

*REFLEXIONES SOBRE LOS TERRENOS CARBONIFEROS,
PERMICOS Y TRIASICOS **

Dr. EDOUARD ROCII **

La tarea esencial de los Estratígrafos es la descripción de los terrenos, el examen de las rocas que los componen, el estudio de sus floras y sus faunas y, además, el trazado de los contornos respectivos de las tierras y de los mares para cada período considerado, hasta para cada piso. El fin hacia el que ellos tienden es, en definitiva, el de la reconstrucción de los paisajes submarinos y continentales.

A propósito de los paisajes submarinos, además de los datos proporcionados por la Geología, los Estratígrafos se apoyan en los resultados obtenidos por los Oceanógrafos, que les muestran cómo se depositan y distribuyen los sedimentos desde el litoral hasta las profundidades de los mares.

En lo que se refiere a los paisajes continentales, toman en consideración, además de los depósitos fluviales y lacustres, a veces ricos en plantas aéreas, en conchas y huesos; los que han sido abandonados en la superficie y fosilizados. Con todos estos materiales se trazan cuadros: paisajes con su relieve, su flora, su fauna y su clima. Por lo que respecta a los períodos vecinos de los nuestros, los Estratígrafos se declaran satisfechos: este es el caso de los tiempos terciarios, porque los geólogos han utilizado los espléndidos archivos que Europa y América del Norte, principalmente, les han suministrado.

En cuanto a los períodos más antiguos, también hay paisajes que parecieron susceptibles de ser dibujados con una cierta aproximación y que hasta se han hecho clásicos. Se trata del Carbonífero, del Pérmico y del Triásico.

El Carbónífero fue la gran época, aunque no la única, durante la cual nacieron las cuencas hulleras. Evoquemos, primero, a orillas del mar, las vastas lagunas pantanosas plantadas de selvas lujuriantes, de árboles gigan-

* Conferencia sostenada en la Sociedad Geológica Mexicana.

** Profesor de Geología en la Sorbona. París.

tescos entremezclados, cuyas raíces se bañaban en el agua salobre. Ríos de curso lento venían a desembocar en ellas, transportando una especie de papilla vegetal que se añadía a los productos de descomposición de los árboles, creciendo incluso en la laguna o en sus alrededores inmediatos y cuyos contornos están así marcados por los *suelos vegetales*. Una concentración y una fermentación prolongadas transformaron, al cabo de miles de años, la papilla vegetal en hulla. Así es como se representan las *Cuencas parállicas*.

Imaginemos también los lagos de agua dulce situados en las depresiones del relieve de la época, pero siempre provistos de una intensa vegetación exuberante: se trata aquí de las *Cuencas límnicas*, en las que, esta vez, los suelos vegetales son raros. Es, por lo tanto, seguro que en este caso la mayor parte de la hulla provenga de otra parte.

En las cuencas parállicas como en las límnicas, el carbón solamente ocupa una parte muy débil de la serie de los terrenos que las componen. La mayor parte corresponde a los "Estériles": esquistos negros, areniscas grises o verdes, intercaladas con conglomerados. Cuando se quiere comparar el paisaje ofrecido por las cuencas del Carbonífero con aquellos que nos ofrece la naturaleza actual, se piensa en las lagunas de la Baja Costa de Marfil y en el Cameroun meridional, en Africa occidental: la misma unidad de la flora. Además de esto, son regiones cálidas, perpetuamente húmedas, sin estaciones marcadas, condiciones favorables al desarrollo de la gran selva. De hecho, en el mundo de hoy no se conoce vegetación análoga a ésta, fuera de las regiones tropicales húmedas que sobresalen de una y otra parte del Ecuador.

Por el contrario, las imágenes que se evocan para el Pérmico y el Triásico de la Europa occidental son muy diferentes. En lugar de areniscas verdes o grises, intercaladas con esquistos negros con carbón, lo que más frecuentemente se encuentran son areniscas, arcillas rojas conteniendo rocas salinas: yeso, sal gema principalmente. De vez en cuando, sin embargo, están marcadas las huellas del mar, sobre todo en calizas fósilíferas.

