

LA TERRENOESTRATIGRAFIA: UN ENSAYO DE METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE TERRENOS CON UN EJEMPLO EN MEXICO

J. F. Longoria
Department of Geology
Florida International University
University Park
Miami, Florida 33157

RESUMEN

Se insiste en que debe de distinguirse entre terrenología y terrenoestratigrafía. La primera es un hábito de describir "terrenos", mientras que la **terrenoestratigrafía** es una procedimiento estratigráfica cuya práctica requiere del método científico. Esta modalidad del análisis estratigráfico hace énfasis en la yuxtaposición de dominios paleogeográficos. Las unidades básicas de la terrenoestratigrafía son el terreno, el conjunto petrotectónico y el dominio paleogeográfico. Se presenta una definición unificada del concepto de terreno que engloba todas sus posibles variaciones y se presenta una metodología para el análisis de terrenos la cuál consiste de cuatro fases consecutivas independientes. A diferencia de los ataques y rechazos del concepto de terreno recientemente expresados por ciertos autores, se demuestra que el concepto de terreno es de utilidad práctica en el estudio de cadenas orogénicas. La característica fundamental de un terreno es la yuxtaposición paleogeográfica de paquetes rocos coevos. Los criterios mas frecuentemente usados para determinar la yuxtaposición paleogeografica incluyen: a) paleobiogeográficos, b) paleomagnéticos, c) de estratigrafía física, d) estilos estructurales, e) tipos de metamorfismo. De acuerdo a su naturaleza se distinguen: 1) terrenos simples y 2) terrenos compuestos. En base a la magnitud del desplazamiento los terrenos se agrupan en dos tipos: 1) alóctonos con conjuntos petrotectónicos del mismo dominio paleogeográfico, 2) exóticos, con yuxtaposiciones que involucran diferentes dominios de paleolatitudes distintas. Se analiza el Terreno Huayacocotla evidenciandose su naturaleza exótica con la yuxtaposición de elementos paleobiogeográficos boreales y del Tethys.

ABSTRACT

It is stressed that a distinction should be made between terranology and terrenostratigraphy. The first is the habit of describing "terranes"; whereas

terrenostratigraphy is a stratigraphic approach whose practise require a scientific method. This stratigraphic analysis emphases the juxtaposition of paleogeographic domains. The basic units in tectonostratigraphy are: the terranae, petrotectonic assemblage, and the paleogeographic domain. A unifying definition of the terrane concept is given which encompasses all the possible variations. A methodology to undertake terrane analysis is given consisting of four consecutive, independent phases. Contrary to the attack and rejection of the terrane concept by some authors, it is demonstrated that the terrane concept is of practical use in the study of orogenic belts. The fundamental characteristic of terranes is their paleogeographic juxtaposition of coeval lithic packages. The criteria most frequently used in establishing paleogeographic juxtaposition include: a) paleobiogeographic, b) paleomagnetic, c) physical stratigraphy, d) structural styles, e) types of metamorphism. According to their nature, two types of terranes are distinguished: 1) single, and 2) composite. Based on the magnitude of displacement, terranes are grouped into two types: 1) allochthonous, in which petrotectonic assemblages belong to the same paleogeographic domain; and 2) exotic, characterized by paleogeographic juxtapositions involving domains from different paleolatitudes. The Huayacocotla Terrane of eastern Mexico is analyzed and its exotic nature is evidenced by the juxtaposition of boreal Lower Jurassic paleobiogeographic elements against tropical coeval fauna.

INTRODUCCION

En las últimas dos décadas, el concepto de *terreno* ha tomado impulso sobre todo en estudios geológicos de la Cordillera Norteamericana, como era de esperarse, también ha cobrado mucho interés en México. Aunque el vocablo *terreno* siempre ha existido en el léxico hispano (el diccionario Durban de la Lengua Española define la acepción geológica de terreno como "*Conjunto de substancias minerales que tienen origen común, o pertenecientes a una misma época.*"), el concepto geológico de terreno ("terrane" en inglés) fué

considerado como una novedad en los Estados Unidos a principios de la década de los setentas cuando Jones et al. (1972) establecieron la idea de que la parte Sureste de Alaska representaba un fragmento continental desplazado. Posteriormente, el prototipo de terreno, Wrangellia, fué establecido por Jones et al. (1977). La idea fué seguida por numerosos autores quienes al adoptarla consideran que el concepto de terreno involucra una metodología nueva, especialmente susceptible para estudiar las complejas relaciones paleogeográficas de cinturones

plegados tales como la Cordillera Norteamericana (Ben-Avraham et al., 1980; Blake, 1985, Campa y Coney, 1983, Castro Mora, 1985, Coney, 1978, 1981; Coney y Campa, 1984, Coney et al., 1980; Howell, 1985, 1989; Howell et al., 1985; Kimbrough, 1985; Longoria, 1984, 1992; Williams y Hatcher, 1982). De acuerdo con la definición mas aceptada, un terreno es un paquete de rocas limitado por fallas con estratigrafía distintiva que caracteriza un asentamiento geológico particular (Howell, 1989, p. 86). Así mismo, los terrenólogos insisten en que el análisis de terrenos es un método objetivo, independiente de modelos tectónicos.

