamaño es mucho menor al de la Tierra, pues su diámetro es un poco mayor que la mitad del diámetro terrestre. Después de la Luna es el astro más próximo a nosotros, pues dista de la Tierra en su perihelio unos 16 millones de kilómetros. La rotación sobre su eje

la efectúa en media hora más de tiempo que lo que tarda la tierra, pero teniendo en cuenta lo que dura su giro alrededor del Sol, que son seiscientos ochenta y siete días, los días y las noches son muy semejantes en duración a la de la Tierra, pero la sucesión de las estaciones es casi doble.

La atmósfera de Marte es muy poco transparente, lo que se atribuye a la presencia en ella de cristallitos de hielo. Cuando en raras ocasiones la atmósfera en determinadas zonas es diáfana, debido a intensos fenómenos meteorológicos, se aprecian perfectamente los casquetes polares que destacan en blanco, y una franja blanca a lo largo del borde oriental, momentos antes de salir el Sol en Marte, banda que se supone es debida a una helada matutina, es decir, a un fenómeno muy semejante a las escarchas que se producen sobre la superficie terrestre. También se aprecia la existencia de masas de nubes y muy densas polvaredas, debidas a intensos huracanes que tienen lugar con frecuencia en su atmósfera. En otras zonas se distinguen manchas oscuras que cambian de color con las estaciones y, en otros lugares, espacios amarillentos invariables todo el año y que se han interpretado como zonas desérticas, y lo que es más curioso y dado a conocer por Schiaparelli en 1877, los célebres “canales”, sutiles líneas oscuras que se extienden en centenares de kilómetros desde las zonas oscuras, atravesando amplias áreas, uniendo los desiertos, con las denominadas “oasis”.

En la atmósfera de Marte existe oxígeno y agua, pero en cantidades mínimas, quizá una centésima parte de las cantidades contenidas en la atmósfera terrestre, siendo por el contrario, abundante el anhídrido carbónico.

La temperatura en las zonas tropicales de Marte parece variar entre  $25^{\circ}\text{C}$  a mediodía y los  $-30^{\circ}\text{C}$  por la noche, siendo la temperatura media de todo el planeta de unos  $-50^{\circ}\text{C}$ , es decir, un ambiente térmico semejante a nuestras zonas polares.

Teniendo en cuenta la composición de la atmósfera de Marte, con la presencia en ella de abundante anhídrido carbónico y de oxígeno y agua, pero en cantidades mínimas, y los valores de las temperaturas de su superficie, puede admitirse la posibilidad de que existe vida muy sencilla y en condiciones ambientales de extrema dureza; es más, según M. Hack, las condiciones de vida en las más altas cumbres del Himalaya serían más favorables que las existentes en Marte, por lo que sólo acaso ciertos vegetales del tipo de líquenes pudieran existir.

La vida, que sobre Marte pudo aparecer hace millones de años, en depósitos permanentes de agua, cuando las condiciones atmosféricas de Marte fueron semejantes a las de la Tierra, ha degenerado, al desaparecer los acúmulos de agua de su superficie.

Como conclusión quizá pueda admitirse que Venus y Marte son dos estadios de desarrollo planetario diferentes; Venus el del pasado, hace millones de años, y Marte lo que será la Tierra cuando transcurran también otros millones de años. En estado aún más avanzado en esta evolución está la Luna, en la que ha desaparecido ya la atmósfera y el agua de su superficie, por lo que en la Luna no es ya posible ningún tipo de vida, por sencilla que ésta fuese. De lo que se deduce que sólo la Tierra posee masas de agua que envolviéndola discontinuamente dan origen a la hidrosfera, y otras que corren y se deslizan sobre los continentes y una atmósfera con condiciones apropiadas para que, por su composición, pueda haberse creado la vida en la Tierra y alcanzar la diversidad y gran desarrollo que en la actualidad tiene.

#### ORIGEN DE LA ATMÓSFERA Y DE LA HIDROSFERA TERRESTRE

Analizaremos a continuación cuál puede haber sido lo sucedido en el tiempo para que en la Tierra llegase a existir una atmósfera con determinada composición y temperatura y masas de agua acumuladas en la superficie y corriendo sobre ellas, que permitieran que la vida se crease y se desarrollase en nuestro planeta.

