

GEOLOGIA, VIENTO Y GEOMETRIA

Por FEDERICO MACAU VILAR
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

Los calificativos de interesante, ameno y original que le aplicamos a este artículo, los puede comprobar el lector con sólo seguir adelante, y la síntesis de su contenido se encuentra en las conclusiones. Es decir, que la Geología y el Viento hacen su Geometría en la bella bahía de Rosas.

1

Desde cualquiera de las cimas de los montes Alberes, extremo oriental de la cordillera Pirenaica, se abarca de un solo golpe de vista toda la llanura del Ampurdán, interrumpida solamente por los montes de Montgrí que, junto a la costa la dividen en dos partes: el Alto Ampurdán, al Norte, y el Bajo Ampurdán, al Sur.

La primera de ellas, el Alto Ampurdán, limita por el Este con el mar en una línea de costa baja y arenosa que forma la conocida bahía de Rosas, cuya playa, di-

Foto núm. 1.— Vista general de la bahía de Rosas desde una cima de los Alberes.





Foto núm. 2.—Vista aérea vertical de la bahía de Rosas

bujada en blanco por la espuma del rompiente de las olas, destaca entre el azul del mar y el dorado de la arena, perfilando una línea curva elíptica que llama en seguida la atención por la precisión geométrica de su dibujo, como si estuviera trazado con tiralíneas por la hábil mano de algún dibujante profesional (foto núm. 1).

Esta forma, sin embargo, corresponde a una visión oblicua de la misma, por lo que para estudiar como detalle tan singular morfología, nos decidimos a confeccionar un mosaico con las fotografías aéreas verticales cuyo resultado (foto núm. 2), corresponde, por tanto, a la visión vertical de la bahía sin ninguna deformación y en la que es fácil comprobar que la forma elíptica no solamente se repite, sino que se confirma plenamente.

II

GEOMETRIA

Sobre este mosaico de fotografías aéreas, iniciamos una larga serie de construcciones gráficas al objeto de definir geoméricamente, si existía realmente una elipse que se adaptara en su totalidad, a tan llamativa línea de la playa. Omitimos aquí la descripción del largo proceso seguido hasta llegar al resultado definitivo, que ha sido la obtención de dos arcos de elipse, tangentes en un punto que queda situado apr

es precisamente, con error menor de 0,00035, el valor de la conocida "relación áurea" que como es sabido vale:

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618035$$

Puede admitirse, por tanto, que los ejes mayores están ligados entre sí por dicha relación áurea, es decir, que:

$$\frac{e m_1}{e m_2} = \frac{e m_2}{e m_1 + e m_2} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$$

No deja de llamar la atención la circunstancia de que estos ejes mayores estén ligados entre sí por esta relación, que aparte de la Geometría, tan a menudo y a veces inesperadamente se encuentra en la Naturaleza (distribución de las hojas en

