

dra no era en manera alguna sílicea; contenía principalmente carbonato de cal, óxido de hierro, alúmina y carbono. Las líneas paralelas de vasos que se observan en la figura 49, representan los anillos de crecimiento anual; solo en un punto estos vasos se han conservado imperfectamente, y sin duda el leño había sido deteriorado antes de que la materia mineralizante hubiera penetrado hasta aquella parte del árbol.

Para poder explicar el procedimiento de petrificación en estos diferentes casos, es preciso en primer lugar admitir que las capas se hallan generalmente empapadas en agua cargada de cortas cantidades calizas y otras contenidas en disolución. Mas adelante veremos de qué manera se empapan las capas.

Cuando una sustancia orgánica se encuentra expuesta al aire libre, á la acción del sol y de la lluvia, acaba por prodrirse ó disolverse en los elementos mismos que la componen y que son principalmente el oxígeno, hidrógeno y carbono. La atmósfera absorbe muy pronto estos elementos ó bien son arrastrados por las aguas de modo que todo vestigio de animal muerto ó de planta desaparece. Pero cuando estas mismas sustancias se hallan sumergidas, se descomponen mas lentamente y si están sepultadas en la tierra desaparecen mas insensiblemente todavía, como se puede ver muy bien por los ejemplos que nos presentan las maderas que encontramos en ella.

Así pues, si á medida que cada partícula orgánica se desprende por la putrefacción para pasar al estado fluido ó gaseoso, otra partícula igual de carbonato de cal, de sílice ó de otro mineral, se halla pronta á depositarse, se puede presumir que la materia inorgánica irá á ocupar precisamente el lugar abandonado por la molécula orgánica. De esta manera no solo se obtendrá; 1º el molde interior de ciertos vasos, sino que las paredes de estos mismos vasos podrán seguir á descomponerse y experimentar una transformación semejante. Sin embargo; cuando el todo se halla petrificado, nada le obliga á formar una masa homogénea, pétreo ó metálica. Algunos de los elementos orgánicos originales, leñosos, huesos ú otros, pueden permanecer mezclados en ciertos puntos, al mismo tiempo que la sustancia petrificante puede colorearse diferentemente en diversas épocas ó bien cristalizar de manera que reflejen de otro modo la luz; así es como la textura del cuerpo primitivo puede ser fielmente representada.

Los principiantes preguntaran quizá si con arreglo á los principios de la química, podemos esperar que la materia mineral se precipite precisamente en los puntos mismos en que se verifica la descomposición orgánica. Los experimentos curiosos que vamos á citar, servirán para ilustrar este punto. El profesor Göppert de Breslau, ha tratado modernamente de imitar los procedimientos naturales de la petrificación. Al efecto ha sumergido diferentes variedades de sustancias animales y vegetales en varias aguas, algunas de las cuales contenían en disolución materia caliza, sílicea, ó metálica. Al cabo de algunos días ha observado que los cuerpos orgánicos así sumergidos, se habían mineralizado en parte. Así, pues, ha colocado en una disolución medianamente concentrada de sulfato de hierro, tiras delgadas, longitudinales, de pino de Escocia (*pinus sylvestris*). Después de haberlas dejado en el líquido durante algunos días, las hizo secar, y luego las expuso á un gran calor hasta que la materia vegetal se consumió y no quedó mas que el óxido de hierro; este óxido había tomado tan perfectamente la forma de la madera, que con el microscopio se veían distintivamente hasta los vasos que son particulares á esta familia.

Otro experimento ha sido referido por Pepys, en las *Transacciones geológicas*. Un cántaro de barro, que contenía algunos litros de sulfato de hierro en disolución, había sido olvidado en un rincón de un labora-

torio, por espacio de diez ó doce meses. Al cabo de este tiempo, cuando se examinó el líquido, se observó en la superficie una especie de cuerpo oleoso, y un polvo amarillento que se reconoció ser azufre; con este polvo se hallaba mezclada cierta cantidad de filamentos pequeños. En el fondo del cantaró se encontraron huesos de ratones en medio de un sedimento que contenía granillos de pirita, partículas de azufre sulfato verde de hierro cristalizado, y en fin, un óxido de hierro negro y terroso. Indudablemente sucedió que algunos ratones que cayeron accidentalmente en el líquido, se habían ahogado en él, y que por la acción mutua de la materia animal y del sulfato de hierro, el sulfato metálico había sido despojado de su oxígeno; lo cual había ocasionado la precipitación de las piritas y de los otros compuestos. Aunque los ratones no hubieran sido mineralizados ó convertidos en pirita, en fenómeno probó que las aguas minerales cargadas de sulfato de hierro, pueden desoxidarse al hallarse en contacto con la materia animal en putrefacción; y cómo las piritas pueden formarse átomo por átomo, y en circunstancias favorables reemplazar al oxígeno, hidrógeno y carbono, en que el cuerpo original debía descomponerse.

El doctor Turner ha observado que cuando la materia mineral se halla en estado naciente, es decir, en el momento mismo en que se separa del estado de combinación química, puede unirse mas pronto á otra materia, y formar un nuevo compuesto químico. Probablemente los átomos en el momento en que quedan en libertad, son de un volúmen infinitamente pequeño, se mueven con mas facilidad, y están en una palabra, mas dispuestos á ceder á los menores impulsos de la afinidad química. Cualquiera que sea la causa, es preciso admitir, como hemos hecho anteriormente, que donde la materia orgánica nuevamente depositada en el sedimento, se descompone, los cambios químicos tienen lugar con una actividad mayor.

Se ha analizado últimamente el agua que fluye del rico fango que deposita el río Hooghly, en el delta del Ganges después de la inundación anual, y se ha encontrado que está muy cargada de gas, ácido carbónico, que contiene cal en disolución. Ahora bien, si se admite que este fango nuevamente depositado, pueda ser penetrado por una materia mineral en estado de disolución, no será difícil comprender que los cuerpos orgánicos, sepultados naturalmente en el sedimento donde se descomponen, podrían petrificarse tan rápidamente como las sustancias sumergidas artificialmente por el profesor Göppert, en sus diferentes mezclas líquidas.