Las areniscas y las arcillas rojas se consideran pobres en vestigios orgánicos, sin contar naturalmente las plantas aéreas, los huesos y las huellas de Vertebrados terrestres. Las areniscas tienen a veces también la estratificación cruzada, sus granos de arena son como los de las dunas, las piedras están esculpidas de una manera especial por los vientos.

Fósiles, sales, coloración roja de los sedimentos, formación eoliana,

prueban la continentalidad. Pero también estos hechos se interpretan como reveladores de un clima duro, a menudo calificado de desértico.

En resumen, para el Pérmico y el Triásico —sobre todo para este último período— oponemos con gusto al paisaje tropical que sugiere la gran selva hullera, el de un clima seco, probablemente sahariano.

Los estudios recientes de Feyss, Greber, Lienard, Falke y Perriaux, orientados en el mismo sentido de las ideas de Henri Ekhardt, permiten cambiar y corregir estas vistas esquemáticas.

Volviendo al Carbonífero, la selva, cuyos constituyentes fueron estudiados pacientemente por los paleobotánicos, correspondía ciertamente, a veces a las de las lagunas y pantanos de los países tropicales actuales. Estas selvas comprenden, además de una extraordinaria exuberancia de formas, familias enteras adaptadas al medio acuático: tales podrían ser los helechos arborescente, los árboles gigantes comparables a los que se admiran hoy en la margen atlántica de la Costa de Marfil y del Cameroun.

No obstante, esta flora de los trópicos estaba, probablemente, localizada en determinados lugares. Añadamos que el inventario de la flora hullera revela, además de representantes típicos de pantanos, la de Vegetales que se separan notablemente de ellos por sus caracteres xerofíticos: entre éstos los numerosos estomas en las hojas y los tejidos destinados a almacenar agua. Por otra parte, si bien las maderas no muestran claramente las alteraciones de estaciones, existen, sin embargo, en algunas *Sigillaria* particularidades que revelan por lo menos *pulsaciones climáticas*. Además de esto, puede pensarse que la ausencia de madera de primavera y de madera de otoño características, constituye un carácter negativo que puede interpretarse simplemente en razón de la organización todavía primitiva de estos Vegetales que se comparan, quizás equivocadamente, con los Vegetales actuales a los que se parecen.

No obstante, algunos autores ponen en duda la homogeneidad misma de la flora hullera, y estiman que ésta podría comprender dos partes distintas: además de la flora pantanosa, existiría otra que habría vivido en condiciones de menor humedad. La primera habría sido autóctona, la segunda no habría prosperado en otros lugares que en las orillas de algún lago o en su proximidad inmediata. Son los restos de esta última flora los que podían haber sido llevados al mismo tiempo que los "Estériles".

Vamos lo que nos enseña el estudio de estos últimos, sobre los que aún queda mucho por descubrir.

Acabamos de decir que los Estériles se componen a la vez de esquistos

negros y de areniscas que son grises o verdes, pero nunca rojas, con muy raras excepciones.

Esto debe sorprendernos, ya que sabemos por los especialistas de suelos que la selva tropical húmeda es hoy la única susceptible de originar los suelos, lateríticos, los más importantes y los más desarrollados entre los suelos rojos. En realidad, no existen, por así decirlo, depósitos lateríticos en las series hulleras.

Además, la abundancia de detritos parece incompatible con la erosión muy débil que constituye una de las características de las regiones tropicales húmedas.

Ha llegado el momento de recordar lo esencial de una teoría brillante y fecunda que debemos a H. Ekhardt y que él llamó la Bio-Rexistasia. En griego stasis quiere decir equilibrio. Biostatia se traduce por período de equilibrio durante el cual los seres alcanzan su máximo desarrollo. Rexistis, a la inversa, significa ruptura: ruptura de este equilibrio.