En un tiempo corto, la terrenología se extendió de Alaska a Canadá y pronto a México. En la actualidad se ha popularizado de tal forma que hasta la fecha se han realizado cinco conferencias internacionales sobre terrenos de la región circumpacífica, con una sexta conferencia a realizarse en México en el presente año. Aunque el concepto de terreno se extendió a lo largo del continente Americano, su expansión ha generado una degradación del concepto, asociada a una mala práctica de su aplicación. La degradación de la terrenología se ha extendido a tal extremo que en la actualidad el término *terreno* se usa casi como sinónimo de unidad lítica. Por ejemplo, se habla de "terreno

vulcanosedimentario". Entonces, lo que en realidad debería de ser un concepto objetivo, independiente de ideas tectónicas y paleogeográficas preconcebidas, ha caído en un juicio a priori para reflejar el asentamiento paleogeográfico inferido de los conjuntos rocosos. Por otra parte, también es común que el término terreno se emplee para referirse a entidades geológicas tales como provincias fisiográficas o geológicas, por ejemplo se habla del "terreno Sierra Madre", siendo que en realidad esa provincia geológica está formada por varios conjuntos petrotectónicos de diferente paleogeografía y que con toda seguridad contiene más de un terreno. En sí, en la actualidad, a sólo veinte años de la introducción de la idea de que el concepto de terreno es un elemento objetivo, independiente de modelos tectónicos, se deduce que éste se ha apartado de su cometido original; es común que los trabajos sobre terrenos se concreten a una mera descripción petrológica de los varios tipos líticos presentes en las diferentes localidades estudiadas; siendo también frecuente que los terrenos sean identificados en el sentido vertical, sin contrastarse con sucesiones coevas que permitan determinar el grado de contraste paleogeográfico; sin embargo, esta práctica está muy lejos de ser la finalidad del análisis de terrenos.

Por todo lo anterior, Sengor y Dewey (1991) han atacado fuertemente y hasta rechazado el concepto de terreno. Esos autores aseguran que la terrenología no es nueva, sino más bien que ésta representa un regreso a una metodología cansada y abandonada (Sengor y Dewey, 1991, p. 6). En realidad, la falta de seriedad de muchos estudios sobre terrenos ha provocado la confusión y hasta cierto punto su falta de credibilidad: Consecuentemente, debe distinguirse entre *terrenología* y *terrenoestratigrafía*. La primera se refiere al hábito de describir terrenos por el sólo hecho de hacerlo, usando un juicio a priori de lo que se considera que es un terreno, es decir, en la mayor parte de esos casos los terrenos se identifican por cambios litológicos verticales los cuales no son contrastados con paquetes coevos adyacentes. En estos casos no se distingue entre desarrollo paleogeográfico y su distribución actual; en contraste, la terrenoestratigrafía trata con el análisis de terrenos como una herramienta formal, sistemática, basada en una metodología ordenada que se funda en la distinción de elementos bien definidos tales como el conjunto petrotectónico y el dominio paleogeográfico que son los que indican el asentamiento tectónico que prevaleció. Entonces, los elementos de juicio son el conjunto petrotectónico y el

dominio paleogeográfico que deben de contrastarse entre sucesiones coevas acrecionadas contra otras de paleogeografía distinta y frecuentemente de diferente paleolatitud. Esta metodología es científica y tiene la propiedad de ser reproducible, es decir, puede repetirse y duplicarse por otros autores en distintas regiones.

Si bien es cierto que la objetividad de la terrenología se ha perdido, debe hacerse hincapié en que el análisis de terrenos es una herramienta interdisciplinaria que tiene el potencial de utilizarse de manera objetiva, independientemente de interpretaciones a priori de la historia geológica de la región en estudio, se trata entonces de una metodología estratigráfica.

La terrenoestratigrafía se aboca al análisis formal de terrenos, se puede entender como una metodología interdisciplinaria y debe considerarse como una rama de la estratigrafía, la cuál permite unificar los diversos criterios geológicos aplicados en la exploración geológica de regiones complejas, con miras a un inventario cartográfico, que culminará en la reconstrucción palinspástica de las regiones estudiadas. Sin embargo, los proponentes y seguidores del análisis de terrenos han fallado en transmitir una metodología sistemática para realizar análisis de terrenos, que no solo dé valor a las observaciones, sino que

sea reproducible por otros investigadores. En contraste con el número de trabajos en los que se describe la cinemática y mecánica de los fenómenos involucrados en el desplazamiento, rotación, etc. de los terrenos, se carece por completo de la descripción de una metodología para su análisis. Lo más cercano a una metodología son las síntesis presentadas por Howell y Jones (1985) y Howell (1989)

La adopción de una metodología sistemática en el análisis de terrenos ha sido una de mis preocupaciones de los últimos años. La metodología que aquí se presenta (figura 1) fué introducida en diversos trabajos (Longoria, 1984; 1991), posteriormete ha sido refinada a través del curso *Tectonoestratigrafía* impartido por el autor durante los últimos diez años. La presente discusión y análisis de la metodología se ha beneficiado tremendamente a través de discusiones con mis discípulos en quienes recayó la tarea de ponerla a prueba durante la década de los ochentas.

El presente trabajo intenta dar a conocer la metodología empleada por el autor en el análisis de terrenos haciéndose hincapié en que los terrenos que aquí se tratan son el resultado de un régimen tectónico transpresivo. Se espera que el uso sistemático de la marcha de pasos planteados en ella den

mejor apoyo en el análisis de terrenos y de alguna manera ayude a reivindicar la idea original de terreno la que obviamente considero de utilidad en estudios regionales. De ninguna manera se intenta hacer una revisión de la literatura sobre terrenos. Sin embargo, si se hace énfasis en contestar algunos de los puntos mas sobresalientes de los ataques al concepto y análisis de terrenos recientemente expresados por Sengor y Dewey (1991), que como antes se explicó, la mayoría de ellos resultan de la mala práctica del análisis de terrenos y de la falta de una metodología.