Se ha reconocido que el agua de los manantiales, ó la que filtra continuamente al través de la costra terrestre, contiene casi siempre una ligera proporción de hierro, de carbonato de cal, de azufre, de sílice, de potasa, ó de otros ingredientes terrosos, alcalinos ó metálicos. Los manantiales de agua caliente en particular, están cargados de uno ó varios elementos, y que solamente en estas aguas es donde se encuentra la sílice en abundancia. Se puede pues en ciertos casos, sobre todo en las regiones volcánicas, creer que la sílice de los maderos silicificados y de los corales ha sido suministrada por las aguas de las fuentes termales. En otros casos, en el trípoli, por ejemplo, la sílice ha podido nacer en gran parte, sino en totalidad de la descomposición de las diatomáceas, de las esponjas y de otros cuerpos. Si esto es así, nos resta todavía averiguar de dónde procede que un lago ó el Océano puedan estar constantemente provistos y en tanta abundancia de la materia caliza y sílicea de que les despojan para sus secreciones tantos seres vivos.

Respecto al carbonato de cal, no hay dificultad alguna para explicar su origen, no solo porque lo

manantiales calizos son abundantes, sino tambien porque el agua de lluvia, cuando cae sobre un suelo donde existen materias vegetales en descomposición, puede cargarse de cierta cantidad de ácido carbónico y adquirir así la facultad de disolver una parte de las rocas calizas por donde corre. Los corrales marinos y los moluscos encuentran pues en el agua de los rios la materia que constituye su concha y sus sustentáculos sólidos. La sílice pura por el contrario, aun cuando se hallara reducida á polvo impalpable y se la hiciera hervir mucho tiempo, es insoluble en el agua, excepto á una temperatura muy elevada. Sin embargo, el doctor Turner ha explicado muy bien en un ensayo sobre la química geológica, cómo la descomposición del feldspato podía producir mucha sílice en disolución. Ha hecho observar que la tierra sílicea que constituye mas de la mitad del feldspato, se halla íntimamente combinada con la alúmina, la potasa y algunos otros elementos. La materia alcalina del feldspato tiene afinidad química por el agua, así como por el ácido carbónico que existe en mayor ó menor abundancia en las aguas de muchos manantiales. El agua arrastra, pues, consigo, materia alcalina, y abandona á su paso, una arcilla compuesta de alúmina y sílice. Pero se reconoce que el resultado de esta descomposición, que en su mayor estado de pureza recibe el nombre de arcilla de porcelana, no contiene mas que una parte de la sílice que existía en el feldspato primitivo; la otra parte debe por consiguiente haber sido disuelta y arrastrada, y esto de dos maneras; en primer lugar, porque la sílice cuando está combinada con un álcali, es soluble en el agua; y en segundo lugar porque esta misma sílice cuando se halla técnicamente hablando en su estado naciente, es igualmente soluble en el agua.

Esto es un manantial de alimentos para los rios y las aguas del mar. Las rocas feldspáticas se hallan generalmente esparcidas y constituyen una gran porción de las formaciones volcánicas, plutónicas y metamórficas; aun cuando no se observen grandes masas de ellas, rara vez dejan de verse sus indicios en el guijo superficial ó en los depósitos de aluvion de la cuenca de los grandes rios.

La desagregación de la mica, mineral que entra por tanto en la composición del granito y de los diferentes gres, puede tambien producir sílice soluble en el agua; porque la mitad próximamente de este mineral está compuesta de sílice combinada con la alúmina, la potasa, y poco mas ó menos $\frac{1}{10}$ de hierro cuya oxidación al aire es la causa principal de la descomposición de la mica.

Mucho nos queda sin embargo que aprender todavía, antes de conocer completamente la transformación de los cuerpos fósiles en piedra. Algunos fenómenos nos conducen á creer que la mineralización se verifica con una rapidez considerable, porque se encuentran perfectamente convertidos en pedernal tallos que han debido ser blandos, jugosos y de una naturaleza muy perecedera. Se conocen ejemplos de silificación completa de hojas tiernas de palmeras á punto de desarrollarse en el estado en que las Indias occidentales se les da el nombre de palmita. Se puede preguntar sin embargo si en tales casos, el agua no ha poseído una cualidad antiséptica que ha retardado la putrefacción preservando de toda alteración las partes blandas de la sustancia sepultada como ha sucedido con la carne de ciertos cuerpos enterrados entre la turba.

Stokes ha citado varios ejemplos de petrificación en los cuales se han conservado unas veces las partes mas perecederas, y otras las mas duraderas. Estas variaciones segun dicho autor han dependido del tiempo en que se ha introducido el mineral petrificante. Así en ciertos tallos de palmera, el tejido celular, esa porción tan delicada, se encuentra en un estado per-

fecto de conservación al paso que todos los vestigios de la fibra dura del leño han desaparecido enteramente; los espacios que ocupaba han quedado vacíos ó se han llenado de ágata. Aquí la petrificación ha debido manifestarse poco tiempo después que la madera hubiera empezado á ser penetrada por la humedad; la materia mineral faltó, ó el agua se halla muy debilitada antes de la destrucción de la fibra del leño. Pero cuando solo esta fibra permanece visible debemos suponer que ha debido pasar un intervalo de tiempo, antes de empezar la petrificación, y que durante este tiempo el tejido celular ha sido destruido. Cuando estas dos partes á la vez, el tejido celular y la fibra leñosa se han conservado, la operación ha debido producirse instantáneamente y continuarse sin interrupción hasta que ha sido completamente terminada.

CAPITULO V.

ELEVACION DE LAS CAPAS DEL MAR.—ESTRATIFICACION HORIZONTAL É INCLINADA.

LA TIERRA SE HA ELEVADO, EL MAR NO HA BAJADO. Hemos establecido que las rocas acuosas que contienen fósiles marinos, ocupan una grande extensión sobre el continente; y que bajo formas de cadenas de montañas, se elevan á alturas considerables sobre el nivel del mar. Esto nos demuestra que los continentes de hoy día han estado alguna vez bajo las aguas. Si admitimos esta conclusión debemos suponer, ó que las aguas del Océano han bajado, ó que las rocas sólidas en otro tiempo cubiertas por las aguas, se han elevado sobre el nivel del mar.

