

D-27-12/3

ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICO — QUIMICAS Y
NATURALES DE ZARAGOZA

**METODOS ACTUALES
DE ANALISIS DE CUENCAS:
ANALISIS TECTOSEDIMENTARIO DEL
TERCIARIO CONTINENTAL DE ARAGON**

DISCURSO DE INGRESO LEIDO POR EL ACADEMICO ELECTO

Ilmo. Sr. D. JOAQUIN VILLENA MORALES

*EN EL ACTO DE SU RECEPCION SOLEMNE
CELEBRADO EL DIA 25 DE ENERO DE 1990*

Y

DISCURSO DE CONTESTACION POR EL

Ilmo. Sr. D. HORACIO MARCO MOLL

ACADEMICO DE NUMERO



ZARAGOZA
1990

X-32-048819-4

R.3345

**METODOS ACTUALES DE ANALISIS DE
CUENCAS: ANALISIS TECTOSEDIMENTARIO
DEL Terciario CONTINENTAL DE ARAGON.**

DISCURSO DE INGRESO LEIDO POR EL ACADEMICO ELECTO

Ilmo. Sr. D. JOAQUIN VILLENA MORALES



*Excmo. Sr. Presidente,
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores Académicos,
Señoras y Señores:*

Quisiera emplear mis primeras palabras en este acto para expresar mi más profundo agradecimiento a todos los miembros de esta Academia y en especial a aquellos que promovieron mi elección. A la vez quiero poner de manifiesto la gran satisfacción que es para mi el verme honrado con vuestra confianza.

Hace casi 93 años (7 de Febrero de 1897) el ilustre escritor D. Benito Pérez Galdós se dirigía a la Real Academia Española, con motivo de su ingreso en tan docta corporación afirmando, guiado por su modestia, que su elección se había debido más a un acto de benevolencia que de justicia. Pues bien, creo que tales palabras son las más apropiadas para justificar mi comparecencia hoy ante ustedes. Pero como no quiero empezar mi actuación en esta Academia poniendo reparos a sus decisiones, rigurosas y ajustadas a la realidad en todos los demás casos, permitanme al menos dejar evidencia de los principales culpables de mi situación aquí. En primer lugar a mi maestro Oriol Riba, que me supo orientar en los tiempos siempre difíciles de los primeros trabajos y que me inició en la investigación estratigráfica y sedimentológica, y luego a mis colaboradores, los mayores responsables, pues ellos han sido y son el verdadero estímulo de mi actividad desde hace más de quince años.

Por último, como creo que a partir de este momento lo que han de contar son las acciones futuras, sólo me atrevo a expresar Sr. Presidente, mi intención de colaboración en aquellas tareas en que la Academia estime pueda ser de alguna utilidad.

En cuanto al tema sobre el que voy a tener el honor de hablaros, lo he elegido por ser de gran actualidad, y hasta cierto punto polémico, dentro del mundo de la Geología, y también porque me proporciona la oportunidad de referirme a investigaciones sobre la región aragonesa llevadas a cabo en los últimos años.

1. INTRODUCCION

De forma simple y general, una cuenca sedimentaria es un lugar deprimido y de amplias dimensiones de la corteza terrestre, donde se depositan o han depositado unos sedimentos.

Las cuencas actuales responden a una gran variedad de situaciones geológicas y muestran igualmente una variada tipología de formas de relleno. Las cuencas del pasado, fosilizadas casi sin deformación o integradas en cadenas montañosas, poseen una larga y a veces compleja historia evolutiva, consecuencia de los procesos globales de creación y desaparición de litosfera. Tal evolución se infiere, básicamente del estudio de su relleno, es decir, de sus sedimentos.

En estos estudios, al igual que en otros campos, los geólogos no se han contentado con solo observar y describir, sino que han intentado al mismo tiempo, tal como señalan **Potter y Pettijohn** (1963) cotejar sus informaciones para formular leyes generales y construir teorías más comprensivas de evolución de cuencas. Ahora bien, el relleno de una cuenca no es, como objeto de estudio, abarcable globalmente, ya que responde a una sucesión de situaciones geológicas cambiantes, a veces radicalmente diferentes, a través de los tiempos. Se hace entonces necesario estudiar la cuenca mediante la reconstrucción de sus sucesivas etapas evolutivas, cada una de las cuales vendrá representada por un conjunto tridimensional de sedimentos.

2. ANALISIS DE CUENCAS

2.1. Aspectos generales

El análisis de cuencas es el objetivo final de la investigación estratigráfica, paso previo para la elaboración de una interpretación y síntesis, **Paleogeografía**, entendida no sólo como reconstrucción geográfica en sentido ffsico, sino también geológica en su sentido dinámico y bioestratigráfico.

Los estudios que cubren todos los objetivos que conlleva este análisis representan una investigación estratigráfica "integral" en sus sentido más amplio. El análisis de cuencas abarca, tal como señalan

Corrales et al. (1977), el estudio de las características de los materiales que las rellenan, atendiendo de forma especial a la evolución, en el espacio y en el tiempo, de las diferentes unidades estratigráficas que en ellas puedan diferenciarse, sin olvidar tampoco que dicha evolución está estrictamente relacionada con el momento tectónico que afectaba a la cuenca y áreas circundantes. En efecto, la tectónica, a escala incluso global, está en el origen y evolución de una cuenca, aparte de que algunas de las áreas marginales antes aludidas se habrán comportado como fuente de los materiales que fueron a depositarse a la misma cuenca. Por último, cuando se realice una reconstrucción palinspástica de la cuenca, será imprescindible conocer la configuración estructural actual de la misma. Pues bien, de estos tres aspectos de la influencia de la tectónica en la historia de una cuenca, al menos los dos primeros, influencia en la génesis y en la evolución, se conocen esencialmente a partir del estudio del relleno sedimentario.

Está claro que el análisis de cuencas concierne a conceptos fundamentales de tectónica y sedimentación, y su desarrollo requiere la aplicación de muchos conceptos geológicos, entre los cuales los más importantes son los de la Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica, requiriendo su realización conocimientos de especialidades geológicas diversas y una cierta experiencia para valorar adecuadamente las relaciones entre los diferentes tipos de evidencias a utilizar.

2.2 Evolución en los métodos de análisis de cuencas

Desde un punto de vista metodológico fundamental, la realización del análisis de cuencas implica la disección del conjunto en sus partes, o expresado de otra forma, será necesario dividir la sucesión estratigráfica completa de una cuenca sedimentaria en sus unidades; por ello son capítulos vitales de la investigación los referentes a la división del relleno y la subsiguiente correlación de los testigos del mismo.

Llegado a este punto no quisiera continuar sin antes hacer unas rápidas consideraciones acerca de cómo se ha llegado a la situación actual de la investigación en el análisis de cuencas, pues es obvio que una investigación de este tipo está sometida a una constante evolución de sus métodos, en función de los avances que se van produciendo en cada una de las diferentes disciplinas geológicas que integra.

Inicialmente, y hasta hace poco más de veinte años en Europa, la Estratigrafía se desenvolvía en una estrecha relación y fuerte dependencia de la Paleontología.

A este respecto el Profesor **M. Lecompte** escribía para el "Coloquio sobre métodos y tendencias de la Estratigrafía" celebrado en Orsay en 1970, lo siguiente:

*... "para muchos geólogos las excelencias del método paleontológico ha conducido a identificarlo con la propia Estratigrafía, dejando así a los paleontólogos el cuidado de dividir en unidades biológicas, una historia que comprende muchos otros elementos además de la evolución de la vida. **Ahora bien, la Estratigrafía es ante todo un fenómeno sedimentario que está caracterizado por numerosos elementos**"...*

Durante ese tiempo la investigación realizada contribuyó a establecer una infraestructura geológica que en parte ha servido de base para investigaciones posteriores y en la que los terrenos sin faunas apropiadas o azoicos, quedaron estratigráficamente un tanto abandonados.

Los análisis de cuencas realizados bajo este enfoque de la Estratigrafía estaban basados en la correlación bioestratigráfica, estableciéndose divisiones del relleno sedimentario mediante unidades separadas por límites isócronos y que por tanto constitúan divisiones cronoestratigráficas.

Dichos análisis, que se realizan preferentemente en los últimos años de esa etapa, se materializan en mapas de isopacas y litofacies que carecen por sí mismos de verdadero significado paleogeográfico, ya que son realizados sin tener en cuenta si existía unidad genética en los materiales comprendidos entre los límites establecidos; además el significado sedimentológico de las facies era aún oscuro. En efecto en esa época la Sedimentología está en una fase inicial, en la que sus primeros pasos se dirigieron preferentemente a la investigación de los rasgos texturales y mineralógicos de los sedimentos.

Aunque la tendencia se había iniciado años antes en Norteamérica, a partir de los setenta los estratígrafos europeos geológicamente menos tradicionales centran su interés en el estudio de las formaciones, tanto desde el punto de vista individual, como en sus relaciones espacio-temporales con otras unidades rocosas, quedando en un papel menos prioritario el "etiquetado" cronoestratigráfico. Lo importante ya no es situar una unidad estratigráfica en la escala cronoestratigráfica, sino identificar las unidades lito y/o

bioestratigráficas, y determinar sus condiciones de sedimentación y relaciones con las unidades adyacentes.

Con esta orientación cobra importancia la interpretación genética de los estratos y se favorece el estudio de formaciones bioestratigráficamente poco atractivas, al tiempo que la Sedimentología empieza a jugar un papel importante como disciplina que se ocupa del análisis ambiental basado en la geometría de los depósitos y en la ordenación horizontal y vertical de las facies. Durante este tiempo la Litoestratigrafía ha ido cobrando cada vez mayor importancia en la investigación, a la vez que se ha producido un cierto distanciamiento e independización con respecto a la Paleontología.

Este hecho, que en muchos aspectos supone un avance, conduce, sin embargo, a una interpretación cada vez más rígida del Código de Nomenclatura Estratigráfica, y ha conllevado una intensa proliferación de unidades en la nomenclatura geológica que termina haciéndola poco funcional.

Con este nuevo enfoque se conoce la distribución espacial de los ambientes sedimentarios, pero no siempre su relación temporal y sobre todo genética, con lo que el análisis de cuencas continúa sin tener un significado paleogeográfico dinámico.