Si comenzamos el ciclo evolutivo de la Tierra cuando ya había pasado de su estado «estelar» y presentaba en superficie un magma suficientemente consolidado, pero aún en estado plástico, al estar aún a alta temperatura, el proceso para la formación de la corteza primitiva y de la atmósfera, siguiendo a A. Rittmann, pudo ser el siguiente:

Al perder en el transcurso del tiempo temperatura la envoltura gaseosa externa de la Tierra, denominada por A. Rittmann pneumatosfera, por irradiación y por pérdida hacia el exterior de partículas gaseosas, en general cargadas de energía, la masa magmática aún a alta temperatura que constituía la superficie exterior de la Tierra, comenzó a cristalizar, originándose una delgada costra ya francamente sólida, en un principio de gran homogeneidad y frágil, por lo que constantemente se quebraba y se refundía, llegando con el tiempo a adquirir relativo gran espesor y más al irse acrecentando por materiales arrojados por grandiosas erupciones volcánicas de tipo efusivo que tenían lugar a través de

muy extensas fisuras existentes en esta primitiva corteza, llegando así a alcanzar espesor de unos diez kilómetros, cuando aún su superficie estaba a unos  $700^{\circ}$  C de temperatura. El espesor de esta primitiva corteza terrestre siguió incrementándose por nuevas aportaciones de materiales eruptivos que se derramaban por su superficie, llegándose a constituir una corteza de gran consistencia y espesor, diferenciada en dos conjuntos, uno denso y básico que se acumuló en la base de la corteza con predominio de silicatos de magnesia, el «sima». y otro más ligero y ácido que constituyó las zonas superficiales con abundancia de silicatos de aluminio, el «sial». Perdiendo constantemente temperatura, esta envoltura sólida de la Tierra llegó a tener unos  $400^{\circ}$  C, constituyéndose entonces una corteza o cascarón a manera de envoltura más externa y muy refractaria que envolvió totalmente al globo terrestre. Tal hecho determinó que la pneumatosfera, al perder temperatura dejara de ofrecer carácter de solución pegmatítica, reteniendo en su masa todo el agua al estado de vapor y todos aquellos otros materiales que a  $400^{\circ}$  C son volátiles o solubles en el vapor de agua sobrecalentado, vapor de agua que procedía de las masas magmáticas y que alcanzaba la superficie terrestre debido al intenso y prolongado volcanismo, vapor que quedaba retenido en la primitiva atmósfera en virtud de la alta temperatura de ésta, pero en constante descenso. Nuevos aportes de vapor de agua y el descenso de la temperatura de esta atmósfera llegaron a determinar la saturación del vapor de agua en ella. Al proseguir su descenso térmico tuvieron lugar condensaciones y precipitaciones formidables de calientes aguaceros.

Tales hechos no presuponen que estas intensas y continuas precipitaciones fueran debidas al agua contenida en la primitiva atmósfera, pues en ella no existía al estar en un principio constituida por mezcla gaseosa fundamentalmente integrada por amoníaco, metano y anhídrido carbónico, gases expulsados por los volcanes en tiempos precámbricos.

Antes de alcanzarse este estado de cosas, en tiempos muy primitivos de la evolución de la prototierra, cuando su atmósfera había cambiado su composición primitiva, ésta se perdió en dos etapas sucesivas, la primera hace unos cinco mil millones de años, por efecto del viento solar, conjunto de radiaciones, haces de electrones y de ondas diversas procedentes del Sol incandescente. En la segunda etapa, los componentes más ligeros de las masas gaseosas aún contenidos en la atmósfera salieron proyectados, hace unos cuatro

mil quinientos millones de años, desde las protuberancias atmosféricas ecuatoriales de la Tierra, hacia los espacios sidéreos, al girar entonces nuestro planeta quizá diez veces más rápidamente que en tiempos actuales, segunda etapa que se ha deducido teniendo en cuenta que la cantidad de los gases primitivos de la atmósfera, como el neón y el criptón, existente hoy en ella, están en proporción de una cien millonésima y una diez millonésima, respectivamente, de las proporciones existentes en el Sol. Pasadas estas dos etapas fue cuando la pneumotosfera de A. Rittmann se constituye, estando formada por una mezcla de anhídrido carbónico, amónico y metano.

Entre los gases arrojados por el volcanismo se ha indicado que el vapor de agua es el más abundante, variando su proporción, según el tipo de erupciones, entre un 60 y un 90 por 100, del resto del volumen gaseoso de igual procedencia. Es abundante también el anhídrido carbónico y el nitrógeno; el anhídrido sulfuroso está en cantidades acusadamente menores, y el hidrógeno, óxido de carbono, azufre y cloro en cantidades mínimas. En las fumarolas actuales se desprenden estos gases en proporciones parecidas, especialmente en las secas y ácidas que son pobres en agua, siendo abundante ésta en las de tipo alcalino.