Los primeros geólogos que se hallaron reducidos á esta alternativa, adoptaron la primera opinión; pretendieron que el Océano había cubierto en un principio la tierra: que después había bajado gradualmente hasta el nivel que hoy tiene, y que así es como las islas y los continentes habían quedado en seco. Pareció mas fácil á estos geólogos suponer un descenso del agua, que admitir una elevación por la que la tierra sólida se habría elevado á su posición presente. Les fue imposible sin embargo imaginar hipótesis alguna satisfactoria para explicar la desaparición de una masa tan considerable de agua de la superficie del globo; porque no se podría negar que el Océano ha cubierto con sus aguas todos los puntos elevados donde se descubren conchas marinas. Sin embargo, á medida que fue progresando la ciencia de la geología, se hizo evidente que ciertas regiones del globo habían sido alternativamente fondo del mar; luego, tierra descubierta; luego, bahía; luego, otra vez mar; y por último, otra vez tierra habitable, después de haber permanecido bastante tiempo en cada uno de estos estados. Para explicar semejantes fenómenos sin admitir movimiento alguno en la tierra, será preciso suponer varios retrocesos y crecidas del Océano; y aun esta teoría aplicable únicamente á los casos en que las capas marinas que componen la tierra firme son horizontales, dejaba sin explicación los casos mucho mas numerosos en que las capas están inclinadas ó encorvadas, posición que evidentemente no es la que han ocupado en su origen.

Los geólogos se vieron por fin obligados á recurrir á la otra alternativa; esto es: á la doctrina, segun la cual, la tierra ha subido y bajado sucesivamente cambiando muchas veces de nivel respecto del mar. Diferentes razones militan en favor de esta opinión; en primer lugar, puede explicar la posición de esas masas elevadas de origen marino y en las cuales la estratificación es horizontal; puede explicar tambien la posición de las capas que están dislocadas, rotas, verticales, ó inclinadas. En segundo lugar está en

armonía con los experimentos que nos demuestran, que la tierra se eleva gradualmente en algunos puntos y se baja en algunos otros. Semejantes movimientos se verifican aun en nuestros días; en ciertos casos han ido acompañados de violentas conmociones, mientras que en otros, se producen tan insensiblemente, que no se han podido demostrar sino por medio de las investigaciones científicas más minuciosas hechas con grandes intervalos de tiempo. Por otra parte ningún experimento ha demostrado el descenso del nivel del mar, y el Océano no puede bajar en un punto, sin que su nivel se modifique al mismo tiempo en toda la superficie del globo.

Estas observaciones preliminares prepararán al lector á comprender el gran interés teórico de todos los hechos relativos á la posición de las capas horizontales, ó inclinadas, encorvadas ó verticales.

La primera y más sencilla de todas estas posiciones es, aquella en que las capas de origen marino, se encuentran sobre el nivel del mar en una dirección horizontal. Tales son las que se ven al Sur de la Sicilia y que están llenas de conchas pertenecientes á las mismas especies que las que viven en nuestros días en el Mediterráneo. Algunas de estas capas se elevan á más de 600 metros sobre el nivel del mar.

Otras masas de montañas igualmente compuestas de capas horizontales de una edad muy antigua, contienen restos fósiles de animales totalmente diferentes de los que existen hoy. Al Sur de la Suecia, por ejemplo, cerca del lago Wener, uno de los depósitos fosilíferos más antiguos de la serie geológica designada en otro tiempo con el nombre de *depósito de transición*, y hoy con el de *siluriano*, nos muestra hechos colocados como si hubieran formado muy recientemente parte del delta de un gran río, y hubieran quedado en seco por el retroceso de los desbordamientos anuales. Rocas acuosas poco más ó menos de la misma edad, se extienden á algunos centenares de kilómetros en el distrito de los lagos de la América del Norte, y muestran igualmente una estratificación rara vez alterada. La Montaña de la Mesa en el cabo de Buena Esperanza ofrece otro ejemplo de capas muy elevadas, y sin embargo perfectamente horizontales; esta montaña tiene más de cien metros de altura, y está formada de gres de edad muy antigua.

En lugar de imaginar que estas rocas fosilíferas han ocupado siempre su nivel actual y que en otro tiempo el mar ha tenido bastante elevación para cubrir las con sus aguas, supondremos que en un principio han formado el antiguo lecho del Océano, y que después han sido elevadas gradualmente hasta la altura que ocupan hoy. Esta idea por asombrosa que pueda parecer á primera vista se halla sin embargo enteramente de acuerdo con la analogía de los cambios que se han verificado en nuestros días, en ciertas regiones del globo. Así en algunas partes de Suecia, en las orillas ó islas del globo de Botnia, hay pruebas de que la tierra ha experimentado desde hace algunos siglos, y experimenta todavía, un movimiento lento de elevación. Playfair ha emitido esta opinión en 1802; y en 1807, de Buch, después de haber viajado por Escandinavia, afirma que la tierra se elevaba allí progresivamente. Celsio y otros escritores suecos habían anunciado ya, cien años antes, que un cambio gradual se operaba desde algunos siglos antes en el nivel relativo de la tierra y del mar. Habían atribuido este cambio á un descenso de las aguas del Océano y del Báltico. Esta teoría sin embargo se refutó desde que se hubo reconocido que el cambio de nivel relativo no ha sido jamás universal ni igual por todas partes. En ciertas comarcas se ha elevado algunos metros por siglo; en otras, algunos centímetros; mientras que en la parte más meridional de la Suecia, en la provincia de Scania, la tierra ha perdido más que ha

ganado, como lo prueban antiguas construcciones que han descendido gradualmente bajo el nivel del mar.

Parece, según las observaciones de Darwin y otros, que algunas partes más extensas del continente de la América del Sur han experimentado una elevación lenta y gradual, á consecuencia de la cual las llanuras continuas de la Patagonia cubiertas de conchas marinas recientes, y los pampas de Buenos Aires, se han elevado sobre el nivel del mar.

Por otra parte el descenso gradual de la costa Sur de Groenlandia, en una longitud de más de 700 kilómetros, de Norte á Sur, en los cuatro últimos siglos, ha sido demostrado por las observaciones de un naturalista danés, el doctor Pingel. Mientras que estas pruebas de descenso y ascenso del continente por movimientos lentos é insensibles se recogen recientemente, otras pruebas se ofrecen diariamente por las violentas convulsiones que conmovían el país donde los temblores de tierra son frecuentes. Allí, las rocas se abren de tiempo en tiempo, se elevan ó se deprimen algunos metros cada vez, y son trastornadas de tal manera que la posición primitiva de las capas es para siempre modificada.