Posteriormente, los enormes avances en la Sedimentología y Estratigrafía sísmica, así como la evolución de los métodos de análisis estratigráficos de los sistemas de depósito, la documentación sobre cambios del nivel del mar (todo ello debido mayoritariamente a las investigaciones de los recursos geológicos, principalmente hidrocarburos) y el impacto de la tectónica de placas, han ocasionado un desarrollo rápido de los métodos y resultados del análisis de cuencas, los cuales continúan evolucionando a paso vertiginoso, de forma que en la actualidad se requieren métodos completamente nuevos para proceder a la definición y correlación de Unidades estratigráficas conceptualmente nuevas.

De acuerdo con esta evolución, desde finales de los años sesenta los geólogos del petróleo vienen intentando establecer divisiones y correlaciones basadas en los acontecimientos geológicos que afectan al conjunto de una cuenca de sedimentación y que de alguna manera quedan reflejados en sus series estratigráficas. Por ello han venido enfocando sus estudios estratigráficos con vistas a la detección de estos acontecimientos y valorar su distribución en el espacio y en el tiempo.

Según las tendencias más recientes (Miall, 1984), el primer paso para el análisis de cuencas debe ser el establecimiento de la distribución espacio-temporal de las divisiones mayores, pasando a continuación a la interpretación de cada división en términos de los sistemas de depósito que la componen. Finalmente, dentro de cada sistema debería, si fuera posible, definirse diferentes unidades a nivel de formación, basadas en criterios genéticos.

Con este planteamiento, desde 1973 y de forma más o menos continua hasta la actualidad, se vienen elaborando nuevos métodos de análisis de cuencas tendentes a establecer las divisiones mayores antes aludidas, como objetivo principal. Estos métodos se sintetizan principalmente en: Estratigrafía Sísmica, y Análisis Tectosedimentario.

3. METODOS ACTUALES DE ANALISIS DE CUENCAS

3.1 Estratigrafía Sísmica

La Estratigrafía Sísmica nace como consecuencia de la evolución de las modernas técnicas sísmo-estratigráficas. En la actualidad, tal como señala Miall (op. cit.), las técnicas de adquisición y procesamiento realzan los registros sísmicos hasta hacer posible que puedan verse finos detalles arquitecturales de la cuenca entera, lo que permite delinear las relaciones geométricas espaciales de los mayores sistemas de depósito. Esto es de gran importancia en la Geología del subsuelo, ya que se puede conocer las posibles divisiones estratigráficas mayores de una cuenca, así como descubrir su composición y hacer predicciones acerca de las variaciones internas, todo ello en una fase temprana de la exploración, incluso antes de realizar el primer sondeo.

Según Vail et al (1977), las reflexiones sísmicas derivadas de las rocas sedimentarias son esencialmente superficies de estratificación y por tanto cuasi isócronas, por lo que constituyen líneas de correlación crono-estratigráfica. Esta metodología se desarrolla a partir del estudio de perfiles sísmicos de cuencas de márgenes continentales pasivos y, según sus impulsores, (Mitchum et al. 1977), consiste fundamentalmente en delimitar conjuntos de estratos a partir de sus relaciones geométricas con los limitantes. El relleno de estas cuencas queda así dividido en "secuencias de depósito" (depositional sequences) cuyos límites son superficies de discontinuidad estratigráfica que

implican cambios en la posición relativa del nivel del mar, los cuales quedan reflejados en los rasgos geométricos de los perfiles sísmicos como solapamientos expansivos (onlaps costeros) y disconformidades, especialmente en las partes próximas al continente, mientras que en zonas más alejadas su evidencia es menos notable (Ver figura 1). Las "secuencias de depósito" establecidas mediante esta metodología son, a la vez, divisiones de la cuenca con significado cronoestratigráfico.

3.2. Análisis tectosedimentario

El análisis tectosedimentario fue dado a conocer en 1982 por **Garrido-Megías**, aunque su inicio es bastante anterior (1973). Se fundamenta en la división del relleno de las cuencas en Unidades Tectosedimentarias (UTS).

Según **Garrido-Megías** (1982), el análisis tectosedimentario es una metodología en cuyo desarrollo se analiza, clasifica e interpreta los sedimentos en estrecha relación con los movimientos relativos de la corteza terrestre y fenómenos asociados, y tiene como objeto establecer una correspondencia dinámica entre el registro sedimentario y los parámetros fundamentales que intervienen en el relleno de la cuenca. Tales parámetros son velocidad de diastrofismo, velocidad de sedimentación y variaciones del nivel del mar para los sedimentos marinos.

Esta metodología parte de la idea de que el relleno de una cuenca es la respuesta al ambiente tectónico y climático que la rodea. Toda variación en este ambiente afecta al conjunto de la cuenca y tiene una respuesta correlativa en la sedimentación, respuesta que es casi instantánea a escala geológica y que se puede considerar como el resultado de la coetaneidad de los procesos tectónico y sedimentario.

Su unidad básica, la UTS elemental, se define como una unidad estratigráfica constituida por una sucesión de estratos (no necesariamente conformes) depositados dentro de un intervalo geológico concreto y bajo una dinámica sedimentaria y tectónica de polaridad definida. En una UTS elemental siempre se verifica que, para cualquier sección vertical de la misma, la suma de los tiempos representados por los sedimentos y por los hiatos sedimentarios (cuando existan) es una magnitud constante.

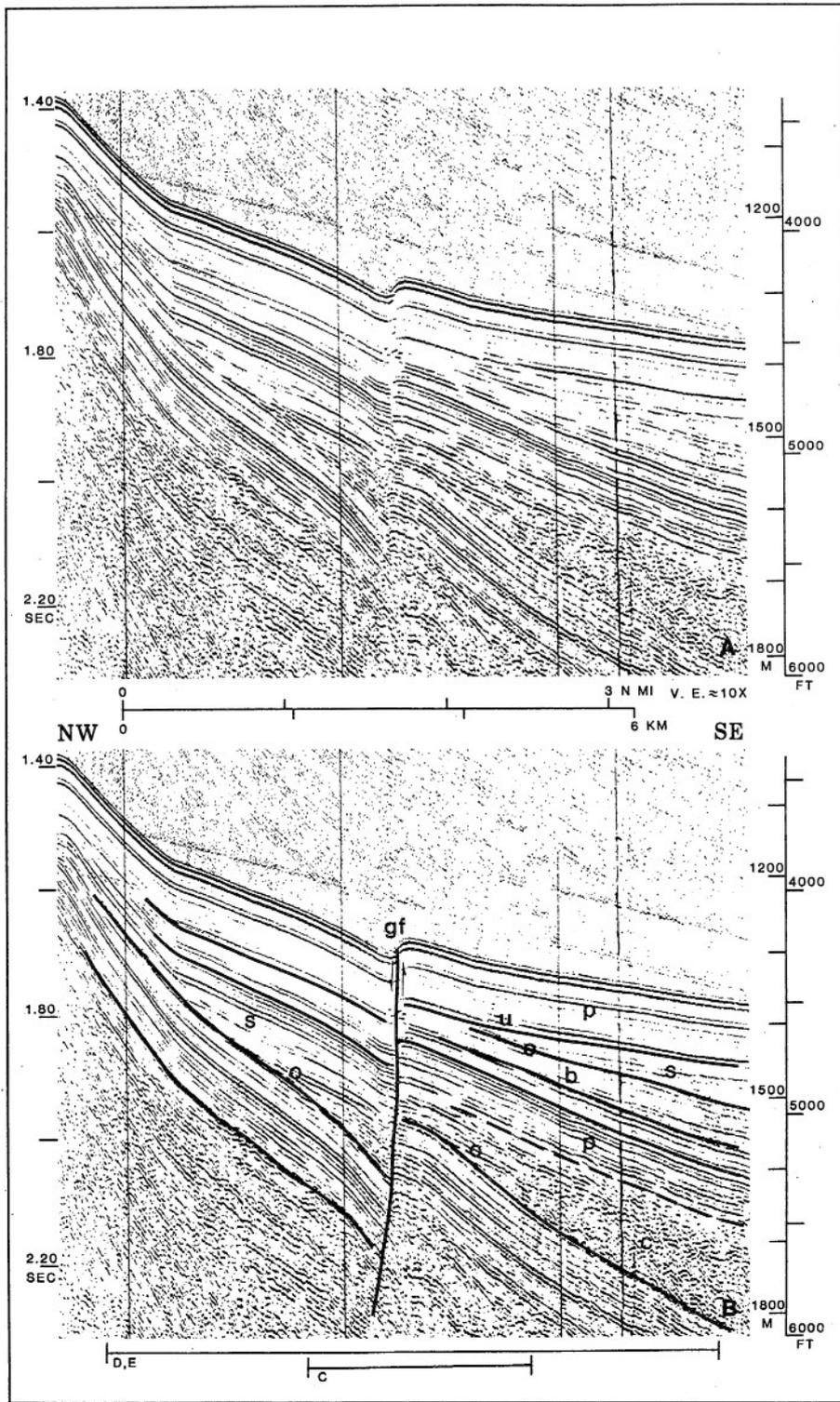


Figura 1. A: Perfil sísmico de alta resolución. B: interpretación de los rasgos sísmico-estratigráficos. p, reflexiones paralelas continuas; b, reflexiones paralelas discontinuas; s, reflexiones semitransparentes; c, reflexiones caóticas; o, secuencia onlaparte; u, discordancia; gf, falla.

Los límites naturales de la UTS, sea cual sea su categoría (elemental o compleja), están materializados por rupturas o discontinuidades sedimentarias de rango cuencal.

En definitiva, una UTS representa la respuesta sedimentaria a una evolución de signo determinado en los factores externos que han condicionado y controlado la evolución de la cuenca durante un intervalo de tiempo concreto. En consecuencia, para la correcta definición de una UTS, es necesario establecer con precisión su evolución vertical y horizontal además de fijar sus límites.

A este respecto hemos definido una ruptura sedimentaria como una superficie, reconocible a escala de cuenca, según la cual un conjunto sedimentario experimenta un salto brusco o un cambio de signo en su evolución secuencial. Esta evolución se entiende a la escala propia de las secuencias de orden superior o ritmos del análisis secuencial de **Delfaud** (1972).