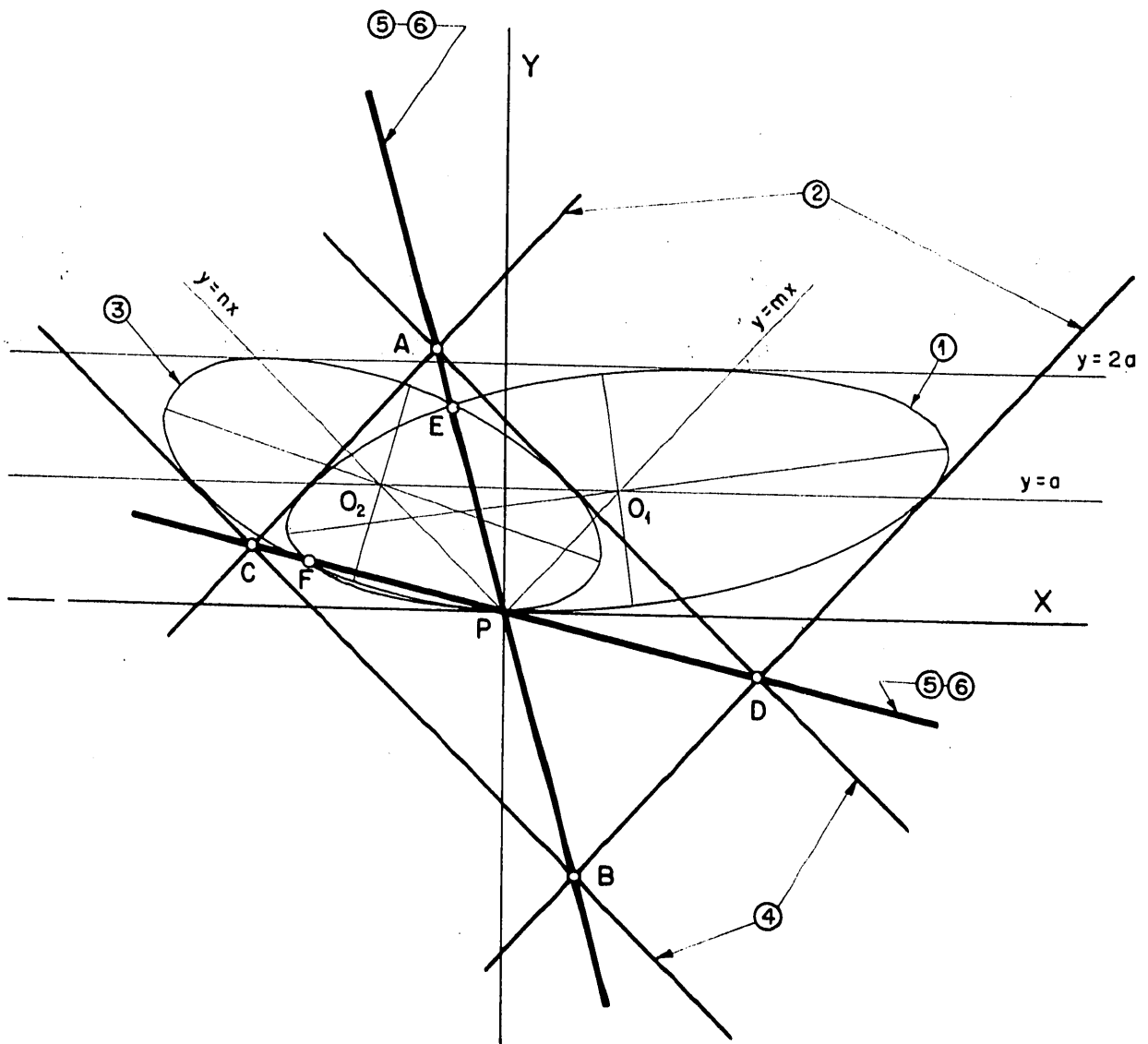


Figura 1.ª

ciertos tallos, en la de los pétalos de muchas flores, en las estrellas de mar, etc., etc.), y que descubierta por los griegos la adoptaron en las artes plásticas como una de las reglas fundamentales para conseguir la máxima armonía en la conjugación de dimensiones, y no cabe duda de que esta coincidencia (?) es, a su vez, una de las causas de la sensación de placidez y estética emoción, que produce la contemplación del dibujo de su conjunto que ya subyugó, quizá inconscientemente, a los fundadores de Ampurias cuando desembarcaron en la bahía, allá por el siglo VI, antes de Cristo, y escogieron aquel lugar como sede de su emporio.

Además, la tangente común a las dos elipses y, por tanto, a la línea de la playa aproximadamente en su punto medio, es paralela a la dirección de la Tramontana, típico viento dominante en aquella comarca y una de sus principales características.

Finalmente, hemos encontrado una propiedad de este tipo de familia de elipses, que se puede concretar en el enunciado de un teorema nuevo (por lo menos que nosotros sepamos, puesto que hasta ahora no hemos encontrado noticias del mismo, ni en la numerosa bibliografía matemática consultada, ni en los eminentes compañeros y profesores de matemáticas con los que hemos hablado de ello), según el cual resulta que (fig. 1.^a):

TEOREMA

Dadas dos familias de elipses, tangentes en un punto P, y tales que la línea de los centros sea paralela a la tangente común, cada uno de los otros dos puntos de intersección, de cada par de elipses E y F y el punto P, determinan dos rectas sobre las que se cortan los pares de tangentes a las elipses, paralelas a los diámetros que pasan por el punto P.