Esta teoría tuvo como punto de partida numerosas observaciones que se pueden resumir como sigue. En los países tropicales, la selva y las aguas que la imbiben atacan rápidamente a los minerales de las rocas del tipo del granito, del gabbro, del "gneiss" y los descomponen, liberando así las bases y una parte de la sílice que forma parte de la estructura de sus moléculas. Estas sustancias disueltas son arrastradas por las aguas corrientes. Quedan en el mismo sitio principalmente el hierro y la alúmina y también el cuarzo cuando las rocas del substratum lo contienen. Son estos residuos, sobre todo los dos primeros, los que forman las lateritas.

Mientras exista la selva, así ocurrirá y la alteración de las rocas subyacentes puede prolongarse durante millones de años y llegar hasta a 100 metros de espesor como máximo y bastante a menudo hasta a 50 metros.

Pero si la selva se destruye a consecuencia de una modificación del clima o a ligeros movimientos del suelo, entonces la erosión actúa al máximo: la capa de alteración laterítica será atacada y sus restos sólidos serán llevados por los ríos.

De hecho, en las raras regiones de Madagascar que todavía conservan la selva, se puede ver que las aguas que en ella circulan no transportan prácticamente materiales sólidos; simplemente están cargadas de sales. Por el contrario, allí donde la selva desapareció y en donde, como consecuencia, ya no juega un papel protector, la laterita es arrastrada y entonces las aguas de las corrientes están teñidas fuertemente de materias rojas.

Por tanto, en primer lugar, si verdaderamente la selva hullera hubiera

sido comparable a la de la actual Costa de Marfil, no podría uno explicarse la ausencia de suelos y de productos lateríticos. En segundo lugar, es sorprendente la importancia de los Estériles: la selva debió proteger el suelo contra la erosión masiva. En fin, no se encontraría explicación a la asociación de los detritos y de una sedimentación fina que es la de los esquistos y la hulla. En resumen, en lugar de una Biostasia generalizada, de la que las selvas tropicales actuales nos proporcionan un ejemplo, el período carbonífero habría sido el de una Rexistasia permanente que se habría prolongado durante 60 millones de años, duración comparable a la que transcurrió desde el comienzo de los tiempos terciarios a nuestros días.

Desde el punto de vista mineralógico, el paisaje de la selva tropical concuerda mal con la presencia de arkosas en los Estériles, es decir, de rocas de feldespato, por la sencilla razón de que los feldespatos deberían haber sido los primeros en desaparecer en el curso de la evolución pedogenética.

En fin, hay que añadir la presencia, en los esquistos del Carbonífero, de la illita que es una variedad de arcilla. Según lo que se sabe, la illita no se forma más que bajo climas bastante áridos, en medios bien drenados por las aguas, cargadas, sin embargo, de sales.

Teniendo en cuenta lo que precede, debemos modificar el esquema clásico que hace pocos instantes recordábamos y representarnos la época hulle-ra de la siguiente forma:

Primero, lagunas de vegetación abundante y lujuriosa, situadas en el límite de un continente en el que el clima cálido comprendiera estaciones marcadas. Después, podemos imaginar lagos, al menos durante el período de las lluvias. En sus orillas, crecería una vegetación palustre brotando en un aire seco. Los ríos que alimentaban los cursos de agua serían de corrientes tumultuosas, porque el paisaje era accidentado. Los relieves estarían cubiertos de selvas más o menos claras, intermediarias entre la selva tropical seca y el *bush* xerófilo de hoy día. La densidad de árboles debería ser lo suficientemente reducida para dejar actuar a la erosión; a veces ésta asolada regiones enteras. Pero la cubierta vegetal debería formarse de nuevo rápidamente.

El relieve joven aparece como un elemento importante del período carbonífero. Añadido al carácter particular del clima, constituye un obstáculo para la formación de la laterita. Se admitirá tanto más voluntariamente la importancia de este relieve dado que los tiempos carboníferos correspondieron a la formación de la cadena herciniana. Es, pues, muy probable, que las montañas y las colinas que surgieron contribuyeran grandemente a la géne-

sis de las series hulleras. Se pensará incluso que la orografía se modeló por movimientos irregulares. Es esto lo que acaba de demostrar G. Lienhardt para la cuenca de Lons le Saulnier, en las orillas del Jura francés: los Estériles están compuestos allí alternativamente de rocas sin feldespato y de rocas con feldespato, de donde deduce que las primeras procedían de rocas que sufrieron una alteración dentro de la selva, mientras que las segundas fueron arrancadas sin alteración previa al zócalo desnudo.