En las solfataras de Larderello, en Toscana, los gases que se desprenden son el vapor de agua con 955,52 g/kg.; el ácido carbónico con 42,65 g/kg.; el hidrógeno sulfurado, ya en cantidad mucho menor, con 0,88 g/kg., Y además, ácido bórico, amoníaco, metano e hidrógeno, en cantidades pequeñas. El geiser de Waimangu, en Nueva Zelanda, en la época de su esplendor, en cada erupción lanzaba al aire hasta 800 metros cúbicos de agua y se ha calculado que la erupción del Etna, de 1865, lanzó nubes de vapor de agua, cuyo volumen total se ha calculado en unos dos millones de metros cúbicos de agua.

Teniendo en cuenta los datos indicados, se comprende que R. Fraser indique que si comparamos la cantidad de vapor de agua emitida por todos los volcanes del mundo, desde el comienzo de las eras geológicas, con el volumen de las aguas existentes en los mares y océanos, se deduce que ambas cantidades son aproximadamente iguales, alcanzando a un volumen de un millón de millones de metros cúbicos de agua.

Respecto a la indicada composición de la atmósfera primitiva, se deduce que así sea, debido a los gases arrojados por los volcanes en sus erupciones que son, principalmente, hidruros, cuyas moléculas están compuestas por pequeñas cantidades de elementos químicos, tales como nitrógeno, carbono y oxígeno combinados con hidrógeno. Respecto al

origen del hidrógeno y del oxígeno de la atmósfera actual, su presencia es debida a un proceso secundario relacionado con la descomposición química del amoníaco por la radiación ultravioleta procedente del Sol, perdiéndose la mayor parte de los átomos y moléculas de hidrogeno originadas, en los espacios exteriores, debido a su escasa densidad, pero en cambio, y debido a su peso, quedaron formando parte de ella el oxígeno, el carbono y el nitrógeno. También fue descompuesto el metano que contenía la atmósfera primitiva foto químicamente, dejando carbono libre que se combinó con el oxígeno de reciente formación, dando origen al anhídrido carbónico, siendo la cantidad en que se originaba el oxígeno, partiendo de la descomposición del vapor de agua por la radiación ultra violeta muy lenta para poder convertir, según indica R. Fraser, todo el monóxido de carbono procedente de las erupciones volcánicas a través de la historia de la Tierra, en anhídrido carbónico. Teniendo tal hecho en cuenta, no hubo oxígeno libre atmosférico hasta que no fueron creadas y se desarrollaron las plantas sobre la superficie terrestre, lo cual aconteció hace mil millones de años. Para ello, tanto en la atmósfera como en el mar, tuvieron que originarse las primeras proteínas y nucleótidos, siendo pues el aire que se respira hoy originado por seres vivos, conjuntamente con procesos y fenómenos mecánicos, desarrollados en la corteza terrestre, o sea las erupciones volcánicas.

El papel predominante que hoy se achaca a la corteza terrestre, respecto al ambiente que nos ofrece la Tierra en superficie, es el haber originado por segregación de su masa, los gases que finalmente dieron origen a la mezcla que formó el aire que respiramos y al conjunto del agua que acumulada en su superficie, dio origen a los mares, agua que fue arrojada al estado de vapor por los fenómenos volcánicos, en tiempos anteriores al período Cámbrico y que procedía de las zonas profundas de la primitiva corteza de la Tierra.

Por lo indicado, la idea que se ha venido manteniendo, respecto a que el origen del mar primitivo, era debido a precipitaciones de agua contenida al esta do de vapor en la atmósfera primitiva, realmente extraordinarias que cayeron sobre la superficie sólida de la Tierra, no está de acuerdo con los conocimientos que de este proceso se tiene hoy día, y que esquemáticamente se ha indicado.

## PRESENCIA DE LAS AGUAS SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Teniendo en cuenta la presión de carga de la pneumatosfera, la condensación del vapor de agua debió tener lugar al alcanzarse su temperatura crítica, o sea, los 347<sup>0</sup> C, originándose entonces sobre la superficie terrestre formidables precipitaciones de soluciones hidrotermales que se evaporarían rápidamente al ponerse en contacto con la superficie de la Tierra aún a alta temperatura, volviendo el agua a concentrarse en la atmósfera, desde la que se precipitaría de nuevo, originándose así un ciclo de extraordinaria violencia que poco a poco contribuiría a rebajar la temperatura de la superficie sólida de la Tierra.

No tardaría en constituirse en ella, determinadas depresiones relativamente amplias, de poca hondura y numerosas, que fueron ocupadas por las aguas ya de modo permanente, formándose así las primitivas áreas marinas con carácter hidrotermal y con acusada y peculiar salinidad.