En efecto:

Si tomamos el punto P como origen de coordenadas y la tangente común como eje de abscisas, la ecuación general de las elipses O_1 tangentes al eje x en P y con la recta $y = m x$ por diámetro será:

$$(y - m x)^2 + \lambda (y - 2 a) = 0$$

Las tangentes [2] de la figura a estas elipses paralelas al diámetro $y = m x$ son rectas de la forma:

$$y = m x \pm t$$

que para que sean tangentes a las elipses, el sistema:

$$\left. \begin{array}{l} y = m x \pm t \\ (y - m x)^2 + \lambda y (y - 2 a) = 0 \end{array} \right\}$$

debe tener una raíz doble, para lo cual debe tenerla la ecuación:

$$(m x \pm t - m x)^2 + \lambda y (y - 2 a) = \lambda y^2 - 2 a \lambda y + t^2 = 0$$

por lo que:

$$4 a^2 \lambda^2 - 4 \lambda t^2 = 0$$

de donde:

$$t = \pm a \sqrt{\lambda}$$

Las tangentes a las elipses O_1 paralelas al diámetro que pasa por el origen serán, pues:

$$\boxed{y = m x \pm a \sqrt{\lambda}} \quad [2]$$

Análogamente para las elipses de la otra familia O_2 :

$$(y - n x)^2 + \mu (y - 2 a) = 0$$

las tangentes análogas serán:

$$\boxed{y = n x \pm a \sqrt{\mu}} \quad [4]$$

la intersección de los pares de estas tangentes serán, pues, los puntos A, B, C y D dados por el sistema:

$$\left. \begin{array}{l} y = m x \pm a \sqrt{\lambda} \\ y = n x \pm a \sqrt{\mu} \end{array} \right\}$$

La recta que desde el origen pasa por la intersección de las [2] y [4] será:

$$y - m x \mp a \sqrt{\lambda} - \theta (y - n x \mp a \sqrt{\mu}) = 0;$$

siendo:

$$\mp a \sqrt{\lambda} \pm \theta a \sqrt{\mu} = 0;$$

o sea:

$$\theta = \pm \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}};$$

y, por tanto:

$$\boxed{y - m x \mp \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} (y - n x) = 0} \quad [5] [6]$$

Estas rectas [5] [6] son, por tanto, las que pasan por el origen y por los puntos de intersección de las tangentes a las elipses, paralelas a los diámetros que pasan también por el origen.

Ahora bien, dadas las dos familias de cónicas O_1 y O_2 :

$$\left. \begin{array}{l} (y - m x)^2 + \lambda y (y - 2 a) = 0 \\ (y - n x)^2 + \mu y (y - 2 a) = 0 \end{array} \right\}$$

Las rectas que desde el origen proyectan sus puntos de intersección son precisamente (eliminando la variable de homogeneidad):

$$\frac{(y - m x)^2}{\lambda} = \frac{(y - n x)^2}{\mu}$$

o lo que es lo mismo:

$$y - m x \mp \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} (y - n x) = 0$$

que son precisamente las mismas rectas [5] [6] como queríamos demostrar.

Quizá resulte más elegante la demostración por geometría proyectiva, ya que:

Considerando dos elipses, una de cada familia, cumpliendo las condiciones del enunciado, puede establecerse una relación de afinidad, definida de manera que a cada punto de una elipse le corresponda en la otra, uno de los de intersección de ésta con una paralela a la tangente común trazada por el primero.

Resulta entonces que la dirección de afinidad es la de la tangente común y el eje de afinidad la recta que pasa por el punto de tangencia común y uno de los de intersección de las elipses (por ello se pueden definir dos afinidades).

Entonces, siendo los pares de tangentes a las elipses paralelas a los diámetros que pasan por el punto de tangencia, rectas afines, es evidente que tienen que cortarse sobre el eje de afinidad (*).

Concretando, pues, lo que acabamos de exponer resulta que:

La morfología costera de la bahía de Rosas queda definida con dos arcos de dos elipses tangentes entre sí y tales que su línea de centros es paralela a la tangente común, que a su vez lo es a la dirección de la Tramontana.