Darwin ha demostrado también en los mares donde abundan las islas circulares y los arrecifes de corales, se produce un descenso lento, pero continuo, de las montañas submarinas sobre que reposan las masas de corales, mientras que en otros puntos del mar del Sur, la tierra está más bien dispuesta á alzarse y el coral se ha elevado mucho sobre el nivel del mar.

Sería preciso todo un volumen para explicar al lector los hechos que establecen la realidad de estos movimientos de depresión y elevación de la tierra, que son seguidos ó precedidos de temblores de tierra, ó bien que se verifican con lentitud y sin desorden local. Diremos solamente aquí que tales cambios forman parte del curso actual de la naturaleza; este principio una vez admitido, será suficiente para dar la clave de un gran número de fenómenos geológicos, tales como la elevación de capas marinas horizontales inclinadas ó invertidas, y la superposición de los depósitos de agua dulce, á los depósitos marinos que describiremos más adelante.

Se verá también después cómo se explica por la doctrina del descenso continuo de la tierra, la manera cómo una serie de capas que se forman en las aguas bajas, pueden sin embargo acumularse en gran espesor. No se podría comprender la excavación de los valles, ni los otros efectos de la *desnudación*, si antes no se han apreciado detenidamente las pruebas de la elevación ó del descenso de la tierra en grandes extensiones.

Para terminar debemos hacer notar que si abrazamos la doctrina que atribuye la posición elevada de las posiciones marinas y la depresión de ciertas capas de agua dulce, á las oscilaciones del nivel de las aguas en lugar de atribuir las á las del nivel de la tierra, nos veríamos obligados á admitir que el Océano habría sido á veces menos profundo en toda su extensión que lo es al presente, mientras que en ciertos puntos habría tenido cerca de cinco kilómetros de profundidad más de los que tiene hoy.

ESTRATIFICACION INCLINADA. La prueba menos equívoca de un cambio en la posición primitiva de las capas, es la de la perpendicularidad de sus planos; que se observa frecuentemente, sobre todo en las comarcas montañosas. Así se observan en algunos puntos de Escocia, lechos de pudinga alternados con fajas de arena fina y como ellas en posición vertical. Cuando Saussure encontró por primera vez en los Alpes suizos ciertos conglomerados en una situación semejante, observó que los cantos casi todos de forma ovalada, tenían sus ejes más largos paralelos á las

paredes de la estratificación. De aquí dedujo que es-



tas capas debían haber sido en un principio horizontales, y que cada canto ovalado, había debido originariamente estar descansado en el fondo del agua por su lado plano, por la misma razón que un huevo no puede permanecer de hecho sobre una de sus puntas, sino está sostenido por un punto de apoyo. Algunas de las piedras redondeadas presentan á veces en los conglomerados una excepción á esta regla por la misma razón que vemos en una playa cubierta de piedras algunas de estas que descansan sobre su punta; pero han sido colocadas en aquella posición por las olas ó la corriente que las ha amontonado unas sobre otras.

Las capas verticales cuando se les puede seguir de una manera continua hacia su parte superior ó hacia su base hasta cierta distancia, parecen invariablemente formar parte de grandes curvas que pueden tener desde algunos metros hasta muchos kilómetros de radio. Se pueden citar en primera línea dos que afectan una gran regularidad; se ven en el *Forfarshire* donde se extienden en una superficie de 30 kilómetros, y más en anchura desde el pie de los *grampians* hasta el mar, cerca de *Arbroath*.

Sir James Hall ha descrito perfectamente curvaturas de rocas todavía más agudas y más numerosas en un espacio igualmente limitado como se ve en la figura 50. Se observa cerca de *Saint-Abb's Head* en la costa oriental de Escocia donde la roca principal es un esquisto azul de superficie frecuentemente ondulada. Las ondulaciones de los lechos se prolongan desde la cumbre á la base de los escarpados que tienen de 60 á 90 metros de altura; en un espacio de unos 8 kilómetros se cuentan 16 curvaturas distintas alternativamente cóncavas y convexas hacia la parte superior.

Sir James Hall hizo un experimento para reconocer la manera cómo las capas habían sido conducidas á esta posición después de haber sido primitivamente horizontales. Colocó bajo cierto peso una serie de pequeños lechos de arcilla, y ejerció una presión bastante fuerte contra sus extremidades opuestas para obligarla á aproximarse una hacia la otra.

Habiendo quitado después el peso, observó que los lechos se habían encorvado y doblado de modo, que se parecían en pequeño á las capas análogas de las rocas de *Saint-Abb*. Sin embargo, no se debe olvidar, que en las secciones naturales ó escarpadas marinas, no se ven más que imperfectamente los dobleces; son invisibles bajo las aguas, y por otra parte se puede suponer, que su parte superior ha sido separada por la *desnudación*, acción del agua que explicaremos en el capítulo siguiente. Las líneas negras de la fig. 51, representan la porción de las capas visibles en el escarpado. Las líneas menos oscuras, designan la porción oculta bajo el nivel del mar, así como la que se supone haber existido sobre la superficie actual. Se formaría una idea aun más aproximada de los efectos que la compresión puede producir sobre capas flexibles por medio del experimento siguiente: se colocan algunos pedazos de paño de diferentes colores sobre una mesa; después de haberlos extendido horizontalmente, se cubren con un libro, se colocan otros dos libros á los extremos, y se aprieta todo. Los dobleces y curvas que forman los pedazos de paño, re-

producirán exactamente los que se ven en las curvaturas de las capas según representa la fig. 52.

Difícil es resolver si estas curvaturas han sido el resultado de esfuerzos laterales de este género. En el caso de las rocas volcánicas y graníticas, podría creerse que algunas de ellas en el momento de la fusión habrían sido inyectadas en aberturas ó hendiduras, mientras que otras llegadas ya á un estado completo de solidez, habrían sido impelidas verticalmente al través de la costra superior de la tierra, lo cual ha debido causar un gran cambio de posición en las capas flexibles.

Sabemos también por el estudio que se ha hecho de las comarcas sujetas á temblores de tierra, que existen de una manera permanente en el interior del globo, causas capaces de producir un descenso del suelo generalmente muy local, pero que á veces se extiende á una gran superficie.