LA TERRENOESTRATIGRAFIA: ORIGEN, PRESENTE, FUTURO

La relación entre la estratigrafía y la tectónica ha sido bien reconocida desde el siglo pasado. Esta interrelación ha sido vividamente expresada por el famoso geólogo francés Maurice Gignoux, en lo que puede considerarse como el axioma de la estratigrafía: *Thus, it is truly tectonics which governs stratigraphy, and the two branches of the geological sciences are inseparable. A structural geologists who is not a stratigrapher is only a geometer, not a geologist; for he resons about abstract surfaces and volumes, emptied of their history; and a stratigrapher who never concerned himself with tectonics would*

produce only a dead stratigraphy (Gignoux, 1950, p. 3). Es obvio que el concepto de *tectonoestratigrafía* queda tácito en el enunciado de Gignoux.

Si bien es cierto que la estratigrafía se ha considerado fundamental en el análisis tectónico, también es cierto que el concepto de estratigrafía ha evolucionado en las últimas décadas. Para evaluar la dimensión de lo arriba señalado basta con hechar un vistazo a libros de texto aparecidos en los últimos dos años y constatar así que la estratigrafía ha pasado de ser una ciencia monofacética y descriptiva a una de multifacetas e interpretativa. Es decir, la *Estratigrafía* es la rama de las Ciencias de la Tierra que se encarga del estudio integral de los estratos y masas rocosas (Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica, 1976, p. 13). Por lo mismo, la estratigrafía tiene que ver no solamente con la sucesión de masas o entidades rocosas y su geocronología, sino también con su forma (geometría), manera de ocurrir (exposición en la superficie), la distribución de estas masas, su composición lítica, contenido fosilífero, sus propiedades geofísicas y geoquímicas; es decir, todas las características, propiedades y atributos de los paquetes rocosos, así como también su interpretación en términos de su ambiente de generación, formación e historia geológica. Todas las clases de

rocas, ígneas, metamórficas y sedimentarias, tanto consolidadas como no consolidadas, caen dentro del campo general de la estratigrafía (Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica Internacional, 1976, p. 13).

La definición actual de la estratigrafía engloba básicamente los parámetros necesarios para hacer análisis de terrenos, por lo que en la última década, el uso de la estratigrafía ha sido definitivo para explicar la existencia de masas o entidades geológicas expuestas en la Cordillera Occidental de Norte América (Estados Unidos y México) que aunque coevas no tienen afinidad paleogeográfica. Esto ha permitido obtener un mejor entendimiento del desarrollo y evolución paleogeográfica de esas regiones.

Es obvio que la tectonoestratigrafía es una duplicidad de la estratigrafía, o al menos la definición de ella queda englobada en la última y que todos los terrenos por definición son tectonoestratigráficos. Sin embargo, la *terrenoestratigrafía* representa un avance del análisis estratigráfico de la misma manera que la sismoestratigrafía, la quemoestratigrafía o la cicloestratigrafía han surgido de los análisis y metodologías especializadas dentro de la estratigrafía. Así, una de las contribuciones más obvias de la terrenoestratigrafía ha sido establecer que los cinturones plegados de la

Cordillera Occidental de Norte América están formados por un mosaico ("collage") de masas rocosas yuxtapuestas, de dimensiones variables a las que se les refiere como *terrenos*. Este concepto ha abierto una dimensión más en el análisis estratigráfico tendiente a la reconstrucción paleogeográfica ya que en la actualidad, al intentar la reconstrucción paleogeográfica de una región, se debe pensar en que es muy posible que secuencias estratigráficas coevas, adyacentes, no necesariamente estén genéticamente relacionadas. Es decir, se concibe que la corteza terrestre es y ha sido mucho más dinámica (movible) de lo que hasta ahora se había considerado. La característica fundamental de estos terrenos es la carencia de relaciones estratigráficas laterales, tanto en facies como en ambientes sedimentarios, por lo que, como ya se explicó, no son afines con paquetes rocosos coevos adyacentes a ellos. De esta manera, se interpreta que los terrenos tienen una paleogeografía sospechosa, aún más, se considera que estos terrenos están delimitados por fallas y que fueron trasladados desde otras paleolatitudes y acrecionados (yuxtapuestos) a los bordes continentales a lo largo de fallas transcurrentes en su mayoría producidos en márgenes convergentes de subducción oblicua. El prototipo de este

concepto es el Terreno Wrangellia de Alaska.

Desafortunadamente, tal como sucede en la mayoría de las disciplinas y metodologías geológicas, la terrenoestratigrafía ha sufrido una muy rápida evolución en las últimas dos décadas de su incorporación a estudios geológicos regionales. Por ejemplo, la nomenclatura de terrenos ha sido muy variada e inconsistente incluyendo: *terreno sospechoso*, *terreno exótico*, *terreno alóctono*, *terreno de acreción*, *terreno desplazado*, *terreno litotectónico*, *terreno estratotectónico*, *terreno tectonoestratigráfico* y *terreno transpresivo*. El incremento de la terminología sobre terrenos en el curso de los últimos cinco años, hace necesario establecer una definición unificante de terreno que cubra todas las posibles modalidades e incorpore a la vez los mecanismos tectónicos y paleogeográficos involucrados en su generación.

Concepto unificante de terreno.- *Un terreno es una masa o entidad geológica caracterizada por sus paquetes líticos (conjuntos petrotectónicos) que le imprimen un historia geológica particular y que la refieren a una asentamiento (dominio) paleogeográfico específico, lo cuál lo hace ser una pieza única en el cinturón orogénico. Esta particularidad paleogeográfica lo hace contrastar con paquetes líticos coevos adyacentes o*

cercanos a él, por lo que se dice que un **terreno es sospechoso** y de **acreción** (puesto en contacto por yuxtaposición). Es decir, se trata de entidades (masas de roca) formadas en latitudes distintas a donde se les encuentra por lo que se le refiere como **terrenos alóctonos o exóticos**. Asimismo, se infiere que el terreno haya sido desplazado a lo largo de fallas por lo general de rumbo. Dado que la mayoría de los terrenos presentan características estratigráficas y tectónicas particulares, se les suele referir como **terrenos tectonoestratigráficos o terrenos litotectónicos**. El mecanismo tectónico responsable del desplazamiento y consecuente yuxtaposición (acreción) paleogeográfica es la transpresión, a lo largo de fallas de rumbo, subparalelas al margen convergente oblicuo, por lo que se le refiere como **terreno de acreción o terreno transpresivo**.