Los cambios de signo pueden darse dentro de sucesiones en perfecta continuidad sedimentaria. Los saltos en la evolución secuencial pueden implicar o no cambio de signo de la misma, pero en ambos casos el análisis sedimentológico los traduce como superposición de medios o subambientes sedimentarios no relacionados lateralmente. Tales saltos pueden reconocerse, bien en series concordantes representando paraconformidades, bien en relación con discordancias (ver figura 2).

Desde el punto de vista genético, una ruptura sedimentaria es la manifestación en el registro estratigráfico de una variación de los factores externos a los sistemas sedimentarios, es decir, tiene su origen en mecanismos alocíclicos.

La metodología del análisis tectosedimentario, en principio, es de una aplicación más general que la Estratigrafía sísmica y sus "secuencias de depósito", ya que estas últimas, de acuerdo con su concepción, están limitadas a sedimentos de plataformas marinas en márgenes pasivos y son deducidas a partir de perfiles sísmicos.

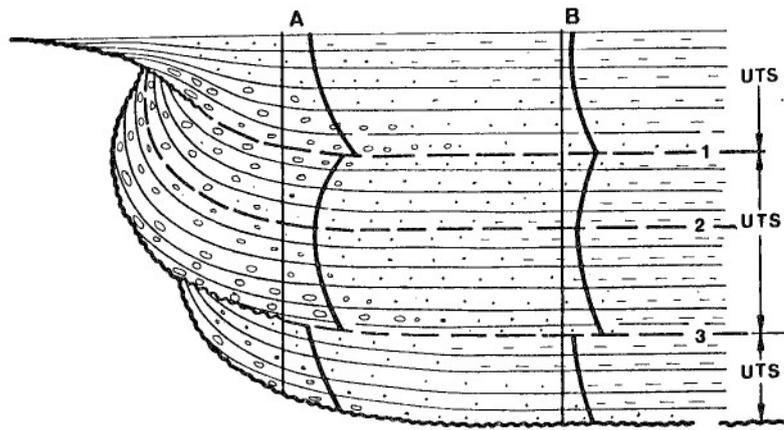


Figura 2. Esquema de relleno sedimentario en relación con un margen activo. A y B evolución secuencial, 1, 2 y 3 diferentes tipos de rupturas sedimentarias que separan U.T.S. elementales.

4. APLICACION DEL ANALISIS TECTOSEDIMENTARIO: EL Terciario Continental en Aragón

Expuestos los principios básicos del análisis tectosedimentario, vamos a exponer algunos de los resultados más recientes obtenidos con la aplicación de esta metodología.

A este respecto no podemos olvidar que cualquier investigación geológica siempre se realiza sobre materiales de una región concreta más o menos amplia de la corteza terrestre y, aunque a partir de las investigaciones de campo se desarrollan métodos y modelos y se elaboran conceptos generales, la aplicación de tales métodos o modelos siempre es a nuevas investigaciones sobre áreas concretas, con particularidades irrepetibles y aspectos propios. Estos hechos confieren o añaden a la investigación geológica un carácter regional imposible de soslayar. Por ello, dado que estamos en la Academia de Ciencias de Zaragoza y el carácter aragonés, no de nacimiento, pero sí de adopción, del que os habla, he preferido referirme a investigaciones en Aragón. Con ello quiero, de alguna manera, expresar mi agradecimiento a esta tierra en la que trabajo desde hace más de veinticinco años.

Para el caso que nos ocupa tal cometido no plantea mayores problemas, pues en la Universidad de Zaragoza existe un grupo de investigadores, del cual formo parte, que viene aplicando esta metodología desde hace años, principalmente en nuestra región.

Concretamente voy a centrar mi atención en los resultados recientes obtenidos en los estudios sobre los materiales del Terciario continental.

Estos materiales se distribuyen ocupando una extensa superficie de la región aragonesa, alcanzando importante desarrollo en las fosas y depresiones ibéricas y sobre todo en la depresión del Ebro (Ver figura 3).

Se trata de unos materiales en los que la aplicación de la metodología estratigráfica clásica encuentra serias dificultades, pues su distribución en cubetas geográficamente aisladas, donde predominan las facies groseras con la consiguiente escasez de yacimientos fósiles, hace muy problemática su asignación cronoestratigráfica y su correlación por métodos paleontológicos.

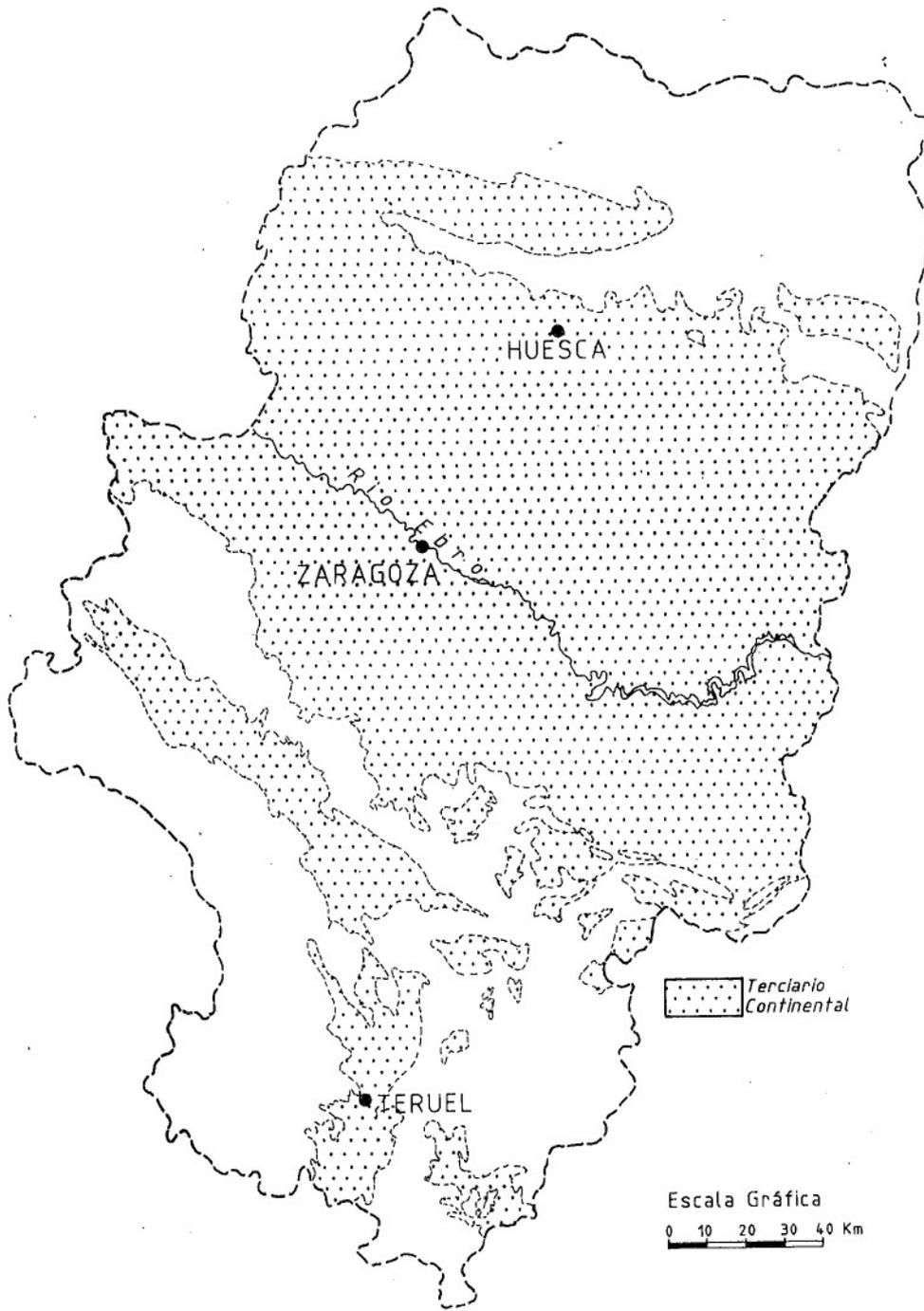


Figura 3. Distribución de los principales afloramientos de materiales terciarios continentales dentro de Aragón.

Prueba de ello es que las divisiones y unidades hasta ahora establecidas, principalmente unidades litoestratigráficas (formación o similar), tenían y tienen por lo general una validez muy local, y su profusión, sin tener bien establecidas sus relaciones espaciales, como ocurre en el caso de la depresión del Ebro, ha conducido a un galimatías que dificulta más que facilita la división y posterior análisis evolutivo del relleno sedimentario de las respectivas cuencas o cubetas.

En el estudio de estos materiales terciarios continentales las rupturas escogidas como límites para diferenciar UTS han sido, siempre que las condiciones de afloramiento lo han permitido, aquellos saltos bruscos o cambios de signo en la evolución secuencial correlativos a discordancias en los márgenes de las cuencas y/o flancos de pliegues sinsedimentarios situados en el interior de los mismos (Ver figura 2).

Para aquellas UTS en que las condiciones de afloramiento no han permitido observar las posibles discordancias correlativas a las rupturas que las limitan, el carácter continental, y las evidencias de endorreísmo que se deducen de su estudio sedimentológico, llevan a pensar que tales rupturas no pueden relacionarse con otros mecanismos alocíclicos distintos de los tectónicos.

Las investigaciones realizadas con las premisas anteriores, han permitido identificar en las cubetas ibéricas y margen ibérico de la depresión del Ebro, un conjunto de diez UTS para la totalidad del relleno sedimentario terciario. En base a los yacimientos fósiles conocidos en la actualidad se pueden asignar cuatro de ellas al Paleógeno y las restantes al Neógeno.

4.1 Unidades Paleógenas

Las cuatro unidades más inferiores denominadas T₁, T₂, T₃ y T₄ (**Pérez** et al. 1983; **González** et al., 1984 y **Villena** et al. 1987) se encuentran casi exclusivamente en las cubetas ibéricas, y sólo afloran algunas de ellas en unos pocos puntos del sector de la depresión del Ebro antes aludido.

La más inferior, T₁, se dispone en discordancia cartográfica sobre términos del Cretácico superior y medio, presentando una evolución vertical poco definida con tendencia al granocrecimiento, negativa en el sentido de **Lombard** (1956). Representa la etapa de máxima extensión de las cuencas paleógenas.