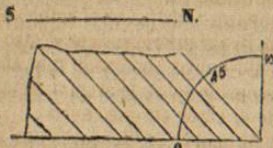
La repetición frecuente ó la continuidad de estos movimientos de descenso durante largos períodos, parece indicar la formación y renovación de cavidades á cierta profundidad bajo la superficie, ya sea por efecto de un cambio de posición de materias debido á la acción de los volcanes y de las fuentes termales, ya por la contracción de las rocas arcillosas bajo la influencia del calor y de la presión, ya en fin, por cualquier otra causa. Cualesquiera que sean las causas que se hagan sobre estas causas, es cierto que las capas susceptibles de doblarse, pueden cuando existen grados desiguales de esfuerzo, doblarse más ó menos, y aparecer como si la compresión se hubiera ejercido súbitamente por un esfuerzo lateral.

Los *creeps*, nombre usado en las minas de ulla, ofrecen una demostración de este hecho. En primer lugar, se puede establecer de una manera general, que la excavación de la hulla á una profundidad considerable, hace bajar en masas el conjunto de las capas subyacentes, aunque se tome la precaución de multiplicar los puntales que sostienen el techo de la mina. «En el *Yorkshire*, dice *Buddle*, se manifestaron tres hundimientos en la superficie del suelo, cuando se extrajeron los tres lechos de hulla subyacentes y se formaron multitud de hendiduras en el sentido vertical al través de las masas de gres y de esquisto arcilloso que sufrieron un aplanamiento proporcionado.» La cantidad exacta de depresión, no pueden en este caso apreciarse exactamente sino en los puntos en que el agua se acumula ó en aquellos en que un camino en hierro atraviesa la cuenca hullifera.

Entre los lechos de esquisto arcilloso que acompañan á la hulla, se encuentran algunas veces hojas de helechos fósiles dispuestas con tanta regularidad como plantas secas entre las hojas de papel de un herbario. Estas hojas de helechos ó frondas cuando se depositaron primitivamente, debieron extenderse en sentido horizontal sobre el limo blando; se hallan hoy así como los lechos de esquisto arcilloso inclinadas ó colocadas de canto, esto no puede ser sino por efecto de una alteración subsiguiente. La prueba es palpable cuando estas capas conteniendo restos de vegetales se encorvan y vuelven á encorvarse ó se doblan muchas veces en forma de Z de tal manera, que se puede atravesar un gran número de veces la misma capa de hulla en el mismo pozo perpendicular. Así es como en la cuenca ullifera cerca de *Monseu* en Bélgica estos dobleces en zigzag se repiten cuatro ó cinco veces como lo manifiesta la fig. 53, en la cual las líneas negras representan los lechos de ulla.

BAJADA Y DIRECCION. Hemos usado y usaremos algunos términos tectónicos como *bajada* y *estratificación discordante*, *líneas anticlinales*, y *sinclinales*, y *dirección* de las capas, y debemos dar alguna explicación acerca de estos términos. Cuando una capa ó lecho de rocas en lugar de ser perfectamente horizontal se inclina más ó menos, se dice que baja; el punto de la

brújula hacia que se inclina se llama *punto de bajada*, y el número de grados que se separa de la línea horizontal, se llama *cantidad de bajada* ó *ángulo de inclinación*. Así en el diagrama adjunto se ve la inclina-



ción de una serie de capas que bajan al Norte formando un ángulo de 45°. La *dirección* es la prolongación ó extensión de las capas en un sentido perpendicular á la bajada, y de aquí su nombre. Por ejemplo en el caso presente en que las capas bajan hacia el Norte, la dirección debe ser necesariamente al Este y Oeste. Los ingleses han tomado de los geólogos alemanes la palabra *strike* por medio de la cual designan la dirección: *streichen*, significa extenderse ó tener cierta dirección. Se pueden explicar exactamente estos dos términos bajada y dirección, figurándose una línea de casas que van del Este al Oeste. La longitud del tejado representaría la dirección de la capa de pizarras cuya bajada sería por un lado al Norte, y por otro al Sur.

Una capa que es horizontal ó está á nivel en todos sentidos no tiene bajada ni dirección.

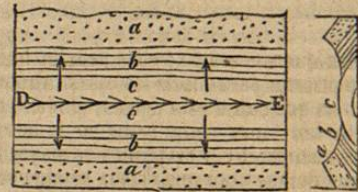
Siempre será importante para el geólogo que desea comprender la estructura y la conformación de un país, estudiar la bajada de las capas en cada parte de su territorio; se necesita alguna práctica sin embargo para no cometer errores, tanto sobre el punto de bajada, como en el ángulo de inclinación.

Si la superficie de una capa de piedra dura se encuentra á descubierto, ya sea en una cantera, ya al pié de una roca batida por las olas, es fácil determinar hacia qué punto de la brújula es mas rápida la pendiente ó en qué dirección correría el agua si se vertiera en la superficie; esta es la verdadera bajada. Pero los cantos de capas muy inclinadas pueden producir líneas perfectamente horizontales en la cara de una roca vertical si el observador ve estas capas siguiendo la línea de su dirección, porque la bajada se dirige hacia la parte de atrás del corte de la roca y es preciso que descubra en dicha roca una ruptura que sea una sección exactamente perpendicular á la línea de dirección para reconocer la verdadera bajada. En la figura 34 se supone un cabo que por uno de sus lados mira al Norte y cuyos lechos parecían horizontales á los ojos de una persona que se hallase colocada á cierta distancia en un barco, mientras que por el otro lado que mira al Oeste, un observador colocado en la orilla vería la verdadera bajada formando un ángulo de 40°. Si tenemos, pues, por todo campo de estudio, un escarpado vertical que no presenta mas que un solo lado, será necesario tratar de descubrir algun trozo ó porción de plano de uno de los lechos que se adelanta mas allá de los otros á fin de asegurarnos de la verdadera bajada.

Rara vez hay necesidad de determinar el ángulo de inclinación con una precisión tal que sea necesario emplear el instrumento llamado *clinómetro*. Se puede medir este ángulo con muy pocos grados de diferencia de la manera siguiente. Se coloca uno en frente de la roca que presenta la verdadera bajada; se elevan las manos á la altura de los ojos, y se colocan los dedos de una de ellas en una posición perpendicular, y los de la otra en una posición horizontal como se ve en la figura 35. Es fácil entonces descubrir si las líneas de los lechos inclinados cortan en dos el ángulo de 90°

formado por el encuentro de las manos, de manera que den un ángulo de 45°, ó bien si dividen el espacio en dos partes mas ó menos iguales. La línea puntuada superior, puede representar una capa que baja al Norte; si los lechos bajan precisamente hacia un punto opuesto de la brújula, como lo indica la línea puntuada inferior, la medida de inclinación puede ser tomada por medio de las manos con igual facilidad.