De lo anterior se desprende que la paleogeografía, expresada en sus características líticas (conjuntos petrotectónicos) y la paleobiogeografía (dominios paleogeográficos), es la que está constantemente siendo modificada, desplazada, truncada, yuxtapuesta, trasladada o rotada. Por lo mismo, es recomendable referirse a ellos simplemente como **terrenos** sin adjetivos tales como tectonoestratigráfico o transpresivo que resultan redundantes y complicados; el

nombre formal de un terreno debe ser un binomio formado por la palabra terreno y el nombre de una localidad geográfica, por ejemplo Terreno Huayacocotla, derivado del Segmento Huayacocotla de la Sierra Madre Oriental. Además de la nomenclatura binomial, debe especificarse el tipo de terreno de acuerdo a la clasificación elaborada mas adelante. Es importante señalar aquí que el principal objetivo del análisis de terrenos es la reconstrucción palinspástica de la paleogeografía, es decir, la restauración de los elementos paleogeográficos a su posición geográfica original. Este análisis resulta de una cartografía de los terrenos que componen las cordilleras orogénicas. Para lograr los objetivos antes señalados, la terrenoestratigrafía se vale de una metodología sistemática multidisciplinaria la cual se resume en la figura 1.

Unidades terrenoestratigráficas

Tres son las unidades básicas en el trabajo de la terrenoestratigrafía: 1) *Terreno*; 2) *Dominio Paleogeográfico* (dp); 3) *Conjunto Petrotectónico* (cpt). La relación entre ellas se ilustra en la figura 2. Estas unidades básicas se analizan a continuación para resaltar la forma en que son utilizadas por el presente autor.

Terreno

Como ya se explicó, se trata de masas rocosas de dimensión variable, desde unos cuantos kilómetros hasta dimensiones subcontinentales cuya constitución estratigráfica permite asegurar que se trata de entidades de paleogeografía sospechosa, alóctona y yuxtapuesta a paquetes rocosos coevos de paleogeografía diferente, conceptualmente delimitados por fallas. De acuerdo con Howell (1989), se pueden distinguir cuatro tipos de terrenos: 1) *Estratigráficos*, formados por masas rocosas ígneas y sedimentarias con sucesiones estratigráficas coherentes de tal forma que se pueden establecer las relaciones de depósito entre unidades líticas (conjuntos petrotectónicos) sucesivos. Ejemplos comunes de terrenos estratigráficos son fragmentos de cuencas, fragmentos de arcos volcánicos. 2) *Metamórficos*, se trata de masas rocosas que tienen una petrofábrica metamórfica penetrativa de tipo regional que oscurece su litología original. 3) *Disruptivos*, se trata de masas rocosas de litologías heterogéneas de edades disímiles incluidas en una matriz de grauvaca o serpentina foleada. 4) *Compuestos o amalgamados*, se trata en realidad de dos o más terrenos amalgamados con anterioridad a su acreción al borde continental.

En realidad, esta división de terrenos es artificial e innecesaria ya que de acuerdo con la definición actual de estratigrafía arriba señalada, todos los terrenos son estratigráficos y como anteriormente se señaló, existe sólo una definición unificante de terreno que engloba todos los aspectos arriba señalados como distintivos de los cuatro tipos. Aún más, los denominados terrenos disruptivos caen dentro de un conjunto petrotectónico i.e. el melange.

Los terrenos se pueden clasificar de acuerdo con su naturaleza y grado de complejidad, distinguiéndose: 1) *terreno simple*, formado por un sólo juego de conjuntos petrotectónicos coherentes, y 2) *terreno compuesto o amalgamado*, formado por más de un juego de conjuntos petrotectónicos; sin embargo como ya se explicó todos son terrenos tectonoestratigráficos dentro de la terrenoestratigrafía.

Otro criterio objetivo para clasificar los terrenos es el desplazamiento, expresado por la magnitud (distancia) de la interrupción paleogeográfica, distinguiéndose: 1) *Terreno alóctono* en el cual la traslación de los conjuntos petrotectónicos suele ser muy corta (de decenas a cientos de kilómetros) resultando en la yuxtaposición de conjuntos petrotectónicos de un mismo dominio paleogeográfico. 2) *Terreno exótico* en el cual la traslación de los conjuntos petrotectónicos es de miles de

kilómetros involucrando una yuxtaposición paleogeográfica de conjuntos petrotectónicos coevos de diferentes dominios provenientes de distintas paleolatitudes y que resulta de la transposición de elementos paleobiogeográficos o paleomagnéticos bastante remotos.

Tanto los terrenos aloctonos como los exóticos son de paleogeografía sospechosa y de acreción (yuxtaposición), los dos tipos son trasladados por fallas de rumbo en márgenes transpresivos por lo que ambos tipos son de acreción y transpresivos.

En lo posible, también debe abandonarse el uso de términos calificativos de la dimensión del terreno tales como "superterreno" y "microterreno" usado por algunos autores en la Cordillera Norteamericana. Este último parece corresponder con el concepto de conjunto petrotectónico.

Dominio Tectoestratigráfico (DT) o Dominio Paleogeográfico (DP)

Conceptualmente un DT representa una región de la superficie terrestre de dimensiones considerables en el presente o pasado geológico, individualizada por su asentamiento geodinámico de tectónica de placas (figura 3). El concepto de DT es un sinónimo de dominio paleogeográfico (DP) usado en tectónica clásica, por lo

mismo, en la terrenoestratigrafía estos se usan intercambiadamente. Básicamente existen dos DT, esquematizados en la figura 3; estrechamente relacionados con ellos se encuentra el concepto de *régimen tectónico*; es decir, el conjunto de estructuras y estilos estructurales que se acomodan de acuerdo con el total del movimiento tectónico. Se reconocen tres regímenes tectónicos: 1) de colisión; 2) de transpresión; 3) de extensión.