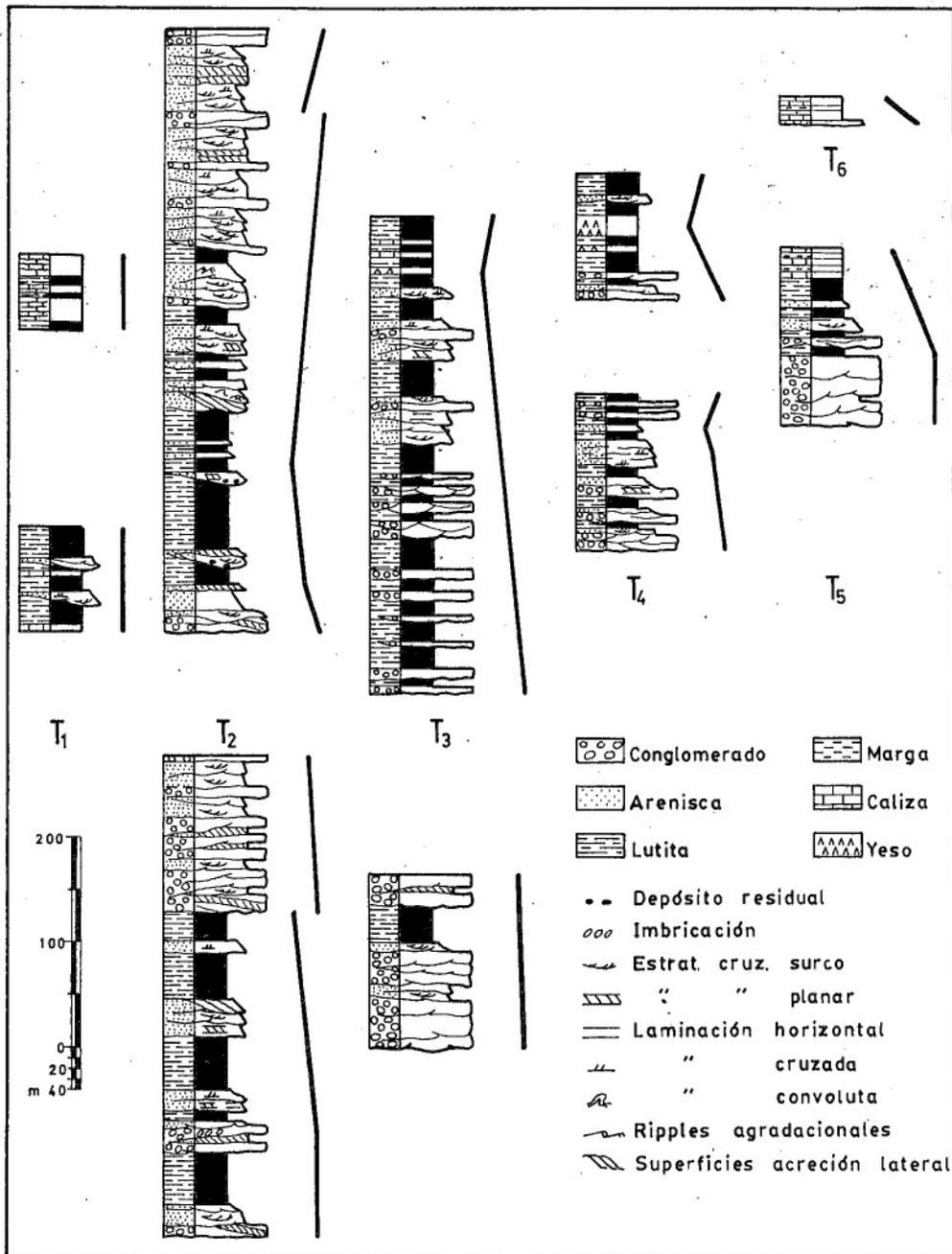


Figura 4. Evolución vertical y perfiles estratigráficos representados de las diferentes U.T.S terciarias de la cubeta de Alfoza, según González et al. (1984), T₁, T₂, T₃ y T₄ Unidades Paleógenas.

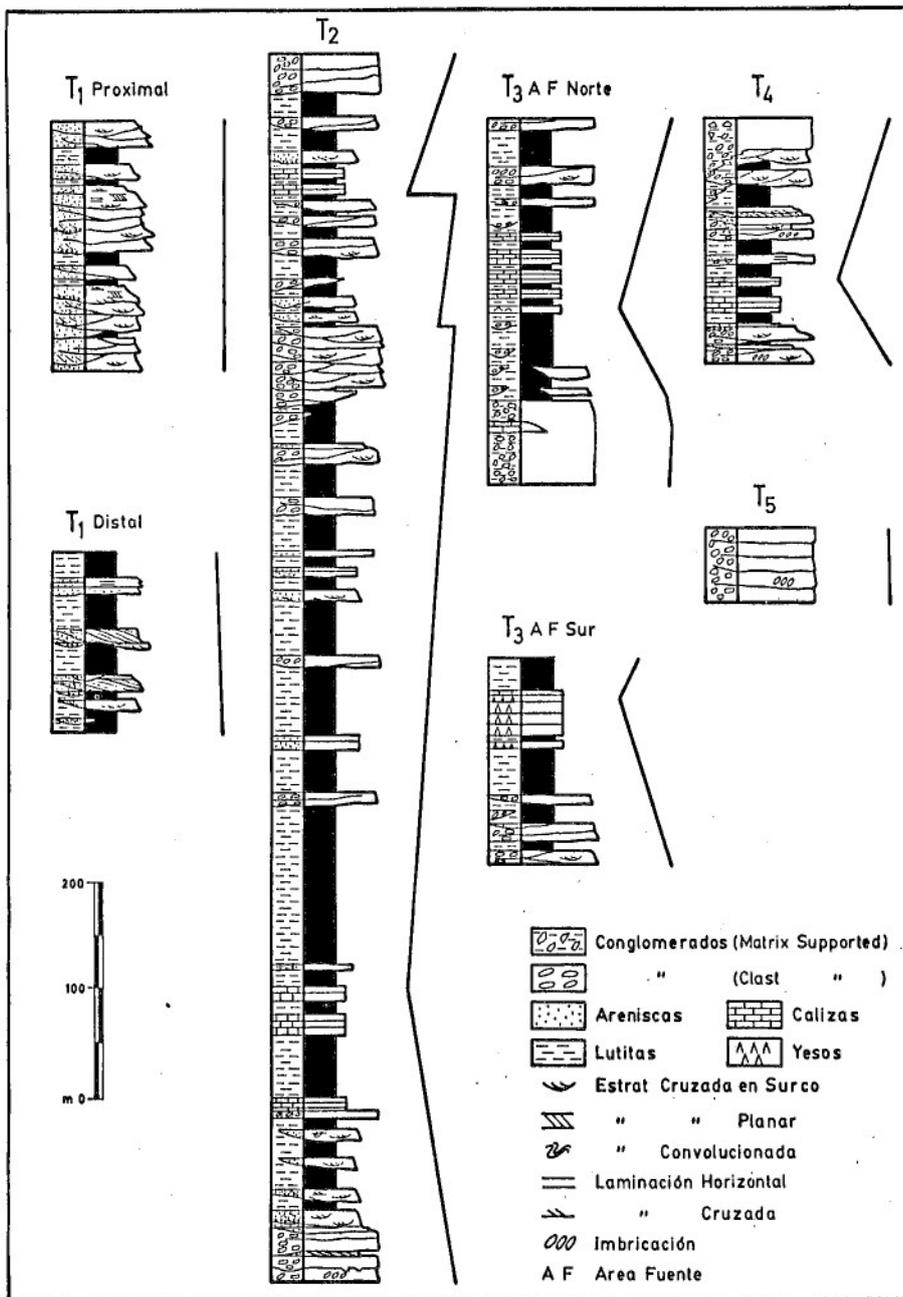


Figura 5. Evolución vertical y perfiles estratigráficos representativos en las diferentes U.T.S. terciarias de la cubeta de Montalbán, según Pérez et al. (1983). T₁, T₂, T₃ y T₄ Unidades Paleógenas.

Las restantes unidades paleógenas (T_2 , T_3 y T_4) están limitadas por discordancias y sus correlativos saltos o cambios en la evolución vertical. Presentan una evolución cíclica, en general asimétrica, compuesta por un hemicyclo inferior de tendencia granodecreciente y un hemicyclo superior de evolución granocreciente (ver figuras 4 y 5). Cada una de estas unidades son UTS complejas, dado que registran cambios de signo en su evolución secuencial.

Estas unidades complejas son sumamente prácticas desde el punto de vista cartográfico, mientras que la separación de los dos hemicyclos resulta poco útil para estos fines, puesto que su identificación solo puede realizarse mediante un análisis secuencial sistemático para toda la cuenca. Muestra de ello son las cartografías realizadas en las cubetas ibéricas, tales como Montalbán y Alloza entre otras (ver figuras 6 y 7). Sin embargo, a la hora de analizar los acontecimientos diastróficos la división de las UTS complejas en UTS elementales añade una gran precisión, como se verá más adelante.

4.2. Unidades Neógenas

Los materiales neógenos representan una sucesión que, cuando se presenta más completa, puede dividirse en seis unidades, de las cuales las cuatro primeras, localmente denominadas N_1 , N_2 , N_3 y N_4 (Pérez et al. 1988), son las que mayor extensión de afloramiento presentan dentro de la región que nos ocupa y constituyen la casi totalidad del material sedimentario aflorante en el margen ibérico de la depresión del Ebro (ver figura 8).

Las dos unidades superiores sólo se conocen, por el momento, en la cubeta de Calatayud-Teruel (Villena et al. 1987).

Todas las unidades neógenas, a excepción de la N_3 , corresponden a una megasecuencia de evolución granodecreciente, y sus límites están dados por cambios litológicos bruscos que marcan saltos en la evolución secuencial, con la excepción de los límites inferiores de las unidades N_1 y N_4 que corresponden a cambios de signo en la evolución secuencial (paso de evolución negativa, granocrecimiento, a positiva, granodecrecimiento). La unidad N_3 presenta una evolución cíclica asimétrica, con un hemicyclo inferior positivo de escaso desarrollo, seguido de un hemicyclo negativo al que corresponde la mayor parte de la sucesión encontrada (ver figura 9, A y B).