Cuando hemos descrito las capas curvas de la costa Este de la Escocia, en el Forfarshire y el Berwiskire, se ha visto que una serie de curvaturas cóncavas y convexas podían ocasionalmente repetirse muchas veces. Forman ordinariamente una serie de sinuosidades paralelas que se prolongan en la misma dirección y en una extensión considerable. Así en el Jura suizo, se ha probado que esta cadena elevada se compone de crestas paralelas separadas por valles longitudinales (fig. 56). Estas crestas están formadas de capas fosilíferas encorvadas, cuya naturaleza y bajada se ven algunas veces en las gargantas profundas y transversales llamadas *cluses*, que han sido producidas por fracturas perpendiculares á la dirección de la cadena. Supongamos ahora que estas crestas y estos valles paralelos corren de Norte á Sur, y diremos que la *dirección* de las capas es Norte y Sur, y la bajada es Este y Oeste. Las líneas trazadas á lo largo de los vértices A y B, serán las líneas anticlinales, y las que siguen el fondo de los valles inmediatos serán las líneas sinclinales. Haremos observar que algunos de estos vértices A y B, son enteros mientras que uno de ellos, C, ha sido fracturado á lo largo de la línea de dirección, y que la desnudación ha hecho desaparecer una parte, de manera que las crestas de los lechos en las formaciones a, b, c han sido puestas al descubierto, ó como dicen los mineros, *salen á flor de tierra* en los lados del valle. Se puede explicar por un diagrama, el pla-



no de una de las crestas desnudas, tal como se la representaría en una carta geológica, y su sección al través. La línea D E de la primera es la línea anticlinal á cada lado de la cual se verifica la bajada en una dirección opuesta como lo indican las flechas. La emergencia de las capas en la superficie del suelo, ha recibido de los mineros el nombre del *afloramiento* y en inglés el de *basset*.

Si en lugar de estar doblados en crestas paralelas, los lechos presentan una protuberancia en forma de joroba ó de bóveda, si suponemos tambien que el vértice de esta bóveda ha desaparecido, un plano de este caso particular haría ver los bordes de las capas formando una sucesión de círculos ó de elipses alrededor de un centro comun. Estos círculos serían las líneas de dirección, y la bajada, siendo siempre perpendicular á la dirección, se inclinaría todo alrededor del circuito hacia todos los puntos de la brújula, constituyendo así lo que los geólogos ingleses llaman *quaquaversal dip*, es decir; bajada hacia todos los puntos del horizonte.

Hay variaciones sin número en las figuras que describen los afloramientos de las capas segun sus diferentes inclinaciones y la especie de desnudación que han sufrido. Uno de los casos mas elementales y que se encuentran con mas frecuencia, es el de la forma de U que presentan las capas que salen á flor de tierra en

un valle ordinario. En primer lugar si las capas son horizontales la disposición en forma de U será tambien horizontal, y las capas mas recientes serán las mas culminantes.

En segundo lugar, si los lechos están inclinados y cortados por un valle que baja en la misma dirección, y si la inclinación de los lechos es menor que la del valle, las U, como las llaman generalmente los mineros, irán á unirse hacia la parte alta (fig. 57), las cuales formadas por las capas mas recientes ocupan una posición superior y se extienden mas arriba en el valle como se ve en la figura donde A, está mas alta que B.

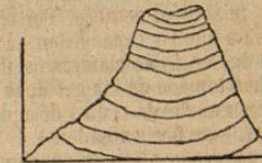
En tercer lugar, si las capas están mas inclinadas que el valle, las U dirigen su punta hacia abajo (figura 58), y las que están formadas por las capas mas antiguas parecerán superiores, como se ve en dicha figura donde B está mas arriba que A.

Finalmente cuando las capas bajan en una dirección contraria á la pendiente general del valle, cualquiera que sea el grado de inclinación, las capas mas recientes parecerán las mas elevadas como en el primero y segundo caso. La última hipótesis está representada por la figura 59, en la cual estas capas se levantan formando un ángulo de 20° y son atravesadas por un valle que se inclina en una dirección opuesta bajo un ángulo de 20°.

Estas reglas pueden muchas veces ofrecer una gran utilidad práctica porque se pueden encontrar los diferentes grados de inclinación que hemos representado en las figuras 57 y 58, siguiendo la línea media de flexión en espacios distantes algunos kilómetros y

de otros. Un minero que no estuviese familiarizado con todos estos accidentes y que hubiera explorado primero el valle que representa la figura 57, podría abrir un pozo vertical por debajo del lecho de hulla A, hasta encontrar el lecho inferior B; entonces pasaría al valle de la figura 58, y descubriendo tambien allí el afloramiento de los dos lechos de hulla, se expondría á empezar trabajos en el lecho superior con la esperanza de llegar inferiormente al otro lecho A, cuyo afloramiento habria observado mas abajo en el valle. Una sola ojeada sobre la sección basta para poner de manifiesto el error en que caería.

En la mayor parte de los casos un eje anticlinal forma una cresta y un eje sinclinal, un valle; pero hay algunas excepciones á esta regla, porque las capas se inclinan algunas veces hacia el interior en ambos lados de una montaña.

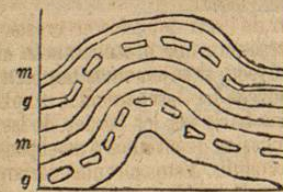


Al extremo occidental de los Pirineos se observan grandes curvaturas de capas en quebradas, que se componen de margas, de gres y de *chert*. En ciertos puntos como en a, las curvaturas del *chert* silíceo son



tan agudas que se sacan de ellas pedazos que sirven de tejas ó pizarras para cubrir las casas. Aunque en el momento en que sufrió este doblez, el *chert* no haya podido ser tan tenaz como lo es en la actualidad, presenta sin embargo por los puntos de mayor flexión, grietas que demuestran que estaba ya algo sólido en la época en que sufrió su cambio de posición. Estas grietas no están vacías sino llenas de calcedonia y de cuarzo.