Según indica A. Rittmann, en un principio no tendría lugar el desarrollo de un mar poco profundo y ecuménico o «panthalasa» que cubriera totalmente la superficie terrestre, sino mares limitados, que ocuparían las indicadas depresiones, entre las que se extenderían las masas «continentales». La hidrosfera, en un principio, estuvo representada por áreas marinas aisladas a relativa alta temperatura y con gran salinidad.

## CONSTITUCIÓN DE LA ATMÓSFERA E HIDROSFERA ACTUALES

A partir de entonces la composición de la atmósfera varía con rapidez, llegando a ser sensiblemente como la actual, siendo su temperatura la que le prestase el ambiente climático en zonas de contacto con la superficie terrestre, habiendo perdido, por lo tanto, las altas temperaturas de los tiempos primitivos. Al mismo tiempo la primitiva hidrosfera pierde igualmente temperatura alcanzando aproximadamente la que hoy tienen las zonas oceánicas intertropicales, modificándose también y muy acusadamente su salinidad, que llegó a ser muy poco diferente a la que hoy nos ofrecen las zonas oceánicas, con un 35 por 1.000 de sales disueltas en sus aguas.



## LA APARICIÓN DE LA VIDA EN LA TIERRA

Es entonces, cuando debió crearse la vida en la Tierra. Para que tan trascendental hecho tuviera lugar, debió acontecer algo extraordinario y semejante al hecho siguiente: si una mezcla de amoníaco, metano y agua se somete en el laboratorio a la ionización y acción fotoquímica de una descarga eléctrica, se puede observar que se originan aminoácidos, compuestos considerados como base de la molécula proteínica que es el componente fundamental de todas las células de los seres vivos. Es más, Shramm, de Tubigen, realizó en un caldo de azúcares, aminoácidos y submolécula de DNA, o sea nucleótidos, la síntesis de proteínas, compuestos orgánicos que según R. Fraser deben unirse para constituir bien un ratón o un hombre.

Nada tiene de extraño que estos compuestos complejos puedan haberse creado en una Tierra aún sin vida y en las condiciones de presión, temperatura y salinidad que ya ofrecía este primitivo océano, lo que está de acuerdo con los descubrimientos y estudios científicos de la Paleontología, que nos hacen ver que los organismos más primitivos y sencillos aparecen contenidos y fosilizados en los estratos rocosos de las más antiguas formaciones geológicas conocidas, cuyos conjuntos sedimentarios se depositaron en el fondo de estos mares, ambiente marino que tuvo que ser por su uniformidad térmica, por la salinidad tan variada y ponderada, en correlación entre sí de las diferentes sales y cuyos elementos tan precisos son para el normal desarrollo de estos primitivos y sencillos seres, donde surgiera la vida.

## EL CICLO DEL AGUA METEÓRICA

Al existir ya sobre la superficie de la Tierra el mar, envoltura externa líquida o hidrosfera, sus aguas se evaporan en parte, siendo transportadas por los vientos, precipitándose sobre las superficies de los continentes, por lo que van las aguas a constituir dos conjuntos: las marinas y las continentales.

Si las precipitaciones tienen lugar sobre las altas montañas o sobre las tierras polares, antes de alcanzar nuevamente el mar, estas aguas continentales se van a subdividir en dos conjuntos, las que quedan al estado de nieve y de hielo retenidas temporal o

permanentemente sobre la superficie terrestre, y las que corren sobre los continentes. Las aguas corrientes, siguiendo las pendientes del terreno o red fluvial, se van a diferenciar nuevamente en las que vuelven a la atmósfera al evaporarse y en las que se infiltran en el terreno, pero todas terminarán por alcanzar el mar, salvo aquéllas que puedan quedar retenidas en zonas deprimidas endorreicas sin vertientes hacia el mar, que irán nuevamente a la atmósfera a] evaporarse o alcanzarán el mar siguiendo caminos subterráneos.

Las aguas convertidas en nieve y en hielo se pueden considerar que dan origen a una roca, y en especial el hielo, pues pese a ser material efímero, se debe asociar su carácter de relativa dureza, a la noción de roca que, además, es del tipo cristalino, al estar constituida por un agregado de cristales pertenecientes al sistema exagonal.

Muy importantes masas de hielo se han conservado a lo largo del Cuaternario en zonas septentrionales de Siberia, y en este país, en el subsuelo yace el agua helada interestratificada con otros materiales rocosos. En Nueva Zembla se han reconocido depósitos de hielo realmente fósiles, que aparecen cubiertos por sedimentos arcillosos que contienen conchas marinas diversas semifosilizadas.