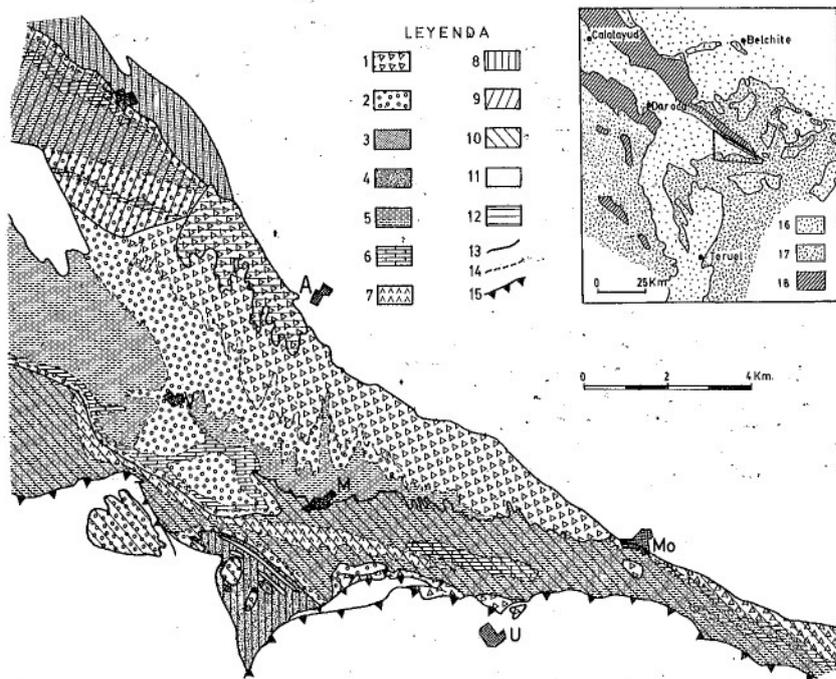


Figura 6. Mapa geológico de la cubeta de Montalbán, según Pérez et al. (1983): 1. coladas de fango + cursos entrelazados; 2. cursos entrelazados conglomeráticos; 3. cursos entrelazados arenosos; 4. llanuras de barro con "point-bars"; 5. llanuras de barro-llanuras de arena; 6 y 7. áreas lacustres; 8. Unidad T₁; 9. unidad T₂; 10. unidad T₃; 11. unidad T₄; 12. unidad T₅; 13. Plio-cuaternario; 14. contacto entre facies; 15. contacto entre unidades; 16. cabalgamiento; 17. Cenozoico; 18. Mesozoico; 19. Paleozoico. A: Armillas; F: Fuenferrada; M: Martín del Río; Mo: Montalbán; S: Segura de los Baños; U: Utrillas; V: Vivel de Río.

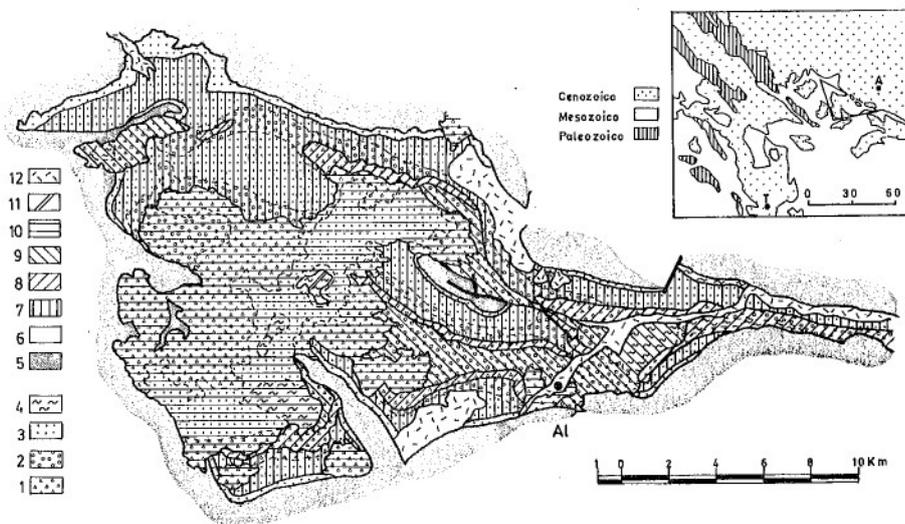


Figura 7. Mapa geológico de la cubeta de Alloza según González et al. (1984): 1. Facies proximales de abanico aluvial. 2. Facies medias. 3. Facies distales. 4. Facies lacustres. 5. Mesozoico. 6. Unidad T₁. 7. Unidad T₂. 8. Unidad T₃. 9. Unidad T₄. 10. Unidad T₅. 11. Unidad T₆. 12. Cuaternario.

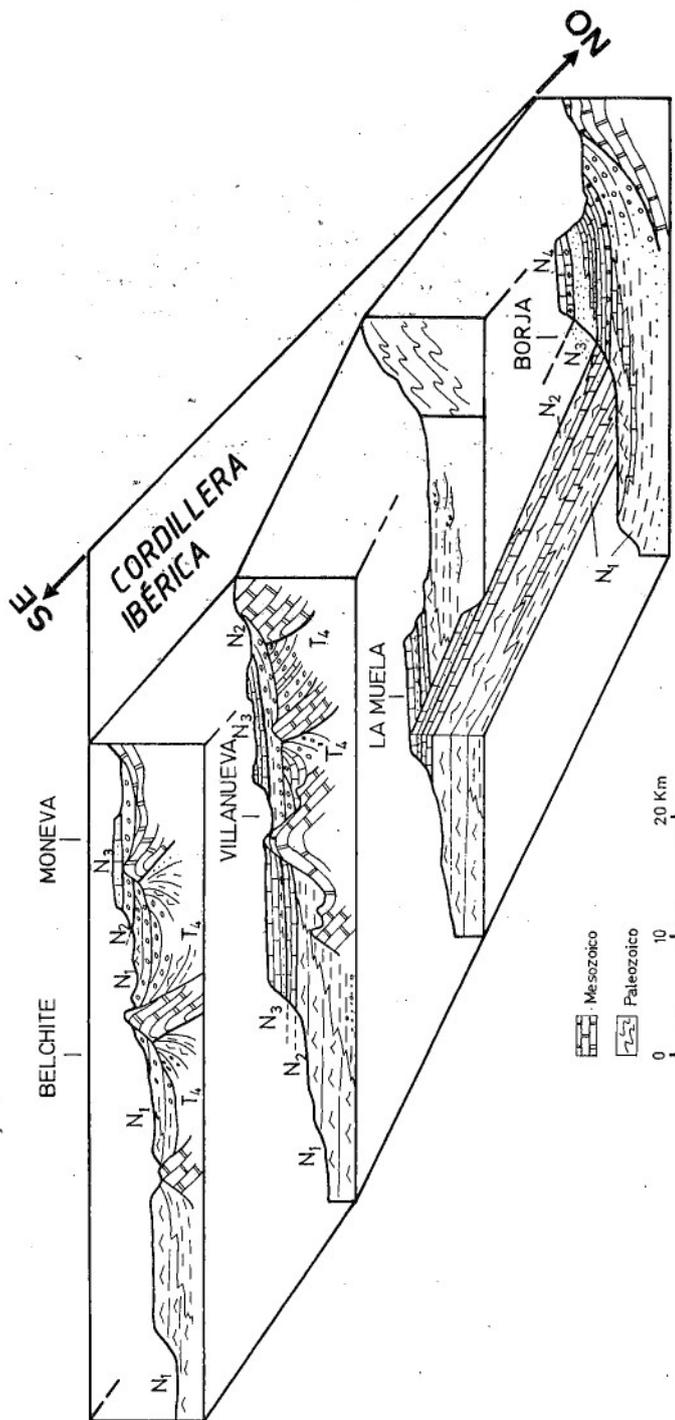


Figura 8. Cortes geológicos del margen Sur de la cuenca del Ebro, mostrando la distribución y relaciones de las U.T.S. definidas, según Pérez et al. (1988).

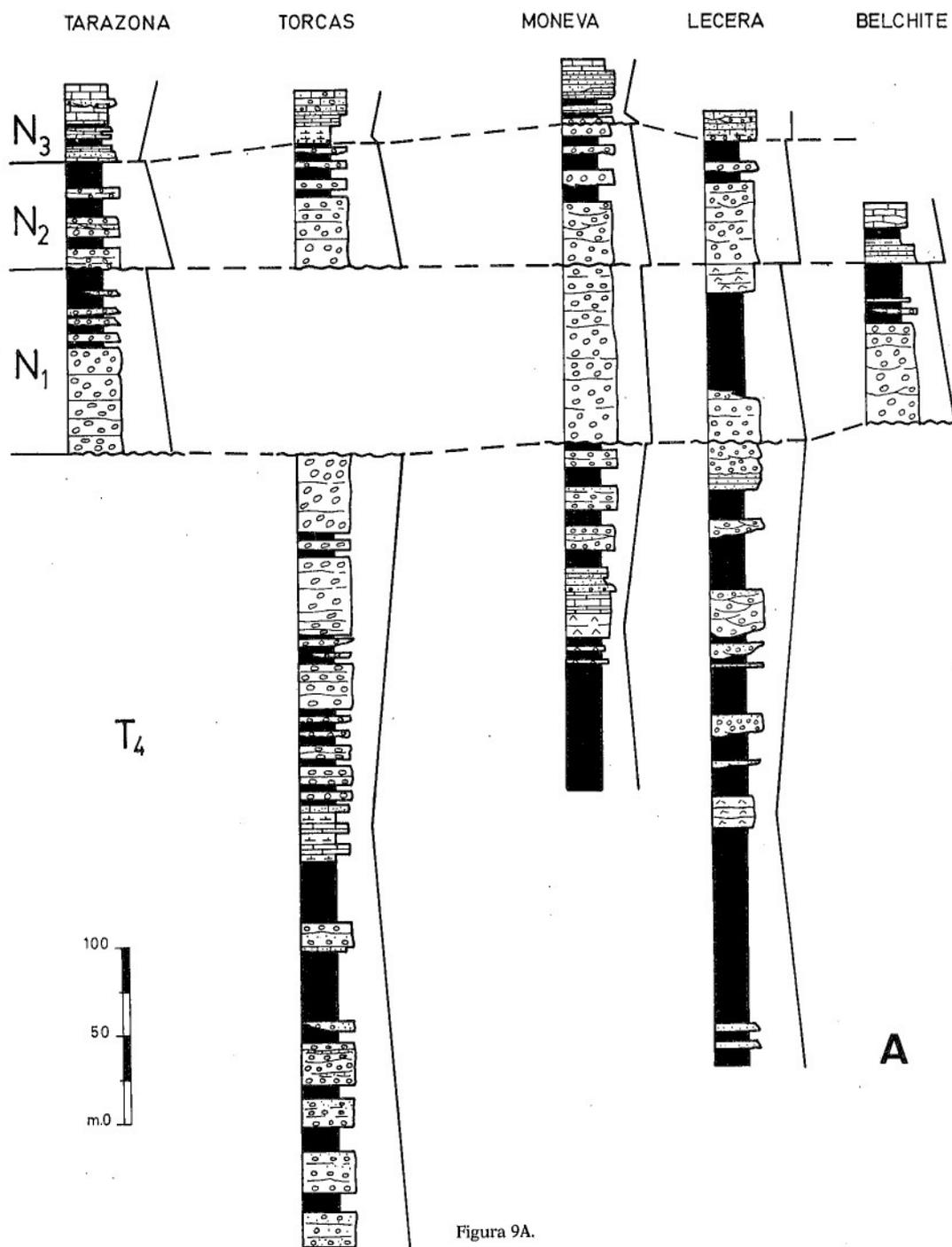


Figura 9A.