Conjuntos petrotectónicos (CPT)

Se trata de paquetes líticos depositados en DT-DP específicos, por lo que son indicativos de los límites de placas tectónicas y/o áreas determinadas en el interior de una placa litosférica. En sí el conjunto petrotectónico es una unidad física, objetiva que se identifica en el campo. El CPT es la unidad básica de trabajo en terrenoestratigrafía y es la unidad práctica de cartografía de terrenos. Considerándose como el equivalente a la formación de las unidades litoestratigráficas. Un CPT puede contener una o más secuencias estratigráficas que son unidades sedimentarias coherentes dentro de él. En el presente trabajo se mantiene el concepto original de conjunto petrotectónico dado por Dickinson (1971). Haciéndose, hincapié en que el concepto de conjunto petrotectónico no

debe de confundirse con el concepto de conjunto estratotectónico utilizado por algunos autores, al parecer esos autores han empleado este último término en la misma forma en que se usa el concepto de secuencia estratigráfica. Los principales CPT muestran en la figura 2 y sus relaciones espaciales con relación a los DP se muestran en las figura 3.

Mecanismos Tectónicos

La terrenoestratigrafía está directamente vinculada con la cinemática de las placas litosféricas, por lo que el entendimiento de la dinámica de deformación, desplazamiento y translaciones de masas rocosas (terrenos) ha de analizarse a través de mecanismos regidos por la cinemática de placas litosféricas (Figura 4). Así, los procesos tectónicos directamente relacionados a la existencia de terrenos incluyen: 1) convergencia de las placas; 2) transurrencia, y 3) acreción tectónica. La colisión tectónica (cierre de cuencas oceánicas) juega una papel secundario o nulo en la generación de terrenos ya que la superposición (cabalgamiento) de CPT por si no es un criterio válido para establecer yuxtaposición o desplazamiento lateral de elementos paleogeográficos.

Convergencia de placas

Es evidente que el fenómeno de convergencia de placas esta ligado a la

subducción, lo que se traduce a la existencia de un margen activo o convergente. Fundamentalmente el contacto entre la placa cabalgante y la que se consume (subduce) se lleva a cabo en forma oblicua (Fig. 5), por lo que se crean vectores de compresión y tensión que culminan con la generación de fallamiento transcurrente subparalelo al contacto convergente entre las dos placas. El prototipo de este modelo fué dado a conocer por Beck (1983) en base al estilo observado en el archipiélago de Sumatra.

En este esquema la generación de la transurrencia está regida por parámetros tales como la velocidad de la placa cabalgante, velocidad de la placa subducida y vectores tales como el deslizamiento lateral entre la placa cabalgante, el vector de deslizamiento de la trinchera, el vector de acreción de la subducción y el vector de deslizamiento convergente (Fig. 5).

Acreción (Yuxtaposición)

La acreción (puesto en contacto al lado de) es un proceso que aún no se explica en su totalidad. A la luz de la tectónica de placas, se sabe que la acreción es el proceso de crecimiento más efectivo de las masas continentales por la adición de materiales ajenos (terrenos) que han sido trasladados

desde otras latitudes a través de complejos sistemas de fallas de transcurrancia y soldados al margen continental activo (convergente). La acreción tectónica es independiente de los fenómenos de subducción y de la generación del prisma sedimentario de acreción en el margen convergente.

Transcurrancia

La transcurrancia engloba el conjunto de fallas eminentemente de desplazamiento a rumbo, casi verticales, cuyo movimiento es fundamentalmente horizontal y paralelo a la traza de la falla. La transcurrancia incluye una variedad de fallas tales como de rumbo, transforme o de transformación, fundamentales, de torsión y megacizallas.

Las transcurrancias al ser fallas que cortan toda la litosfera juegan un papel fundamental en la dispersión y translación de los terrenos. Como ya se explicó, las fallas de transcurrancia se generan con mucha frecuencia en el margen convergente en una situación subparalela al contacto de las dos placas; es común que se generen en juegos paralelos entre sí por lo que el desplazamiento de terrenos suele llevarse a cabo a lo largo de líneas paleolatitudinales. Este proceso con frecuencia resulta en la translación de masas rocosas (terrenos) de paleolatitudes contrastantes. También

es de esperar que la interacción entre juegos paralelos de fallas transcurrentes produzcan rotación de terrenos acompañados de grandes desplazamientos laterales.

Todos los fenómenos arriba señalados se conjugan para resultar en desplazamientos laterales de miles de kilómetros. Asimismo, durante el complejo, y en ocasiones largo viaje dos terrenos de origen diferente pueden amalgamarse antes de su acreción al margen continental por lo general en estos casos se observa un CPT de sobrelape en común.

La interacción de fallas de transcurrancia y la convergencia oblicua de placas origina el proceso denominado transpresión. Por otro lado, la divergencia oblicua y la transcurrancia generan la transtensión. Ambos mecanismos son de fundamental importancia en la generación y deformación de cuencas sedimentarias (Longoria, 1985).

Colisión

Este proceso va ligado directamente al cierre oceánico, es decir, la evolución en tiempo y espacio de la apertura oceánica y finalmente el cierre total de la cuenca oceánica. Básicamente se habla de un ciclo de Wilson completo que culmina en la generación de complejos cinturones plegados del tipo alpino-himalayo, los cuales se caracterizan por estructuras regionales de

vergencia única y de polaridad paleogeográfica bien definida de los dominios eugeoclinal y mioclinal. Un ejemplo claro de este tipo de régimen tectónico se puede observar en el Jurásico del Este-Central de México (Longoria, 1984).