Este agregado cristalino exagonal, el hielo, que ofrece dureza de 1,5, puede alcanzar a veces espesores superiores a los 2.500 metros, en Groenlandia y en la Antártica, debido a la superposición de numerosísimas capas o estratos, habiéndose originado así una verdadera y potente masa rocosa sedimentaria.

Vemos, pues, que la presencia sobre la superficie terrestre del mar, la existencia de temperaturas adecuada para evaporar el agua de su superficie, su almacenamiento en la atmósfera, su transporte por los vientos, lo que permite que llueva y nieve sobre los continentes, desarrollándose la red de aguas que retornan así, o por otros caminos al mar, de donde proceden, es ciclo que jamás se interrumpe, lo que hace ver que la Tierra es un astro vivo.

## LAS AGUAS SUBTERRNEAS

Las aguas que más cambios han de sufrir antes de alcanzar nuevamente el mar son, las que infiltrándose en el terreno siguen caminos subterráneos. Su desplazamiento es, en general, muy lento, adquiriendo por ello, debido a disoluciones diversas, determinada salinidad y a veces, si en su recorrido han alcanzado profundidad acusada cierta

temperatura, debido al incremento del grado geotérmico de la corteza terrestre. Tales cambios es lo que determina que al brotar de nuevo sus características físicas y químicas hayan cambiado, por lo que sus manantiales o fuentes dan origen a las aguas denominadas mineromedicinales, termales o no.

Con cierta frecuencia, los manantiales de este tipo son el resultado de mezclas de dos tipos de aguas muy diferentes, las de origen meteórico transformadas por lo anteriormente expuesto, y las de tipo juvenil o nuevas. Trataremos más adelante de éstas.

### AGUAS DE RÉGIMEN CÁRSTICO

Cuando amplias zonas de la superficie terrestre aparecen constituidas por rocas calizas, las aguas infiltrándose en el terreno, siguen las fisuras y diaclasas que afectan a estas rocas, acumulándose en ellas en cantidades a veces considerables desplazándose por el subsuelo con régimen semejante en ocasiones al de las aguas corrientes superficiales, que son en estas zonas cálcicas muy escasas por haber desaparecido por infiltración total o casi totalmente. Estos países son denominados cársticos, siendo en ellos frecuentes las resurgencias o fuentes de extraordinario volumen, a veces de varios metros cúbicos por segundo, resurgencias que no son sino la reaparición en superficie de las aguas que se sumieron al cruzar los cauces de ríos o arroyos países calizos y que efectuando recorridos más o menos complicados y largos, aparecen de nuevo.

El caso del gran manantial de Fontibre, situado en la comarca de Campó de Suso, en las montañas de Reinosa, en la provincia de Santander, no es más que una resurgencia del Híjar, que en las cercanías de este manantial se pierde, cuando su caudal en verano va disminuido, al atravesar su cauce un manchón de rocas calizas, volviendo a surgir sus aguas después de un recorrido de algunos kilómetros, algo acrecentadas por el aporte de otros cauces subterráneos en Fontibre.

Las aguas subterráneas cársticas desarrollan en sus recorridos subterráneos una labor extraordinaria, por el proceso erosivo normal y el de disolución, al contener el agua meteórica cantidades notorias de anhídrido carbónico, lo que permite que el agua reaccione químicamente con las calizas, convirtiéndose superficialmente sus masas al contacto con el agua, de carbonato cálcico poco soluble, en bicarbonato cálcico soluble. A tal proceso es debida la formación de laberínticas galerías y cavernas que alcanzan a veces dimensiones

extraordinarias, como sucede con la Cueva de Ribadesella, en Asturias, o la más grandiosa y compleja de Nerja, en el litoral mediterráneo de Málaga. Son también en estos países calizos frecuentes a veces los ríos subterráneos, con existencia de pequeños lagos que desaguan mediante sifones, lo que no sucede con las corrientes de la red fluvial superficial sino raras veces.

## EL NIVEL FREÁTICO

Es corriente que el agua de origen meteórico se acumule en el subsuelo a no gran profundidad, dando origen, al saturarse la tierra de ella, al nivel freático. El hombre, desde los más remotos tiempos, ha excavado pozos tratando de alcanzar este tipo de aguas retenidas en la capa freática, así llamadas de «freas», pozo. En los países más o menos áridos se han excavado pozos con extraordinaria pasión y esperanza, y cuando han tenido éxito, son estos pozos punto de confluencia de caminos y hacia ellos se dirigen constantemente gentes y ganados, dando origen a aglomeraciones extraordinarias. Buen ejemplo de pozos de este tipo es el profundo y de buenas aguas de Zug, situado en los campos meridionales de Tiris, en el Sáhara español, en zona de muy acusadas características desérticas.