Los ejes menores de las elipses a que estos arcos pertenecen, coinciden en situación y dirección con la prolongación hacia dentro del mar de los últimos tramos de los dos únicos ríos, el Muga y el Fluviá, que desembocan en dicha bahía.

En cuanto a los ejes mayores, resultan ligados entre sí por la relación áurea.

Ahora bien, toda esta serie de coincidencias no creemos que sean puramente casuales, al contrario, hemos llegado a la conclusión de que tienen todas su razón de ser, como consecuencia de varias causas entre las que han jugado primordial papel la naturaleza y constitución geológica del país, la presencia de los dos ríos que han sido y son los suministradores de los materiales de que está constituido y, finalmente, el viento, la Tramontana, que, en definitiva, al organizar gracias a su potencia y constancia, la distribución de aquellos materiales, es sin duda el gran dibujante de la bahía.

III

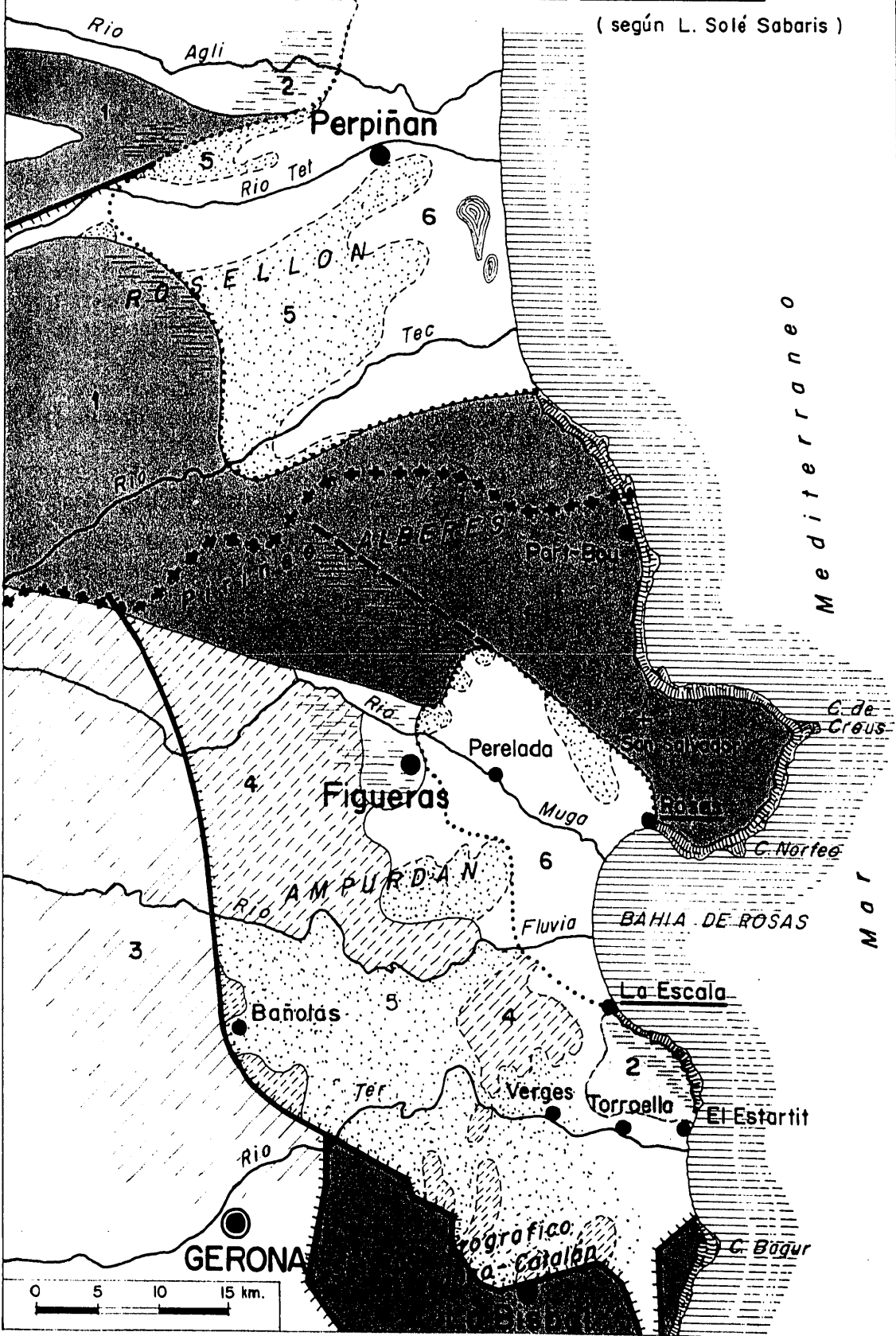
GEOLOGIA

En efecto, recordemos, aunque sea brevemente, que la extensa y risueña llanura del Ampurdán, como la calificó un día el gran poeta Maragall, geológicamente es el resultado del relleno de una gran fosa tectónica de hundimiento (fig. 2.^a), limita-

(*) Agradecemos a nuestros compañeros J. Sáenz Oiza y A. Sancho Sánchez su colaboración en el planteamiento de estas demostraciones.

Esquema morfológico del Ampurdán y del Rosellón

(según L. Solé Sabaris)



Leyenda

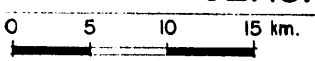
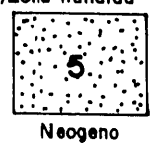
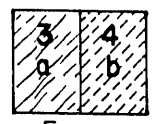
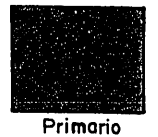
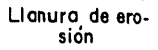
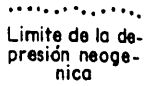
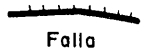


Figura 2.ª

da entre las últimas estribaciones del Pirineo por el Norte, que al sumergirse en el mar forman el cabo de Creus, y el extremo Septentrional de las sierras del sistema Orográfico Mediterráneo-Catalán, por el Sur, y que presenta una longitud de unos 50 Km. ampliamente abierta hacia el mar por Levante, donde forma extensas y llanas playas, que contrastan con las abruptas formaciones pirenaicas indicadas al Norte, y los recortados cantiles del cabo de Bagur al Sur, desde donde empieza propiamente la conocida Costa-Brava. En dirección hacia poniente, la llanura va elevándose suavemente hacia el interior, hasta que queda súbitamente cortada por las montañas de la Garrotxa que la limitan al Oeste, después de un recorrido de unos 20 a 25 kilómetros, al final de los cuales apenas ha llegado a alcanzar los 200 m. de cota sobre el nivel del mar.