Entre Santa Caterina y Castrogiovanni en Sicilia, se encuentran margas yesosas encorvadas ó onduladas, que contienen lechos delgados de yeso. Algunas veces estos lechos han sido rotos en fragmentos separados que conservan sus bordes agudos gg, mientras



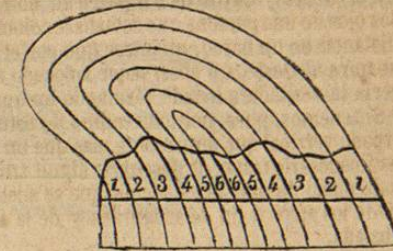
que la continuidad de las margas mas flexibles y dúctiles no ha sido interrumpida.

Terminaremos estas observaciones acerca de las capas encorvadas, haciendo notar que en las regiones montañosas como los Alpes, es generalmente difícil aun á cualquier geólogo experimentado determinar positivamente la edad relativa de los lechos, por la superposición, estando las capas dobladas sobre si mismas, y habiendo desaparecido las partes superiores por los efectos de la desnudación. Si se encontra-

ran, pues, capaz como las representadas en esta figu-



ra, se podría suponer que han existido doce lechos distintos, de los cuales el número 1 sería el mas moderno y el 12 el mas antiguo. Pero en realidad ha podido muy bien suceder que no existieran mas que seis doblados como lo manifiesta esta otra figura, de tal

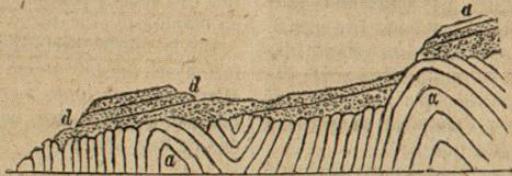


manera que cada uno se presenta dos veces; la mitad de estos lechos está invertida, y en esta mitad el número 1 que estaba originalmente en el vértice ocupa ahora el punto mas bajo en la serie. Esta clase de fenómenos se observan con mucha frecuencia y en grande escala en ciertas regiones de la Suiza en escarpados que tienen de 600 á 900 metros de altura perpendicular.

En el valle de Lutschine entre Unterseen y Grindel,

Iwald en los Alpes Iselten se ven capas torcidas de esquistos que tiene de 300 á 400 metros de altura, y cuyos lechos bajan algunas veces verticalmente hasta una profundidad de 300 ó mas metros antes de encorvarse de nuevo (fig. 60). Se notan otras curvaturas que en nada ceden por sus dimensiones á las anteriores cerca de Gavarnie, al pié del monte Perdido en los Pirineos.

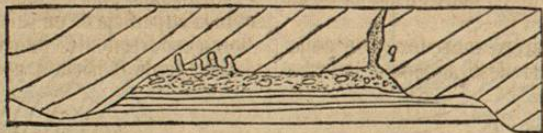
ESTRATIFICACION DISCORDANTE. Se dice que las ca-



Union discordante del viejo gres rojo y del esquistos diluviano en Siccar-Point, en el Berwickshire.

han cambiado dos veces de posicion la primera antes del depósito de los nuevos lechos d d, la segunda en la época en que estos lechos han sido á su vez separados de su posicion horizontal.

Playfair ha observado que esta especie de estratificacion habia sido ya descrita antes del tiempo del Hutton, pero que este sabio fue el primero que supo apreciar su importancia para la demostracion de la gran antigüedad y de las grandes revoluciones del globo. Hutton habia observado que donde estos contactos tenian lugar, los lechos inferiores de la nueva serie consistian generalmente en brechas ó conglomeratos compuestos de fragmentos anulares ó redondeados, procedentes de la destruccion de rocas mas antiguas. Un dia el geólogo escocés condujo á sus dos ilustres discípulos Playfair y sir James Hall á las quebradas situadas en la costa oriental de Escocia cerca de la aldea de Eyemouth no lejos de Saint-Abb's Head en un punto en que los esquistos de la cordillera de Lammermuir estan minados hácia su base y cortados por el mar. Las capas dobladas y verticales que se sabe pertenecen al terreno siluriano y que presentan muchas veces una superficie ondulada, se ven muy bien en el cabo llamado Siccar-Point; sus cortes penetran en lechos subyacentes de un gris ligeramente inclinado en el cual se hallan grandes pedazos de esquistos, unos redondeados y otros angulares unidos por un cemento arenáceo. «¿Qué prueba mas evidente, exclama Playfair de la formacion distinta de estas rocas, y del largo intervalo que ha separado las dos formaciones, que el verlas hoy salir del fondo de los abismos?» Necesariamente nos creemos transportados al tiempo en que el esquistos que pisamos se hallaba aun en el fondo del mar y el gres que se manifiesta á nuestra vista empe-



Union discordante de las capas cerca de Mons en Bélgica.

cavidades cilindricas en forma de peras como en c; estas cavidades han sido producidas por moluscos saxicavos. Diferentes hendiduras como en b que descienden á algunos centímetros en la caliza han sido tambien llenas de arena y de conchas semejantes á las que se encuentran en la capa a.

FRACTURA DE LAS CAPAS Y FALLOS. Se observan con frecuencia numerosas grietas en las rocas que parecen no haber sido mas que fracturadas, y cuyas partes separadas conservan sus relaciones mutuas; pero se encuentran tambien frecuentemente hendiduras de

pas son discordantes, cuando una serie se halla colocada sobre otra de tal manera que el plano de la parte superior reposa sobre el corte de la inferior. En este caso es evidente que ha trascurrido cierto periodo entre la formacion de las dos series, y que durante este intervalo habiendo sido trastornada la mas antigua la serie superior se ha depositado en capas horizontales. Si los lechos superiores d d, se hallan igualmente inclinados; es claro que las capas inferiores aa

zaba á depositarse en las aguas del Océano en forma de arena y de sedimento.

«Una época todavia mas lejana aparece naturalmente á nuestra imaginacion, y es aquella en que aun las mas antiguas de estas rocas en lugar de formar lechos verticales, estaban extendidas horizontalmente en el fondo del mar y no habian sido aun agitadas por esa fuerza inconmensurable que ha trastornado todas las partes sólidas del globo. Revoluciones mas y mas lejanas se desarrollan en esta inmensa perspectiva; nuestra imaginacion siente un vértigo cuando penetra tan profundamente en el abismo de los tiempos; y mientras que escuchamos con ánimo y admiracion al filósofo que desarrolla ante nuestra vista el órden y las series de estos inmensos acontecimientos, comprendemos cuánto mas lejos puede ir la razon que la imaginacion al interpretar los fenómenos.»