Figura 9. Evolución vertical y perfiles estratigráficos representativos de las U.T.S. del margen Ibérico de la depresión del Ebro. A: Sectores proximales. B: sectores distales.

BORJA

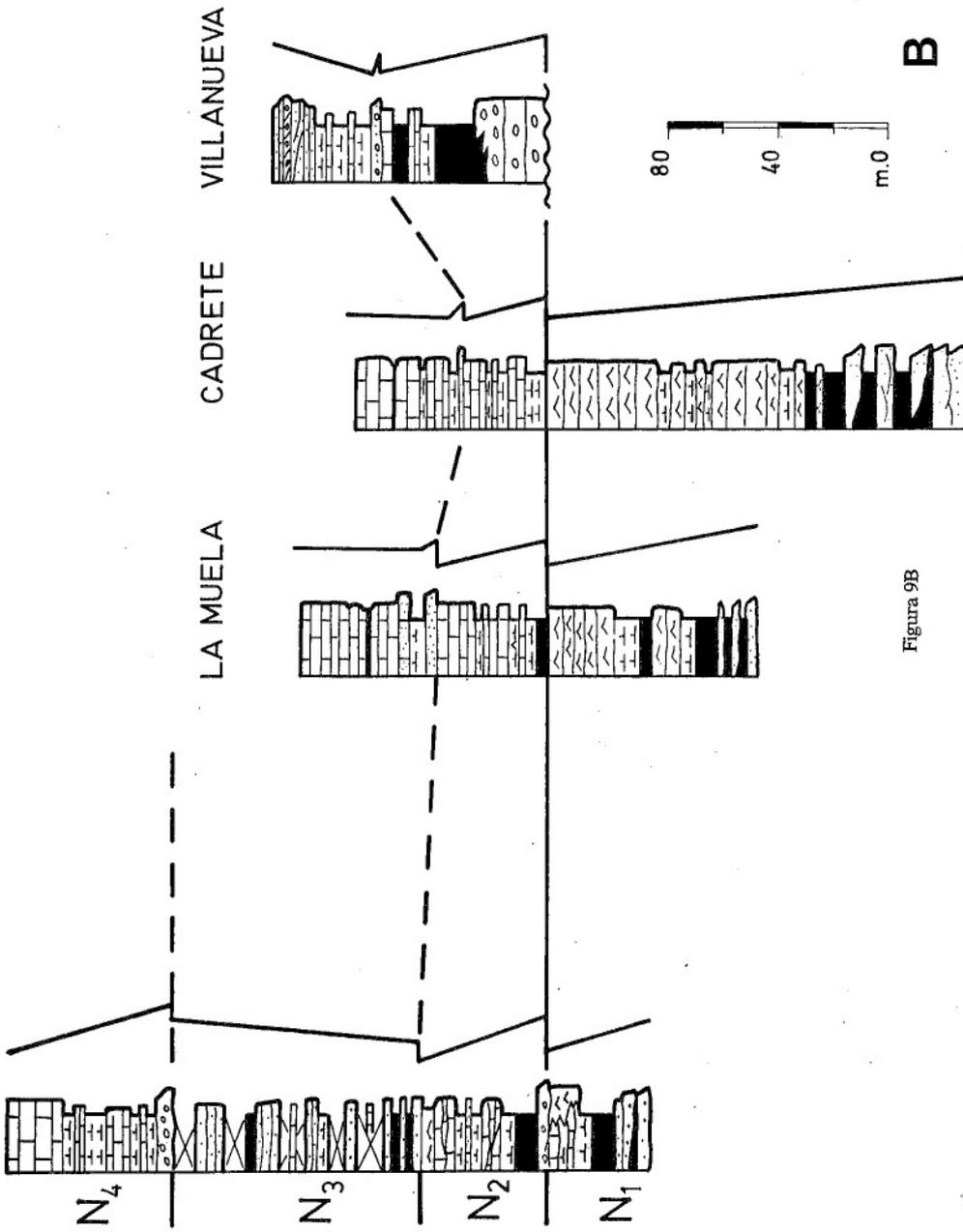


Figura 9B

4.3. Tipos de Rupturas y Jerarquía de las Unidades

Aunque, tal y como hemos expuesto anteriormente, las rupturas limitantes de la mayoría de las unidades están inequívocamente ligadas a procesos diástróficos, los resultados obtenidos para las áreas investigadas ponen de manifiesto que pueden diferenciarse tres tipos de rupturas (**González et al. 1988**):

- Un primer tipo, rupturas tipo 1, (ver figura 10) son aquellas que se manifiestan como un cambio de signo en la evolución secuencial, que pasa de negativa a positiva, y por un cambio paralelo en el dispositivo geométrico de offlap a onlap. Este tipo de rupturas están ligadas al cambio de actividad diástrófica creciente a actividad diástrófica decreciente. Su dispositivo geométrico coincide con el que **Riba (1973 y 1976)** indica para las discordancias sintectónicas, comprobándose que estas rupturas se manifiestan como tales discordancias en los márgenes de las cubetas y/o en los flancos de pliegues sinsedimentarios situados en el interior de las mismas. Se corresponden con las que **Garrido-Megías** denomina rupturas tectónicas.

Rupturas de este tipo nos marcan los límites entre las unidades T_1-T_2 , T_2-T_3 , T_3-T_4 , T_4-N_1 y N_3-N_4 , si bien en este último caso, por no existir afloramientos adosados a márgenes de cuenca, no ha podido reconocerse el dispositivo geométrico.

- Las rupturas de tipo 2 (ver figura 10) las identificamos exclusivamente por un cambio de signo en la evolución secuencial que pasa de positiva a negativa y por un paralelo cambio en el dispositivo geométrico de onlap a offlap. Se dan en sucesiones en perfecta continuidad estratigráfica, no presentando discordancias correlativas.

Se interpretan como ligadas al cambio de actividad diástrófica decreciente a creciente. Son las rupturas que nos marcarían el punto de inflexión en la evolución de las unidades cíclicas T_2 , T_3 , T_4 y N_3 . Diferencian UTS elementales que, como ya se ha dicho, no se han cartografiado separadamente.

- Finalmente se puede distinguir un tercer tipo, rupturas tipo 3, que se reconoce como un salto brusco en la evolución secuencial, sin que se produzca cambio de signo en la evolución de las unidades que separa. Geométricamente el registro sedimentario corresponde a dos secuencias en onlap separadas por una discordancia en los márgenes de las cuencas,

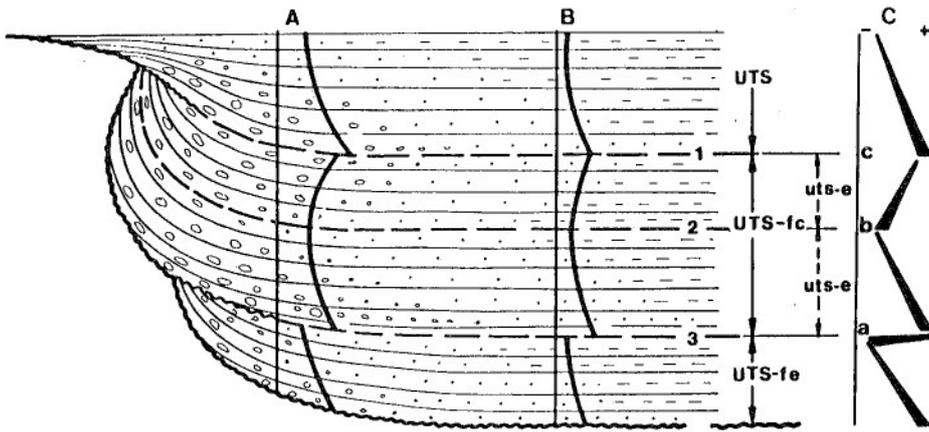


Figura 10. Esquema de los tipos de rupturas y jerarquía de las U.T.S. A y B: Evolución secuencial; C: Evolución de la actividad diastrófica. 1, 2 y 3: Diferentes tipos de rupturas sedimentarias. a y c: Máximos diastróficos relativos; b Mínimo diastrófico relativo.
 U.T.S.-fe: Unidad tectosedimentaria fundamental elemental.
 U.T.S.-fc: Unidad tectosedimentaria fundamental compleja.
 U.T.S.-e: Unidad tectosedimentaria elemental

presentando la superior su onlap desplazado, en su inicio, hacia el centro de la cuenca.

Estas últimas rupturas se interpreta que están ligadas a una aceleración instantánea de la actividad diastrofica, comprendida entre dos etapas de diastrofismo decreciente, correlativa a la cual no tiene lugar la sedimentación de una secuencia negativa en progresivo offlap, sino un neto desplazamiento de la sedimentación hacia el centro de la cuenca.