La aparición de esta gran fosa de subsidencia empezó después de la descompresión general que siguió a las fases orogénicas alpinas que originaron el último levantamiento de los Pirineos, por lo que desde los primeros tiempos del Mioceno, el mar penetró sobre el bloque hundido, empezando a depositarse sobre él, el enorme espesor de sedimentos que desde entonces lo van recubriendo.

Cuando esto ocurría, al otro lado de la joven cordillera recién levantada, se producía asimismo, otro fenómeno análogo que daba origen a la aparición de otra llanura, el Rosellón, gemela por tanto de la ampurdanesa.

Tanto en una como en otra, los materiales detríticos depositados sobre ellas han llegado a alcanzar espesores de gran potencia. Un sondeo hecho en el Rosellón, cerca de Portella, ha perforado más de 700 m. de espesor de dichos depósitos, e igualmente otras perforaciones realizadas en el Ampurdán, con profundidades de 400 y 600 metros no han salido tampoco de la misma formación, a la que por otra parte, recientes mediciones geofísicas le han atribuido del orden de los 2 000 m. de potencia.

Todos estos sedimentos están formados por materiales detríticos de granulometría en general muy fina, salvo en las zonas marginales, donde presentan facies más continentales con texturas más groseras y mezclas de coluviones laterales, procedentes directamente de la erosión del círculo montañoso que los rodea.

La transición de la llanura a las regiones montañosas periféricas se resuelve siempre por medio de abruptos taludes que corresponden a las superficies y planos de falla que delimitan los bordes del bloque hundido.

No obstante, salvo por la línea de costa, alrededor de toda la llanura se desarrolla a menudo un nivel topográfico intermedio formado por una serie de suaves ondulaciones, modeladas sobre las formaciones terciarias, en general blandas aún, o directamente sobre bloques residuales del macizo granítico pirenaico, cuya profunda alteración y meteorización dan lugar en ciertas zonas a importantes depósitos de marcado carácter arcósico.