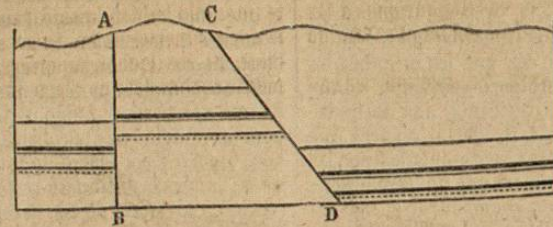
Sucedo frecuentemente que en el intervalo que transcurre entre el depósito de dos grupos de capas discordantes, la roca inferior no solo ha quedado desnuda, sino que ademas ha sido perforada por conchas. Asi en Autreppe y en Gusigny, cerca de Mons en Bélgica, se ven lechos antiguos de caliza primaria ó paleozoica muy inclinados y generalmente encorvados que estan cubiertos de capas horizontales de margas agrisadas y blanquecinas de una formacion cretácea. El lecho inferior y por consiguiente el mas antiguo de la serie horizontal se halla ordinariamente formado de arena ó del conglomerato a, en los cuales se encuentran piedras de 25 á 30 centímetros de diámetro. Estas piedras suelen presentar conchas adheridas en su superficie, ó estan atravesadas por moluscos perforadores. La capa superficial de la caliza inferior ha sido igualmente agujereada y presenta

algunos centímetros, y aun de algunos metros de longitud que estan llenos de tierra y de arena, ó de fragmentos angulares que proceden evidentemente de las rocas inmediatas.

No es raro encontrar una masa de rocas que se sobrepone á uno de los lados de una hendidura, debajo ó encima de la masa con que se hallaban en otro tiempo en contacto regular. Esta disposicion se llama deslizamiento ó fallo. El minero, dice Playfair, describiendo en fallo, es frecuentemente detenido en su viaje subterráneo por una alteracion en las ca-

pas que le extravía de repente en medio de los jalones y puntales que habian hasta allí dirigido su curso. Cuando la mina que ha practicado llega á cierto

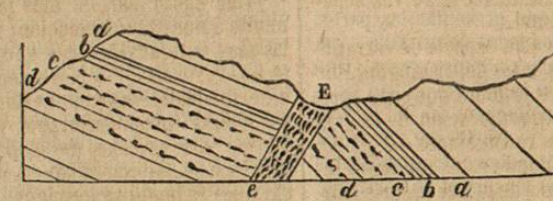
plano perpendicular, como en A B, ó oblicuo al horizonte como en C D, encuentra lechos rotos; los de uno de los lados del plano han cambiado de sitio



Fallos: A, B, perpendicular; C, D, oblicuo al horizonte.

deslizándose en una direccion particular contra los otros lechos. A pesar de este movimiento, los lechos han conservado algunas veces una posicion normal

como se ve en la misma figura y las capas de cada lado de los fallos A B, C D, continúan paralelamente unas á otras, en otros casos, las capas están inclina-



E, e, fallo ó hendidura llena de restos á cada lado de los cuales, las capas inclinadas no son paralelas.

das á cada lado, como en a, b, c, d, y sin embargo su identidad subsiste todavia, porque poseen el mismo espesor y los mismos caracteres.

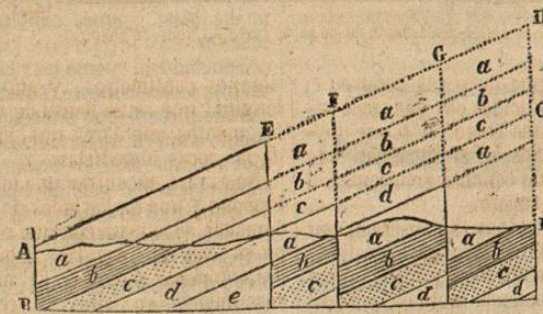
En Coalbrook Dale, dice Prestwich, los depósitos de gres, de esquistos arcillosos, de hulla, que se elevan al espesor de algunos centenares de metros y se extienden sobre una superficie de algunos kilómetros, han sido rotos en fragmentos, los cuales despues se han colocado en posiciones enteramente discordantes y frecuentemente á niveles que difieren en algunos centenares de metros unos de otros. Los lados de los fallos, cuando son perpendiculares, están habitualmente separados algunos metros; á veces mas de 40 metros cada uno, y los intervalos están llenos de fragmentos de las capas. Siguiendo la direccion de un fallo, se notan á veces en sus diferentes puntos, variaciones muy desiguales de nivel; la diferencia es en un punto 90 metros, y en otro 200; estas variaciones proceden en algunos casos de la union de dos ó mas fallos. En otros términos, las capas desunidas se han hallado en ciertos distritos sometidas á movimientos repetidos que no han sufrido en otras partes.

En ciertas canteras de arena movediza y de guijo se encuentran ejemplos de deslizamientos entera-

mente semejantes, aunque en menor escala. La mayor parte han sido ocasionados por la desecacion y contraccion de capas arcillosas y de otro género, y han resultado ligeros hundimientos por la falta de apoyo; algunos, sin embargo, han podido producirse durante los temblores de tierra, porque esta ha sido agitada y su nivel relativamente al de los mares ha cambiado considerablemente durante el periodo en que se ha depositado una gran parte de la arena y del guijo de aluvion que cubren hoy la superficie de los continentes.

Ya hemos manifestado que en un pais en que las capas se hallan trastornadas, el geólogo debia guardarse muy bien de considerar como repeticion alterada de rocas, la disposicion de ciertas capas continuas en otro tiempo, pero que han sido encorvadas de manera que se repiten varias veces en la misma inclinacion y el mismo corte. La presencia de una serie de fallos ha ocasionado con frecuencia semejantes errores; con un poco de experiencia será fácil evitarlos.

Supongamos, por ejemplo, que la línea A H representa la superficie de un pais en que las capas A, B, C, afloran con frecuentes intervalos; un observador que marcha desde H hácia A podrá imaginar al principio



Alteraciones aparentes de las capas debidas á los fallos.