A la elevación de los relieves se añadía todavía el hundimiento de la cuenca.

Estamos, pues, lejos de las selvas tropicales de Africa y para encontrar hoy en la superficie del Globo un paisaje con el que se pueda relacionar el de la selva hullera, habría quizás que tomar en consideración las regiones montañosas de la Indonesia, sector particularmente inestable de la Tierra y en donde el modelado es de una juventud extrema.

Para el Pérmico, los recientes estudios de Falke permiten pensar que reinaba entonces un clima húmedo y caliente, intercalado de períodos secos en aumento, hacia el fin, de la duración de estos últimos. El autor estima además que entre dos cuencas consideradas, las condiciones climáticas podían ser diferentes: más húmedas aquí, más secas allá. Como en nuestros días, el relieve debió haber ejercido una gran influencia sobre el clima.

El *Triásico* de la Europa occidental, aquel del que se dice que es de tipo germánico. Se le divide en tres pisos para los que se conservan los nombres que les dieron los geólogos alemanes: Buntsandstein, en la base, después Muschelkalk, y, Keuper en la cima.

Fuera del Muschelkalk, en que la facies marina predomina, los otros dos pisos revelan sobre todo condiciones continentales para el primero y condiciones lagunares para el segundo.

El Buntsandstein será el que retenga en particular nuestra atención. Fijémos en sus conglomerados fluviales, pero también en sus areniscas rojas de estratificación cruzada, en el origen eólico de algunos de sus cuarzos, en la presencia de arcillas resquebrajadas del mismo modo que las que tapizan los fondos de las charcas de agua temporales. A estos caracteres litológicos es clásico añadir: pobreza de la flora y de la fauna.

Tales hechos, conocidos desde hace un siglo, contrastan, por lo que parece, con los que se presentaron para el Carbonífero; los autores también han comparado con gusto las areniscas del Triásico inferior con las arenas de los desiertos, especialmente con las que se extienden hoy desde el Atlántico hasta la Mesopotamia y entre las que el Sahara representa su expresión

más completa. Incluso se han evocado las mediocres floras y faunas de las estepas de Eurasia cuando se quería traducir en imágenes la vida en el Triásico inferior.

Podemos criticar este esquema, todavía ayer clásico, recordando los notables descubrimientos de Grauvogel, quien ha divulgado flores de una riqueza extraordinaria así como faunas de Insectos y de Vertebrados terrestres y acuáticos conservados de una manera perfecta: en resumen, todo un mundo vivo en el que la ecología estaría próxima a la de las zonas tropicales y subtropicales actuales. Además, había que esperar a que, de una manera o de otra, se llegara a resultados de este orden, puesto que el Buntsandstein comprende verdaderos carbones y no hay carbones sin flora.

La presencia de animales y de vegetales ya impedía el parecido de las areniscas del Triásico a las de los desiertos. Pero hay algo mejor todavía: que las arenas de los desiertos actuales no son rojas sino leonadas.

Teniendo que abandonar toda comparación con los desiertos, es tentador, aunque peligroso, volverse hacia las regiones en donde, en la hora actual, se vean suelos rojos, es decir, hacia los países tropicales, ricos en formaciones lateríticas y ello a causa del color rojo muy frecuente ya en el Pérmico y también en el Triásico.

Sin embargo, muchos hechos se oponen a esta interpretación. En primer lugar, existen guijarros variados, cimentados en conglomerados y sabemos perfectamente que las lateritas no conservan más que excepcionalmente los cantos rodados: todavía no se trata más que de piedras de cuarzo. En segundo lugar, se encuentran feldespatos en las areniscas. Precedentemente hemos dicho que los feldespatos deberían haber sido los primeros en desaparecer durante la evolución laterítica. En fin, la arcilla que forma lentejuelas en las areniscas es todavía la illita y no, como hubiera sido lo normal, la kaolinita.