Hacia el centro de la llanura y en dirección al mar se extiende la mayor parte del país a un nivel inferior y con una horizontalidad verdaderamente notable, toda vez que su pendiente media no sobrepasa ni el 1 por 100, encontrándose recubierta por las aportaciones fluviales cuaternarias que, acumulándose en los últimos tramos de los ríos que las transportan, convierten aquellas zonas en las clásicas marismas, típicas de los terrenos que poco a poco se van ganando al mar.

Casi en el centro del borde oriental de la llanura y rompiendo la continuidad de la línea de playa, como ya indicamos al principio, emerge de la misma el macizo calizo de Montgrí, que es el único accidente tectónico de cierta importancia presente en la llanura, que la divide en dos partes: el Alto Ampurdán, al Norte, y el Bajo Ampurdán, al Sur.

Cruzan la llanura así formada y constituida, los citados ríos Muga y Fluviá, al Norte del Montgrí, y el Ter, ahora por el Sur; divagando encima de ella y cambiando a menudo localmente de dirección y desarrollo, como ha ocurrido por ejemplo con el último que todavía no hace mucho (midiendo el tiempo a escala geológica) desembocaba al Norte de La Escala, en lugar de hacerlo como actualmente al Sur de Montgrí, y es incluso posible que éste haya estado en tiempos pasados aislado del resto del Ampurdán, por dos brazos del Ter, bifurcado a la altura de Verges. Más adelante el brazo norte quedaría abandonado, siguiendo el río divagando cada vez más hacia el Sur, como fácilmente se comprueba con la simple observación de la fotografía aérea de aquella zona, en la que aparecen aún señalados varios tramos del río abandonados, cubiertos hoy por campos y tierras de labor que los enmascaran, aunque sin lograr borrarlos totalmente.

VIENTO

Durante todo este proceso de subsidencia del bloque hundido, sobre el que como acabamos de ver, se han ido depositando continuamente importantes cantidades de coluviones marginales y aluviones transportados por los tres ríos primero, y sólo por el Muga y el Fluviá después de que el Ter se cerrara a sí mismo el paso hacia el Norte, otro elemento típico y dominante del país, la Tramontana, iba repartiendo a lo largo de toda la línea de costa los materiales que los ríos iban aportando y llevándose fuera, los que el mar no recibía en su alcanzado perfil de equilibrio submarino, dibujándose de este modo la línea de playa.

Las arenas volanderas que cruzando por encima del Macizo de Montgrí, invadían antes de ser fijadas por las repoblaciones de pinos, las huertas y campos de Torroella, atestiguan este efecto eólico y su importancia.

Es evidente que esta acción requiere una persistencia tan continua como lo es prácticamente, la constante aportación fluvial de materiales y además una potencia suficiente, capaz de removerlos, transportarlos y repartirlos, como hemos indicado.

Estas características, de constancia y fuerza son precisamente las que más típicamente definen a la Tramontana como, aunque sea también rápidamente, vamos a analizar a continuación.

En efecto, en cuanto a su capacidad mecánica para llevar a efecto el transporte y reparto eólico de estos materiales, no cabe ninguna duda, a quien haya presenciado cualquiera de las "Tramontanadas" que se desarrollan en aquel país.

El accidente del puente metálico del ferrocarril ubicado antes de la estación de Colera, derribado por el viento en 1877 durante su construcción, los vagones tumbados en aquella misma estación repetidas veces, que ha obligado a construir un muro cortavientos de la altura de los trenes, formado por bóvedas verticales de ladrillo entre contrafuertes de mampostería, el arranque de la marquesina de la estación ferroviaria de Port-Bou, en 1929, los innumerables tejados, muros, chimeneas, árboles, etcétera, tumbados, arrancados y arrastrados, son hechos frecuentes de cada invierno, que ya no extrañan ni sorprenden a los naturales del país, y no hacen más que ir confirmando las descripciones que de semejantes percances y catástrofes figuraban ya en los textos de los clásicos latinos, como los de Aulus Gelli, y Catón entre otros.