Este tipo de rupturas es el que nos limita la totalidad de las unidades neógenas a excepción de los límites antes aludidos T_4-N_1 y N_3-N_4 .

En función de la tipología de las rupturas limitantes se puede establecer una jerarquía de las UTS:

Si al delimitar UTS solo se utilizan rupturas sedimentarias de tipos 1 ó 3, existe una garantía absoluta de que los límites entre UTS responden a variaciones en la actividad diastrofica, ya que este es el único mecanismo alocíclico capaz de generar una discordancia. Las unidades así establecidas se denominan (**Villena et al. en lit y González et al. 1988**) "fundamentales". Estas UTS fundamentales, de acuerdo con lo anteriormente expuesto y siguiendo la nomenclatura de **Garrido-Megías**, pueden ser elementales (evolución de signo único) o complejas (evolución compuesta por dos secuencias de signo distinto).

Aquellas UTS cuyos límites sean de otro tipo, serán UTS no fundamentales. Este es el caso, por ejemplo, de las UTS elementales limitadas por una ruptura de tipo 1 ó 3 y otra de tipo 2, que constituyen cada una de las UTS "fundamentales" complejas (figura 10).

4.4 Significado cronoestratigráfico y tectónico de las UTS: El Período diastrofico.

En cuanto al significado cronoestratigráfico de las rupturas, tenemos que las del tipo 2 representan una superficie isócrona en toda su extensión. Las de tipos 1 y 3 son superficies isócronas en aquellos puntos en los que exista continuidad sedimentaria, mientras que hacia los márgenes de las cubetas o en los flancos de pliegues sinsedimentarios la presencia de discordancias correlativas implica lagunas estratigráficas de magnitud variable; pero en cualquier caso ninguna línea isócrona corta una ruptura sedimentaria y, como

consecuencia, la división del relleno de una cuenca en UTS equivale a establecer para la misma un conjunto de intervalos temporales sucesivos (ver figura 10).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, las rupturas limitantes de las unidades establecidas para el Terciario de la Ibérica y cuenca del Ebro están ligadas, en principio, únicamente a procesos diastróficos. Por tanto, siendo estas UTS cuerpos sedimentarios correlativos a dichos procesos, la evolución secuencial de cada una de las UTS fundamentales es un fiel reflejo de la evolución temporal de sus propios sistemas de depósito la cual es, a su vez, función de la actividad tectónica. La disposición geométrica de las capas en los márgenes de las cuencas o en los flancos de pliegues sinsedimentarios es, como veremos más adelante, paralela a la mencionada evolución.

Un ejemplo de la importancia de estos hechos nos lo suministran los resultados obtenidos en el estudio sobre el Paleógeno.

En la Cordillera Ibérica, aún en la actualidad, no existe unanimidad al establecer las sucesivas fases tectónicas que afectan a la cadena. Esta indeterminación es debida al, hasta ahora, impreciso conocimiento de la estratigrafía del Terciario y en especial del Paleógeno, período durante el cual tuvieron lugar las fases compresivas que originaron los rasgos estructurales esenciales de esta cadena. Como consecuencia de ello la datación de las fases era muy problemática. A este respecto se puede recordar lo que en 1979 dijo **Viallard** acerca del posible papel de algunos de los supuestos grandes accidentes de zócalo existentes en la Cordillera Ibérica:

"Vista la imprecisión de la estratigrafía de los terrenos eocenos y oligocenos, continentales y poco fosilíferos, la influencia de la falla Sud-Aragonesa sobre la paleografía del Paleógeno no está netamente definida".

De las UTS recientemente establecidas en el Paleógeno de dicha región, nos encontramos que las UTS fundamentales cíclicas, (T_2 , T_3 , T_4), representan una evolución primeramente progradante y después retrogradante de los correspondientes sistemas sedimentarios, en un paralelo dispositivo geométrico en offlap-onlap.

Los límites entre estas UTS, quedan situados en puntos de inversión de la evolución secuencial de negativa-positiva, o lo que es lo mismo, en un cambio de progradante a retroprogradante de los sistemas de depósito y de offlap a onlap en el dispositivo geométrico de las capas.

Expresado en términos de la relación diastrofismo/sedimentación (relación T/S), las rupturas que constituyen tales límites representan un máximo de dicha relación. Una evolución retrogradante con una paralela geometría en onlap supone un decrecimiento de la relación T/S, y la evolución progradante con dispositivo geométrico en offlap un incremento de dicha relación.

Pues bien, límites de tales características son los que nos marcan las rupturas de tipo 1, las cuales como ya hemos indicado anteriormente, presentan las mismas características geométricas y por tanto la misma evolución de la relación T/S que **Riba** (1973 y 1976) encuentra en las discordancias sintectónicas.

De los hechos que acabamos de exponer se puede concluir que los límites entre las UTS fundamentales paleógenas, T₁ a T₄, e incluso el límite T₄-N₁, son la evidencia de cuatro máximos de actividad tectónica compresiva.

Cada uno de estos máximos de la relación T/S o fase tectónica, viene precedido por un intervalo de tiempo durante el cual la actividad tectónica se incrementa progresivamente a partir de un mínimo, y es seguido por otro intervalo durante el cual dicha actividad decae. Por tanto el registro de una fase tectónica compresiva no es más que un máximo dentro de un continuum de actividad tectónica acelerada-decelerada que denominamos Periodo diastrófico (**Villena et al. in lit**).

El período diastrófico queda registrado en la sedimentación correlativa como dos ritmos o secuencias de signo contrario, el inferior negativo y el superior positivo, que solo en el centro de la cuenca pueden sucederse en perfecta continuidad estratigráfica. Cada uno de estos ritmos o secuencias es una UTS elemental, fundamental o no. Consecuentemente, los periodos diastróficos quedan limitados por rupturas sedimentarias correspondientes a valores mínimos de la actividad diastrófica e incluyen entre dichos límites otra ruptura correspondiente a un máximo o fase tectónica (ver figura 11).

Las cuatro UTS paleógenas, junto con la N₁, representan el registro sedimentario correspondiente a los sucesivos periodos diastróficos registrados en la cordillera Ibérica durante el Cenozoico. De ellos el segundo y tercero tienen sus límites en rupturas de tipo 2, dentro de sucesiones continuas, y por tanto representan líneas isócronas.

En esta situación, podrá conocerse la exacta duración de un período diastrófico si sus límites quedan situados en series fosilíferas. La fase

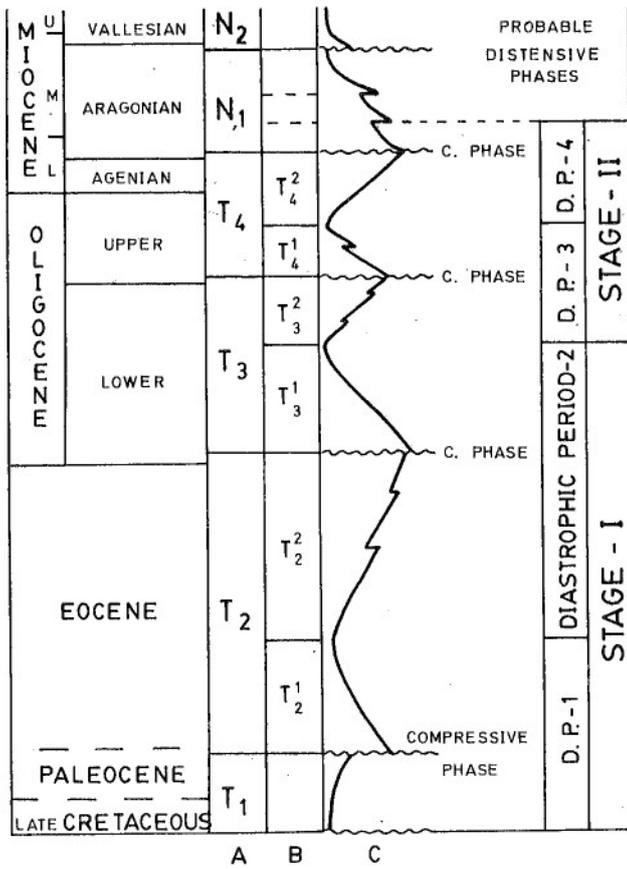


Figura 11. Relación entre las UTS paleógenas y sus correspondientes periodos diastróficos (Villena et al. in lit.).
 A: UTS fundamentales; B: UTS elementales; C: evolución de la actividad diastrófica inferida del registro sedimentario.

incluida en el período diastrófico también podrá datarse en áreas centrales de la cuenca donde la discordancia de borde se correlaciona dentro de sucesiones continuas. En realidad será más factible datar los límites de un período diastrófico que una fase, ya que aquellos, por corresponder a un mínimo de actividad tectónica, suelen situarse en gran parte de su extensión dentro de facies lutíticas o químicas, más aptas para contener fósiles que las facies detríticas más gruesas.

4.5 Correlaciones

La metodología del análisis tectosedimentario permite correlacionar los materiales de cuencas aisladas, siempre que estas pertenezcan a un mismo dominio estructural. Tales correlaciones suponen establecer equivalencias entre UTS diferenciadas en las distintas cuencas.

Dos UTS fundamentales equivalentes representan, cada una en su cuenca, la sedimentación correlativa a los mismos y particulares procesos diastróficos, los cuales se manifiestan de igual manera en cuanto a la polaridad, no en cuanto a la intensidad de la deformación, y durante un mismo intervalo de tiempo. En consecuencia, la equivalencia entre UTS se establecerá en base a una semejanza, tanto en su evolución vertical como en sus relaciones geométricas con las UTS sub y suprayacentes.

Centrándonos en los materiales terciarios a los que venimos haciendo referencia, nos encontramos que dichos materiales están relacionados con los procesos diastróficos que afectan a las cadenas montañosas que los limitan, que en nuestro caso son las Cordilleras Ibérica, Costero Catalana y los Pirineos. Pues bien, la actividad diastrófica que estructura estas cadenas durante el Paleógeno y Neógeno inferior, es la respuesta a los procesos de desplazamiento relativo de las placas africana y euroasiática que determinan la colisión y soldadura de la placa ibérica con la última citada.