## MANANTIALES O FUENTES DE TIPO CORRIENTE

En muchos casos, las aguas meteóricas al correr sobre el terreno se infiltran en parte en él, volviendo a surgir de nuevo después de recorridos sencillos y cortos, dando origen a manantiales de tipo corriente, no diferenciándose sus agua sensiblemente por sus características de las que corren sobre el terreno, manantiales y fuentes, junto a las cuales se ha asentado el hombre desde lo más remotos tiempos, siendo parajes que en muchos casos han llegado a constituir, según la importancia relativa del manantial, núcleos humanos más o menos importantes.

El primitivo núcleo romano de Cáceres, Norba, se situó en zona en la que brotan manantiales de cierta importancia, y entre ellos el de El Marco, que viene sirviendo desde entonces para el abastecimiento en partes de la ciudad.

Otro caso importante son los manantiales existentes en el Sáhara español, en la localidad de El Aaiúm, habiéndose establecido desde tiempos primitivos junto a estos manantiales un lugar de estancia para estos hombres nómadas y sus ganados. Tal lugar ha llegado en época actual a dar origen a la capital, El Aaiúm, de esta provincia española.

El estudio de estas fuentes, la razón de su existencia, la posibilidad de aumentar o no su caudal, el establecimiento del perímetro de protección, para evitar contaminaciones siempre peligrosas, son cuestiones que deben preocupar, pues contribuyen así al conocimiento hidrológico del país, lo que siempre es de gran interés.

## LOS ACUÍFEROS

También puede el agua, alcanzando niveles más profundos, quedar retenida, dando origen a niveles acuíferos, los que cada vez van teniendo más importancia, al no ser suficiente ya el agua que corre por la superficie de la tierra para cubrir las necesidades del hombre en amplios espacios.

Caso especial es el de los mantos acuíferos artesianos, pues al quedar el agua retenida entre capas o estratos impermeables almacenada en niveles permeables, después de haberse infiltrado en el terreno, puede estar sometida a presión, y si la estructura de la formación geológica es adecuada, puede el agua surgir a la superficie y así elevarse en surtidor sobre ésta, al ser alcanzada su masa por perforación mecánica o sondeo. Tal es el caso afortunado que ha tenido lugar en Villa Cisneros, en nuestra provincia del Sáhara, en donde mediante un sondeo se ha alcanzado un acuífero artesiano profundo, sometido a fuerte presión, lo que ha hecho que el agua con importante caudal surgiese y alcanzase sobre la superficie del suelo gran altura, agua de buena calidad cuando se enfría, pues viene de relativa gran profundidad, pudiendo emplearse para toda clase de usos, en este importante núcleo humano de las costas del Sáhara.

Por ello, en estos últimos tiempos se están desarrollando extraordinariamente los estudios e investigaciones hidrogeológicas, con el afán de localizar estos acuíferos, alcanzarlos y alumbrar sus aguas. De este modo se han abastecido de aguas ciudades y pueblos, y se han puesto en regadíos zonas más o menos extensas de acusada aridez, donde las precipitaciones son muy escasas y accidentales.

## LA PREOCUPACIÓN POR LA ESCASEZ DE AGUAS PARA ABASTECIMIENTOS

Existe actualmente gran preocupación en general, al ser los abastecimientos de agua de todo tipo ya existentes, insuficientes para cubrir todas las necesidades, planteándose por ello problemas a veces de muy difícil solución, cuando se trata de aumentar su caudal.

Hasta primeros de siglo el abastecimiento de agua de Madrid era uno de los mejores, en relación a cantidad y calidad del agua, siendo la cuenca del río Lozoya de la que se abastecía la capital mediante grandes embalses y un canal que conducía el agua hasta Madrid. A partir de la segunda decena del corriente siglo y crecer acusadamente la población, aumentaron las necesidades de agua, siendo preciso incrementar el abastecimiento de la capital con las aguas del alto Jarama, con las del Sorbe, afluente principal del río Henares, y con la que se retire nuevamente del Lozoya mediante la gran presa en construcción de El Atazar. En la actualidad, se están efectuando importantes obras para traer también a Madrid las aguas del Alberche, con el propósito de que su abastecimiento alcance en un futuro inmediato unos 15 metros cúbicos por segundo, es decir, un volumen de agua como el de un río ya de cierta importancia.