En la actualidad la colisión y acreción tectónicas no deben asociarse a un mismo mecanismo geotectónico. Si bien es cierto que la colisión es el resultado directo de compresión frontal, la acreción presenta variables laterales (oblicuas) que resultan en regímenes tectónicos de transpresión.

METODOLOGIA APLICADA AL ANALISIS DE TERRENOS

La importancia del análisis de terrenos estriba en el hecho de que éste conjuga los aspectos estratigráficos, sedimentológicos, paleontológicos, morfotectónicos y estructurales de una región, entre otros, en el marco de la dinámica de placas. Lo anterior permite situar en un marco paleogeográfico las sucesiones estratigráficas que forman los cinturones plegados de cordilleras orogénicas. Se trata pues de un análisis inferencial-deductivo, i.e., *que consiste en partir de un principio general conocido para llegar a un principio particular desconocido*. Por ejemplo las observaciones morfoestructurales visuales, a partir de imágenes de satélite, corresponden a una

postulación general conocida, que después se conjugan con la colecta de datos de campo lo que permite llegar de manera objetiva a las relaciones genéticas-palinspásticas desconocidas de las sucesiones que componen las estructuras geológicas de los cinturones plegados. De la misma forma, el análisis de terrenos se vale del estudio de conjuntos y dominios paleogeográficos cumpliendo con el principio inferencial-deductivo de una metodología científica. Se parte de la identificación del conjunto como elemento general objetivo y con él se identifica el dominio que es desconocido.

En resumen, en la figura 1 se enlistan los pasos a seguir para efectuar un análisis de terrenos. El análisis de terrenos se lleva a cabo en cuatro etapas consecutivas las cuales se discuten a continuación:

1) Reconocimiento del terreno. El análisis morfotectónico de la región bajo investigación a la luz de imágenes de satélite o radar (SIR) suele ser el primer paso para definir la existencia de un terreno. Esto se basa en la deducción de que los elementos paleogeográficos yuxtapuestos fueron trasladados a lo largo de fallas de rumbo por lo que las estructuras deben conformar un arreglo acorde con la cinemática de la deformación. Las diferencias morfoestructurales tales como distintos

trenes de la megaestructura, hacen posible individualizar cinturones plegados internamente coherentes pero contrastantes con morfoestructuras adyacentes. Estos contrastes están delimitados por lineamientos que bien pueden corresponder con fallas regionales. Estos bloques pueden corresponder directamente con terrenos exóticos o sólo ser bloques rotados de una misma paleogeografía (terrenos alóctonos) por lo que se hace necesario realizar trabajo de campo regional para verificar su yuxtaposición. Es importante hacer notar que el desplazamiento horizontal (cabalgamiento), es decir, la sólo superposición de paquetes líticos a lo largo de fallas de cabalgadura NO hacen de ese paquete lítico un terreno (Figura 6).

La teledetección. Se basa en la observación visual de imágenes LANDSAT y radar para obtener una evaluación a priori de la morfotectónica de la región. Esto resulta en la delineación (individualización) de cinturones plegados dentro de cordilleras orogénicas en base al arreglo morfoestructural de la región. Los elementos morfoestructurales mas sobresalientes son los pliegues y lineamientos (Longoria y Jiménez, 1985; Longoria, 1986).

Estos cinturones plegados asi individualizados muy bien pueden corresponder a terrenos. Sin embargo,

como ya se dijo, dicha correspondencia se debe verificar con trabajo de campo y sobre todo demostrarse con evidencias físicas, paleobiológicas o paleomagnéticas de que se trata de elementos paleogeográficos yuxtapuestos. Por otra parte, los lineamientos estructurales conducen a establecer la existencia de sistemas de fallas que bien pueden estar ligados a los límites de terrenos.

2) Análisis tectonoestratigráfico.

Una vez que se han postulado la existencia de terrenos, se procede al trabajo de verificación de campo.

Trabajo geológico de campo. El trabajo de campo para el análisis de terrenos cubre dos aspectos fundamentales: 1) de estratigrafía física, y 2) de estudios estructurales.

Por lo general el trabajo de campo tendiente al análisis de terrenos se realiza a escalas que fluctuan de 1:250,000 hasta 1:50,000. Este trabajo permite, por una parte, reconocer CPTs dentro de las morfoestructuras lo cual conduce a la definición de DPs. Esta fase culmina con un inventario de los conjuntos petrotectónicos que incluye también los de sobrelape que ayudarán a entender la historia de la amalgación de terrenos compuestos.

Por otra parte, se realiza trabajo de campo a la escala 1:25,000 en áreas específicas el cuál hace posible el levantamiento estratigráfico-estructural y

el conocer la naturaleza de los conjuntos petrotectónicos, al mismo tiempo que se hace un muestreo detallado de las litologías para ser estudiadas en el laboratorio bajo los puntos de vista de la petrografía, microfacies, biocronología y biogeografía. Estos últimos estudios arrojan evidencias del desplazamiento o translación, los cuales pueden también combinarse con estudios de la estratigrafía física y paleomagnetismo para así obtener un panorama más completo sobre la historia de la acreción del terreno.

Esta fase termina con un mapa de terrenos por lo general a escalas que fluctúan entre 1:50,000 y 1:250,000 dependiendo de la extensión geográfica que cubra el estudio. Este mapa muestra la distribución de terrenos, estructuras mayores (megaestructura), naturaleza de las fallas limítrofes; así como también una leyenda con la caracterización de cada terreno y sus conjuntos petrotectónicos que los definen. Por separado en un texto adjunto al mapa debe incluirse la descripción y diagnóstico de cada conjunto petrotectónico y los rasgos estratigráficos y/o estructurales que permiten contrastarlo con paquetes coevos.