Pero además de estas observaciones más o menos subjetivas y anecdóticas, tenemos como referencias más concretas que el anemómetro del observatorio del Castillo de Perelada ha registrado, con bastante frecuencia, velocidades de 120 Km./hora y hasta tres veces por lo menos (que sepamos) la Tramontana ha arrancado el aparato, rompiendo las riostras y cables metálicos que sujetaban el molinete de aquél.

La máxima velocidad que se ha podido registrar hasta ahora ha sido de 172,8 kilómetros hora.

En cuanto al espacio cubierto por su dominio es, precisa y prácticamente, aquella llanura donde se produce con mayor intensidad.

Como detalla muy bien Fontseré en su obra dedicada a los vientos de Cataluña...

...“La Tramontana entra en el Ampurdán directamente del Norte por: Le Perthus, el puerto de Banyuls y Port-Bou, saltando la divisoria de los Alberes y precipitándose directamente sobre la bahía de Rosas y el Cabo Bagur, haciéndole de límite por poniente una línea que entra al mar por los alrededores de Palamós...”

...Otro punto de referencia lo da el trayecto del ferrocarril de Barcelona a Cerbère, ya que es poco antes de llegar el tren a Figueras cuando se encuentra la Tramontana...”

Según el mismo autor, en una comunicación dada por un piloto de la Lufthansa, se dice que el máximo de intensidad de la Tramontana se encuentra entre Figueras y Le Perthus, donde un día al norte de la primera de estas poblaciones, su avión, en menos de dos minutos, fue rebatido de los 2 800 m. de altura a 1 500 m. y con la misma rapidez fue de nuevo izado por encima de los 3 400 metros.

Por otra parte, los pescadores de La Escala conocen todos muy bien la trayectoria de los “verberoles” de los días de Tramontana, que no son otra cosa que ligeras nubecillas formadas por diminutas gotas de agua a ras del mar, azotado por las ráfagas del viento, en las que se descompone la luz solar en llamativas irisaciones que avanzan rápida y directamente desde frente a San Salvador hacia La Escala (o sea, paralelamente a la dirección de la tangente común a las elipses que dibujan la línea de playa de la bahía).

Las dunas de Ampurias, como ya hemos indicado, plantearon antes de su fijación con las pertinentes repoblaciones iniciadas hace varias decenas de años, serios problemas al ser transportadas por la Tramontana, hasta más allá del macizo de Montgrí, saltando por encima de éste e invadiendo los cultivos de Torroella en una zona, bautizada todavía con el significativo nombre de Camino de las Dunas, cuya dirección en más de unos 8 a 10 Km. sigue siendo paralela a la dirección de la tangente común a las elipses.

De todo lo que acabamos de exponer, deducimos en consecuencia las siguientes conclusiones:

V

CONCLUSIONES

En primer lugar, la constitución geológica del suelo Ampurdanés formado por depósitos de materiales detríticos de granulometría fina, transportados hasta la playa por los ríos Muga y Fluviá, a la que llegan principalmente por los puntos de su desembocadura y con la dirección del curso fluvial aportador, explica y justifica la

posición y dirección de los ejes menores de las elipses formadas en la línea de playa de la bahía de Rosas.

Esto es exacto para el Muga que no ha sufrido ninguna influencia extraña y casi exacto por el Fluviá, cuya anomalía en su último tramo acusa aún las reminiscencias de la influencia de las grandes riadas del Ter en este extremo de la bahía, en épocas anteriores a su ubicación definitiva al Sur del Montgrí.

La marero-homogeneidad de estos materiales ha permitido que en su distribución se comporten en conjunto como un medio isótopo y, por tanto, capaz de responder a las acciones externas continuas, con formas regulares.

Finalmente, la Tramontana con su potencia, fuerza y asiduidad, ha distribuido y sigue distribuyendo estos materiales, originando y conservando la pureza geométrica de la morfología alcanzada.

En resumen, pues, en la bahía de Rosas, entre los ríos Muga y Fluviá, constantes aportadores de nuevos materiales y la Tramontana repartiéndolos no menos constantemente a lo largo de la playa y llevándose fuera los que le sobran, la *Geología* y el *Viento*, hacen su *Geometría*.