Pero el problema no afecta sólo a las capitales, sino a la población en general, por lo que para el abastecimiento de agua y saneamiento de toda clase de núcleos humanos se han de invertir en España, en el próximo cuatrienio, doce mil millones de pesetas, para así alcanzar, en el plazo más breve posible, un estado de equilibrio dinámico entre la demanda para satisfacción de las necesidades de abastecimiento y saneamiento, y los recursos de agua disponible para estos fines, siendo el volumen de agua que se estima necesario para ello de unos 5.365 hectómetros cúbicos.

## DESALACIÓN DEL AGUA DEL MAR

Al no ser posible abastecer de agua en cantidad suficiente con las aguas corrientes o subterráneas determinados núcleos humanos o proporcionar el agua necesaria para implantar regadíos, así como para otros servicios, en los países litorales se ha acudido al medio de desalar el agua del mar mediante procesos de evaporación o de congelación, existiendo ya numerosas e importantes instalaciones con tal objeto en diversos países y localidades, y entre ellas, y por el método de evaporación, en la capital de Lanzarote,

Arrecife, instalación que no sólo abastece a la capital de agua, sino que la suministra también a la mayor parte de los núcleos urbanos de la isla.

Cuando los gastos de tal proceso disminuyan, lo que no ha de tardar, estas instalaciones serán mucho más frecuentes, y determinadas zonas de acusada aridez podrán, mediante regadíos, convertirse en verdaderos vergeles, como ya sucede en determinados países litorales .con resultado excelente.

## LAS AGUAS NUEVAS O JUVENILES

Las aguas de origen profundo, denominadas nuevas o juveniles, proceden de las masas magmáticas, y al brotar por primera vez contribuyen a aumentar el caudal de las aguas superficiales de la tierra. Pueden y deben ser consideradas como un «mineral» más, de los muchos que se vienen explotando, ofreciendo en muchos aspectos extraordinario interés. Se las debe considerar además como un mineral «vivo», debido a los cambios que constantemente sufren y, al mismo tiempo, por desprender energías diversas: calor, radiactividad y otros fenómenos energéticos aún hoy no del todo conocidos, y que tanto influyen en los procesos fisiológicos desequilibrados del organismo humano, por lo que desde muy antiguo fueron consideradas como un presente de los dioses a la humanidad enferma.

Son además las aguas juveniles emisarios que desde zonas muy profundas de la corteza terrestre nos traen noticias de lo que allí pueda ocurrir, por lo que su estudio es de extraordinaria importancia.

Estas aguas, de origen muy profundo, ofrecen características especiales. A 300<sup>0</sup> C es suficiente una presión que sobrepase algo los 90 Kg.0 por centímetro cuadrado para que el agua se mantenga líquida. A mayor temperatura, bajo presiones suficientes, el agua adquiere características de extrema fluidez, siendo en tal estado como debe encontrarse en zonas profundas de la corteza terrestre, debido a las enormes presiones allí existentes, teniendo en tales condiciones poder disolvente extraordinario, lo que explica el tipo de la salinidad con que brotan a veces.

Está este tipo de aguas en general, respecto a sus manantiales, subordinado a importantes fracturas de la corteza terrestre, fracturas que marcan directrices en que

apoyarse en relación con los estudios hidrogeológicos, pudiendo así deducirse qué relación pueda existir ,entre las fracturas o fallas y la surgencia de este tipo de manantiales.

Según Freire de Andrade, las grandes fallas sólo marcan la localización y directrices de posibles manantiales de tipo juvenil, siendo las zonas de cruce de estos importantes accidentes, las que determinan, con gran frecuencia, la localización de los más destacados manantiales juveniles, que mezclados en mayor o menor proporción con otros de origen meteórico tanto abundan en Galicia, sistemas de fallas que en este caso de arrumban de SW. a NE. y de Sur a Norte, quedando localizados los manantiales de Verín, Curtís, Caldas de Reyes y Mondariz, entre otros, en el cruce de ellas.

Se deduce que estos manantiales son de tipo juvenil, entre otros hechos por el tipo de elementos que estas aguas tienen en disolución, que si bien en pequeña cantidad y a veces mínima, las presta características especiales, pues se trata de elementos muy poco abundantes en las zonas superficiales de la corteza terrestre, como acontece con el litio, fluor, bromo, cloro y fósforo, siendo a veces también ricas en anhídrido carbónico y cloruro sódico, compuestos que son arrastrados desde zonas muy profundas de la corteza terrestre en disolución por este tipo de aguas. En estos casos, tienen estas aguas ciertas semejanzas con las que brotan en campos volcánicos o con las que se desprenden con ocasión de las erupciones volcánicas.