Las relaciones tectónicas y estratigráficas de los paquetes líticos se establecen en base a las relaciones observadas durante el trabajo de campo

el cuál consiste de travesías regionales haciendo un inventario de los conjuntos petrotectónicos, incluyendo los de sobrelape, en base a criterios petrológicos de campo. Las relaciones estratigráfico-estructurales de campo que guardan los distintos conjuntos petrotectónicos se ilustran en perfiles de campo en los que se ilustran las relaciones tectónicas entre ellos. Todos estos datos de campo se contrastan con los datos obtenidos en unidades liticas adyacentes que se suponen yuxtapuestas a ellas.

De fundamental importancia es la descripción ordenada de los distintos CPTs presentes en cada terreno. De la misma manera, una vez que la extensión geográfica del terreno se ha delimitado, se procede a medir una sección completa de la sucesión estratigráfica que compone el terreno. Esta sección se mide y muestrea a detalle para tener un marco de referencia de su contenido paleontológico y probables variaciones temporales y espaciales de cada CPT. El resultado de esta fase es la cartografía de los terrenos dándose a conocer su extensión en mapas de terrenos.

3) Cinemática del terreno. En esta fase se intenta interpretar la historia del movimiento del terreno desde su punto de origen hasta su yuxtaposición. El primer paso para entender la cinemática del terreno es establecer el marco

paleogeográfico a partir de los conjuntos petroectónicos y su paleolatitud en base a datos paleobiogeográficos o paleomagnéticos los cuales deben de compararse con la paleogeografía del área adyacente para así determinar la aloctonia y la yuxtaposición del terreno.

Los criterios mas usados para entender el desplazamiento o translación de terrenos son: a) paleobiogeográficos, b) paleomagnéticos, c) estratigrafía física incluyendo clases de rocas ígneas, d) estilos estructurales, e) tipos de metamorfismo.

El análisis de microfacies, el estudio en lámina delgada de las rocas sedimentarias predominantemente consolidadas, permite obtener valiosa información sobre la petrografía, paleoecología, ambientes sedimentarios, biocronología y litocorrelación de terrenos formados de rocas sedimentarias. El estudio de la microfacies *ala* Flugel (1982) es bastante complejo, sin embargo, su aplicación en estudios recientes (Longoria y Monreal, 1991) ha permitido conocer la evolución de la secuencia sedimentaria que de otra parte habria pasado desapercibida. Por ejemplo, a través de estos estudios de microfacies fué posible obtener una curva paleobatimétrica de la sucesión estudiada en el Cañon de los Chorros (Sur de Saltillo, Coahuila) y después

una curva de geohistoria lo que permitió establecer la relación entre la subsidencia tectónica y cambios del nivel del mar.

El reconocimiento del desplazamiento de los terrenos depende en gran medida del control biochronológico y/o geocronométrico de los CPT que aseguren las relaciones temporales coevas entre los CPT de los diferentes dominios paleogeográficos; así como también de la determinación de paleolatitudes, por lo mismo los datos paleobiogeográficos han resultado primordiales en el estudio de la historia del desplazamiento y dispersión de terrenos. Como ya fué apuntado por Taylor et al. (1984, p. 122) " Faunal analysis can thus, in favorable cases, provide the following indications that are often beyond the reach of paleomagnetic studies. It can (a) decide whether a terrane at a given time was in the northern or southern hemisphere, thereby placing constraints on the polarity of paleomagnetic determinations; (b) indicate displacements of as little as a few kilometers; and (c) provide longitudinal constraints".

La determinación paleolatitudinal de terrenos ha recaído fundamentalmente en esquemas biogeográficos (Longoria, 1984). El uso de un esquema biogeográfico basado en radiolarios para el Jurásico Mexicano ha arrojado

datos fundamentales en la distinción de provincias paleobiogeográficas en el Hemisferio Norte (Pessagno, Longoria y otros, 1987). Recientemente Pessagno, Longoria y otros (1993) utilizaron datos paleobiogeográficos para establecer la naturaleza exótica del Terreno Exótico San Pedro del Gallo que revelan la presencia elementos boreales tales como moluscos del género *Buchia* spp. y abundantes radiolarios *Parvicingula* spp. los cuales contrastan con el llamado "terreno Sierra Madre" que contiene elementos faunales enteramente tethysianos.

Por otra parte, es vital conocer la historia metamórfica, por ejemplo, terrenos desplazados grandes distancias se caracterizan por edades de formación y cristalización ajenas a las de las unidades metamórficas adyacentes; en general, la naturaleza de los protolitos y grados de metamorfismo que se desarrollan en ellos contrasta con los de cinturones tectónicos yuxtapuestos.

El reconocimiento de la amalgamación hace posible determinar el tiempo en el que se originó el terreno compuesto por lo que la historia de la acreción se puede determinar en base a diferencias estructurales entre los paquetes de conjuntos petrotectónicos basales y de sobrelape.

4) Reconstrucción palinspástica.

El punto culminante de las

investigaciones geológicas regionales es finalmente regresar la sucesión estratigráfica a su posición paleogeográfica original, antes de la translación tectónica. Lo anterior se logra conjugando todos los datos, tanto de campo como de laboratorio. Esto permite hacer inferencias sobre la presencia y/o ausencia de elementos paleogeográficos, o en otros casos, lograr detectar sucesiones estratigráficas disímiles, sin relación paleogeográfica pero tectónicamente yuxtapuestas o sobrepuestas.