Conforme con estos hechos, tenemos que tal actividad diastrófica se habrá hecho notar en un ámbito espacial que abarca las cuencas terciarias situadas en el interior y en los márgenes de estas cadenas, habiéndose demostrado (González et al. 1988), que sus variaciones han sido simultáneas en dicho ámbito. Con esta perspectiva, las rupturas sedimentarias pasan a tener dimensión intercuenal y las características evolutivas que la actividad diastrófica ha impreso en

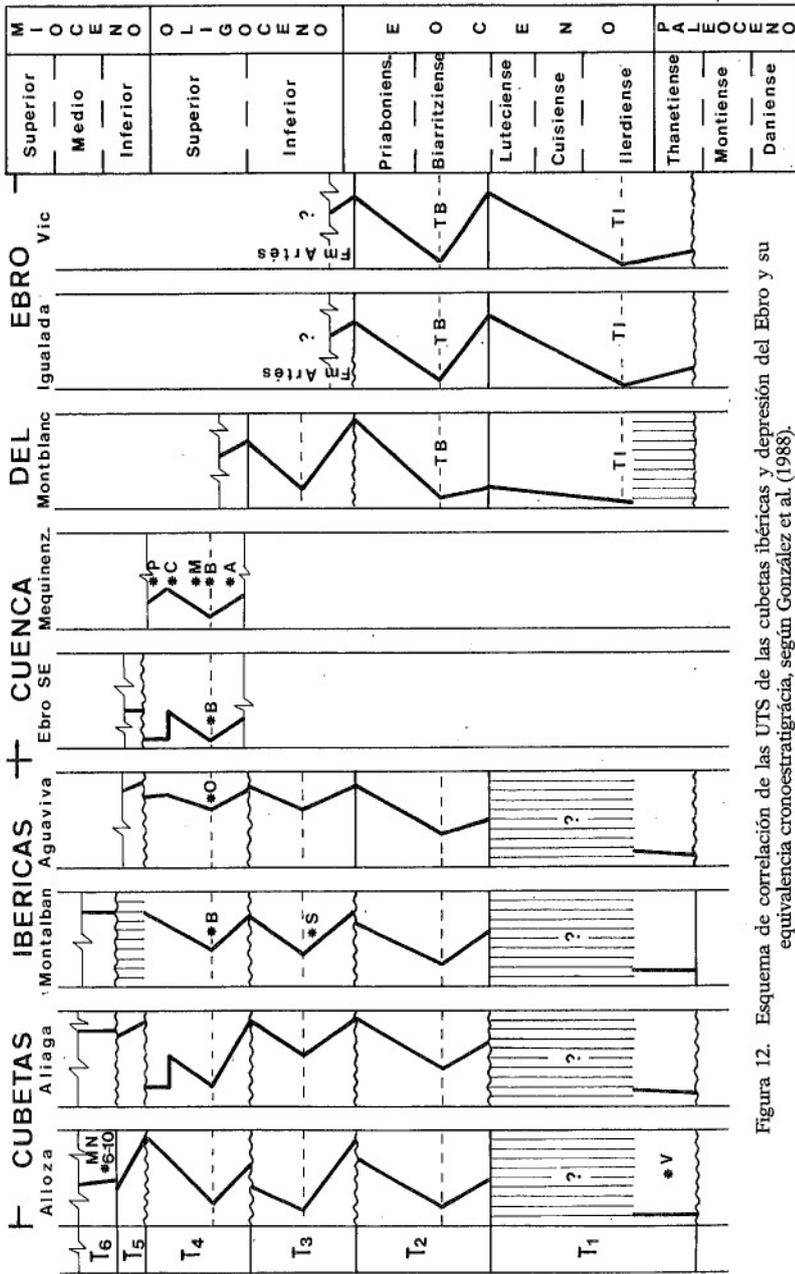


Figura 12. Esquema de correlación de las UTS de las cubetas ibéricas y depresión del Ebro y su equivalencia cronoestratigráfica, según González et al. (1988).

Evolución de la serie terciaria. * Restos fósiles; V Vidaliella gerundensis; S Stampiense; O Oligoceno sup.; A Nivel de Antoinet; B Nivel de Bonning; L Nivel de La Milloque; C Nivel de Coderet; P Nivel de Paulhiac; TI Máximo transgresivo Ilerdiense; TB Máximo transgresivo Biarritzense; ~~~~~ Discordancia; TI Máximo transgresivo Ilerdiense; TI Máximo transgresivo Biarritzense; ~~~~~ Ruptura sedimentaria tipo 1 ó 3; - - - - - Ruptura sedimentaria tipo 2; ||||| Laguna estratigráfica.

sus sedimentos correlativos se puede utilizar como criterio de correlación.

De esta manera se ha establecido la correlación entre las UTS definidas en las cubetas Ibéricas y las correspondientes del sector meridional de la Depresión del Ebro, y también la correlación de todas ellas con las unidades de sectores más orientales de la cuenca del Ebro, cartográficamente desconectados.

Se ha comprobado que todos los yacimientos fosilíferos situados en una determinada ruptura de tipo 2 son de la misma edad, y que los situados en rupturas de tipo 1 ó 3, son de la misma edad allí donde éstas se manifiestan como continuidades (Ver figura 12).

5. CONSIDERACIONES FINALES

A la vista de los resultados obtenidos como consecuencia de la aplicación de los conceptos del Análisis Tectosedimentario, a las cuencas estudiadas creo que puedo terminar esta exposición destacando las siguientes conclusiones:

- El análisis tectosedimentario se ha revelado como una excelente metodología de trabajo dentro de la Estratigrafía moderna. Hace posible dividir el relleno sedimentario de las cuencas en cuerpos tridimensionales, las UTS, las cuales representan, dentro del dominio estructural donde se ubican, intervalos temporales concretos que quedan determinados por las diferencias de edades entre las rupturas que las limitan, allí donde éstas representan continuidades sedimentarias.

- La evolución de cada UTS permite inferir la actividad tectónica de la que es correlativa.

- Asimismo, cada UTS significa una unidad dentro de la evolución paleográfica de las cuencas, ya que los sedimentos que comprende una UTS están genéticamente relacionados y constituyen un único sistema de depósito.

- Ningún material o acontecimiento deducido para una UTS se puede correlacionar con otro material o acontecimiento de otra UTS. Cada UTS es, en definitiva, un conjunto tridimensional de facies contemporáneas,

depositadas como partes de un mismo sistema sedimentario y genéticamente vinculadas a un proceso tectónico.

De todo ello se desprende el interés del análisis tectosedimentario desde el punto de vista puramente científico, así como su carácter imprescindible como infraestructura para cualquier estudio de tipo aplicado relativo a una cuenca sedimentaria.

He dicho.

6. BIBLIOGRAFIA

- CORRALES, I., ROSELL, J., SANCHEZ, L., VERA, J.A., VILAS, L. (1977).
Estratigrafía. Ed. Rueda. 718 pp.
- DELFAUD, J. (1972). Application de l'analyse séquentielle à l'exploration lithostratigraphique d'un bassin sédimentaire. L'exemple du Jurassique et du Crétacé inférieur de L'Aquitaine. Mem. B. R. G. M., Fr. 77, 593-611.
- GARRIDO-MEGIAS, A. (1973). Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (provincias de Huesca y Lérida). Tesis Doct. Univ. Granada. 395 pp.
- GARRIDO-MEGIAS, A. (1982). Introduccion al análisis tectosedimentario: aplicación al estudio dinámico de cuencas. Act. V. Congreso Latinoamericano de Geología. 1, 385-402.
- GONZALEZ, A., PARDO, G., VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geol de Esp: Simp. 175-184.
- GONZALEZ, A., PARDO, G., VILLENA, J., PEREZ, A. (1984). Estratigrafía y sedimentología del Terciario de la Cubeta de Alloza (prov. de Teruel). Bol. Geol. Min. 95-5, 407-428.
- LECOMPTE, M. (1972). Méthodes de stratigraphie appliquées dans le Devonien de l'Ardenne. Mem. B. R. G. M., Fr. 77, 643-662.
- LOMBARD, A. (1956). Géologie sédimentaire. Les séries marines. Ed. Masson et Cia. 722 pp.
- MIALL, A.D. (1984). Principles of Sedimentary Basin Analysis. Ed. Spinger-Verlag. 490 pp.
- MITCHUM, R.M., VAIL, P.R., THOMPSON, S. (1977). The depositional Sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In PAYTON, C.E., Seismic Stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. A. A. P. G., Mem. 26, 53-62.

- PEREZ, A., MUÑOZ, A., PARDO, G., VILLENA, J., ARENAS, C. (1988). Las unidades tectosedimentarias del Neógeno del borde ibérico de la depresión del Ebro (sector central). In. PEREZ, A., MUÑOZ, A., SANCHEZ, J. Sistemas lacustres neógenos del margen ibérico de la cuenca del Ebro. 7-20.
- PEREZ, A., PARDO, G., VILLENA, J., GONZALEZA, A. (1983). Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno de la cubeta de Montalbán (prov. Teruel, España) Bol. R. Soc. Españ. Hist. Nat. (Geol), 81 (3-4), 197-223.
- POTTER, P.E., PETTIJOHN, F.J. (1963). Paleocurrents and basin analysis. Ed. Springer-Verlag. 296 p.
- RIBA, O. (1973). Las discordancias sintectónicas del Alto Cardener (Prepirineo Catalán) ensayo de interpretación evolutiva. Acta Geol. Hisp., 8 (3), 90-99.
- RIBA, O. (1976). Syntectonic unconformities of the Alto Cardener, Spanish Pyrennees: A genetic interpretation. Sedimentary Geology, 15, 213-233.
- VAIL, P.R., TODD, R.G., SANGREE, J.B. (1977). Chronostratigraphic significance of seismic reflections. In PAYTON, C.E. Seismic Stratigraphy applications to hidrocarbon exploration. A. A. P. G. Mem. 26, 99-116.
- VIALARD, P. (1979). La Chaîne Ibérique: zone de cisaillemente intracontinentale pendant la tectogénese alpine. C. R. Acad. Sc. Paris, 289, 65-68.
- VILLENA, J., PARDO, G., GONZALEZ, (in lit.). Tectonic significance of the Tectosedimentary units. Diastrophic period concept
- VILLENA, J., PEREZ, A., PARDO, P., GONZALEZ, A. (1987). Estudio sedimentológico del Terciario de las hojas de Daroca. Docum. complet. Mem. mapa. geol. 1:200.000 DAROCA IGME, 162 pp.