Otra característica que suelen ofrecer las aguas juveniles y que ha llamado siempre la atención de las gentes, es su temperatura, que a veces es acusadamente alta, dando origen a las termas de los romanos, a las alhamas de los árabes, y en Galicia y Portugal, a las caldas.

La temperatura de este tipo de aguas es natural, alcanzando la superficie más o menos caliente si causas accidentales no se oponen a ello, tal como su escaso caudal, ascendencia muy lenta o mezcla con aguas abundantes de origen meteórico.

El termalismo también pueden adquirirlo las aguas meteóricas, si en su recorrido subterráneo alcanzan gran profundidad, debido al incremento del grado geotérmico; tal es el caso de las aguas de Alhama de Aragón o de las Burgas de Orense, pues no hay razones suficientes para considerar a estas aguas como de tipo juvenil, tanto por su caudal, como por la composición química que ofrecen pese a su alta temperatura.

En la Península los manantiales termales de tipo juvenil más o menos acusado son muy frecuentes, indicando tal hecho la gran complejidad geotectónica de nuestro país,



pudiéndose citar a este respecto las Caldas de Montbuy, en la provincia de Barcelona, aguas que brotan a 50° y 70° en relación con una gran falla que afecta a formaciones graníticas, y las de Arnedillo, en la provincia de Logroño, que brotan a la temperatura de 52,5°, estando igualmente en relación con otra gran falla. El mismo origen tienen las de La Hermida, en la zona de los Picos de Europa, en Santander, que con sus 52°, brotan en relación con otra falla de gran importancia.

La radiactividad es otra de las características que ofrecen las aguas profundas de tipo juvenil, pero parece ser, según indica el Prof. Pinto Basto, que no existe relación entre la composición química prevista, de las aguas y su radiactividad, pero sí se acentúa ésta cuando las aguas proceden de campos graníticos afectados por fallas importantes o de zonas paleozoicas hercínicas. Tal es lo que sucede con varios manantiales en el ámbito de Galicia y con el de Alanje, en la provincia de Badajoz, de muy acusada radiactividad. En otros casos, la radiactividad no parece tener relaciones muy directas con las condiciones indicadas, pudiendo servir de ejemplo el importante manantial de Solares, en Santander, que es acusadamente radiactivo, brotando a través de potentes formaciones del Secundario, que aparecen afectadas por una gran fractura que corre al pie de las laderas del NW. del macizo de Peña Cabarga, pero sin conexión aparente con formaciones paleozoicas o masas intrusivas de tipo de rocas endógenas.

## LOS ESTUDIOS DE HIDROGEOLOGÍA

La Hidrogeología en general y muy especialmente cuando se ocupa del estudio de los manantiales minero-medicinales y juveniles, es una de las tareas científicas que más une al hombre en su afán de investigación, pues el estudio de estas aguas que de lo profundo de la corteza terrestre a nosotros llegan, con características tan peculiares y cualidades tan misteriosas, no sólo ofrecen camino para llegar a lo desconocido, sino que son aguas vivificantes, que llevan el descanso, la salud y la alegría a los que sufren.

Es necesario el estudio de este tipo de manantiales, pues dice el Profesor Enrique Ramos que las aguas minero-medicinales actúan sobre todo el organismo, que el balneario no sustituye, pero complementa a los fármacos, siendo preciso un diagnóstico correcto y una cura hidrotermal bien dirigida, para que el agua actúe con normalidad' sobre el individuo enfermo. La causa de las curaciones, o al menos las mejorías notorias, no son debidas al

factor psicológico o de fe en el paciente, sino a las acciones específicas de este tipo de aguas.

El estudio de las aguas minero-medicinales y juveniles se impone. Es preciso modernizar los establecimientos balnearios y al mismo tiempo llevar a cabo, mediante equipos de técnicos, el estudio detenido de estos manantiales, para deducir así a qué cauce obedecen, el porqué de su localización, y cuáles puedan ser los procesos hidro-geológicos que han determinado sus características peculiares.

Es dicho corriente en boca de los campesinos extremeños indicó que «somos plantas de la tierra», y tienen razón, pues bien se ve cómo las plantas obtienen de la solución del suelo las sustancias necesarias para su normal desarrollo, siendo lógico admitir que si está bien diagnosticada en el paciente su dolencia y cuales puedan ser las causas que la determinan, que este tipo de aguas que de lo profundo de la tierra vienen curen, o al menos mejoren el desequilibrio fisiológico del enfermo.