El estudio de las areniscas de los Vosgos, de edad sobre todo triásica, pero que comprende en su base un poco de Pérmico, ha sido de nuevo tomado por Jacques Perriaux, estudio muy minucioso y completo, del cual la conclusión es que parece que las areniscas debieron nacer bajo un clima de tipo saheliano-sudanés, bastante próximo, por consecuencia, al que en África negra afecta a una ancha banda al Sur de Sahara y que podemos materializar en un mapa por la latitud en la que se encuentra Dakar. Se encuentra también un tipo de clima bastante comparable al del Norte del Sahara. Apenas si cae allí más de un metro de agua anualmente, pero las lluvias son violentas, la erosión es también viva, los ríos tienen crecidas importantes

y si el relieve lo permite, vastas superficies son entonces inundadas y transformadas en lagos temporales. La cubierta vegetal es la de la sabana arbustiva en donde pueden pastar grandes animales.

En nuestro deseo de reconstruir un paisaje, nos hemos colocado a mitad de camino entre los climas lateritizantes y los climas desérticos. No obstante, no tenemos el derecho aún de evocar tal o cual región actual a la que podríamos referirnos, porque la geografía del pasado pudo ser diferente de ésta de la que somos observadores. Retendremos, sin embargo, que las alteraciones del tipo de las que pensamos en el Triásico son comparables a las que ocurren en los flancos de las montañas de Orania, en la parte occidental de Argelia, que están bastante bien regadas y expuestas al mediodía.

Confesemos, sin embargo, que si bien se comprueba efectivamente la elaboración actual de arenas rojas, está, no obstante, limitada a superficies restringidas. Ya no tenemos sobre la tierra esas inmensidades generadoras de arenas rojas, comparables a las del Permo-Triásico y que se continuaban, de Norte a Sur, de Escocia a las fronteras del Sahara, o sea a través de unos 3.000 kilómetros.

Del Ecuador a los Polos, pasamos hoy por toda una gama de climas diversificados. Esta gama no existía, quizás a fines del Paleozoico y a principios del Mesozoico. Entonces, sin duda, los climas eran más uniformes que hoy día.

Pero es quizás también imprudente querer comparar la época actual, e incluso la duración del Cuaternario, es decir, un millón de años apenas, con la del Pérmico y el Triásico que, en total, se extendieron durante cerca de 90 millones de años.

Para terminar, confesemos una dificultad real.

En la comparación que les he presentado entre el Carbonífero y el Triásico, hemos llegado a concebir climas que parecen haber sido parecidos y, sin embargo, todos los índices que nos ha proporcionado el estudio en el campo nos darían el derecho de oponer el uno al otro. ¿Cuál es, pues, el elemento, despreciable a nuestros ojos, pero quizás determinante, que ha hecho el carbón, los esquistos negros, las areniscas grises y verdes, por una parte, y las areniscas, las arcillas rojas y las lentejas de sales, por otra? Todavía lo ignoramos, pero quisiera recordarles el resultado de estudios precisos hechos durante largo tiempo por el Servicio de Aguas y Bosques en el Sur de Francia, en esa parte de la Provenza próxima al Mediterráneo que es conocida por el mundo entero bajo el nombre de *Costa*

Azul. Es una región de pequeñas montañas cubiertas de maleza y de hermosos bosques de pinos y de encinos verdes. A primera vista se creería que la selva está fuertemente arraigada y, sin embargo, la pluviometría es débil; ha descendido a un grado tan peligroso que, según la opinión unánime, con que baje en una fracción ínfima, la selva estaría condenada a desaparecer. Entonces el país quedaría desnudo y estéril.

¿No ocurriría una *ligera agravación* del clima? ¿Y no habría sido ésta la causa determinante del aspecto tan diferente que nos ofrecen estos dos períodos?

Hasta el momento presente, no creo que haya nadie que pueda responder con seguridad a esta pregunta.