EL TERRENO EXOTICO HUAYACOCOTLA

Reconocimiento del terreno. La región de Huayacocotla del Este-Central de México contiene una de las sucesiones estratigráficas más completas de Mesozoico Mexicano (Fig. 7). La secuencia del Jurásico Medio de ésta región contrasta marcadamente en litología y elementos faunísticos con la de las secciones coevas adyacentes en el Estado de Oaxaca. Las litologías y faunas presentes en ambas regiones se muestran en la figura 8.

Erben (1956) fué el primero en sugerir que "El Liásico (=Jurásico Inferior) de México no forma una unidad continua ni con respecto a su distribución regional ni con respecto a su desarrollo en facies". Esa observación de Erben

(1956) tiene un significado terenoestratigráfico vital para entender la evolución tectónica del Sur de México. Estos contrastes líticos y su falta de relaciones laterales condujeron a postular la existencia de una yuxtaposición estratigráfica de las sucesiones estratigráficas del Jurásico Inferior en esta región de México (Longoria, 1984, figura 5).

Tectonoestratigrafía. Basicamente se distinguen cuatro conjuntos petrotectónicos en la sucesión estratigráfica (Fig. 7), de abajo a arriba:

- 1) *Cuenca post-arco*, caracterizado por contener:
 - a) rocas terrígenas típicas de una secuencia intercontinental en su base;
 - b) conglomerados y areniscas conglomeráticas de grano grueso con marcada estratificación cruzada; y
 - c) calizas arcillosas, bituminosas de ambiente nerítico con abundantes faunas de amonites identificadas por Cantú Chapa (1969, 1979) como asignables al género *Kepplerites*, indicativos del Bathonense-Calovense inferior.
- 2) *Plataforma carbonatada*, formado por calizas

marinas arcillosas, en capas nodulares de ambientes parálidos que contienen abundantes amonites *Neuqueniceras* y *Reineckeia s.s.*

- 3) *Talud*, consiste en un potente paquete caracterizado por una alternancia homogénea de calizas arcillosas, bituminosas y lutitas calcáreas con nodulos calcáreos.
- 4) *Carbonatos pelágicos*, que contiene un paquete homogéneo de calizas micríticas de nannoplancton y capas de tobas.

Los tres últimos CPT corresponden a conjuntos de solapamiento (Figs. 7 y 8). En contraste, la sucesión coeva del norte de Oaxaca contiene, de abajo a arriba:

- 1) un paquete continental-de transición a marina.
- 2) una secuencia marina de aguas someras que contiene una fauna de amonitas correspondientes a una asociación de *Neuqueniceras* y más arriba la fauna típica de *Reineckeia s.s.*

Aunque la fauna de amonitas reportada para el CPT basal (Formación Huayacocotla) corresponde a un grupo pandémico, es importante hacer notar el contraste paleobiogeográfico entre las faunas de

amonitas de las dos regiones: *Boreal para el Calovense inferior y medio de la región de Huayacocotla y del Tethys para los estratos coevos de la región de Oaxaca, claramente indicando una yuxtaposición de provincias paleobiogeográficas*. Las amonitas del género *Keplerites* han sido biocorrelacionadas con asociaciones coevas del estado de Oregon del Occidente de Estados Unidos por Imlay (1980).

Cinemática del terreno. Al juzgar por el conjunto petrotectónico de sobrelape, la dispersión del dominio paleogeográfico boreal ocurrió en el Calovense medio involucrando un desplazamiento lateral de por lo menos mil kilómetros del Noroeste al Sureste para acrecionarse contra el margen continental por lo que el terreno Huayacocotla es un terreno exótico.

Reconstrucción palinspástica. La restauración palinspástica del Terreno Exótico Huayacocotla que aquí se presenta se apoya fundamentalmente en la distribución de los elementos paleobiogeográficos del Jurásico. Para esta reconstrucción se han usado varios grupos taxonómicos tales como radiolarios, bivalvos, amonites y se emplean los esquemas paleobiogeográficos definidos por Pessango, Longoria y otros (1987) recientemente expandidos por Pessango, Longoria y otros (1993).

En la figura 9 se presenta la restauración palinspástica de la paleogeografía durante el Calloviano Inferior. Aquí se considera que el Terreno Exótico Huayacocotla, que contiene amonites kepleritidos, debió haberse originado en latitudes boreales por arriba de los 45 grados de latitud Norte. La cinemática de las placas estuvo regida por: 1) la subducción oblicua de la placa Farallon, 2) la migración de la placa Norteamericana hacia el Oeste-Noroeste, y 3) la apertura del Corredor Hispánico ligado a la separación de Sudamérica de Norteamérica. Los elementos paleobiogeográficos contrastantes están representados por las faunas de amonites tales como *Neuquenicerias* y *Reineckeia* típicas de la provincia del Tethys y *Keplerites* característicos de la provincia Boreal (Fig. 8). En este asentamiento, el Corredor Hispánico juega un papel primordial en la migración de faunas desde el Tethys hacia el paleo-Pacífico.

Se infiere que el desplazamiento del terreno boreal fue del Noroeste al Sureste hasta su presente localización en el Este-Central de México a lo largo de la Megacizalla Walper (Fig. 10). Se estima aquí que la translación del Terreno Exótico Huayacocotla se llevó a cabo en forma rápida, considerándose que en un lapso de 1.5 millones de años el terreno se desplazó desde las

latitudes boreales (N45°) hasta las bajas latitudes en el Hemisferio Norte (N15°). Esta translación básicamente coincide con la migración hacia el Norte, en el sentido contrario, de dominios tectostatigráficos (por ejemplo, el Terreno Exótico Wrangelia) desde las bajas latitudes hacia las latitudes boreales hasta su acreción en Alaska, Oregon y California.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

1.- El concepto de *terreno* es único en el sentido que hace hincapié en la historia geológica del paquete rocoso. Aunque el concepto se funda en procesos y herramientas geológicas tales como la estratigrafía, paleobiogeografía y paleomagnetismo, el concepto de terreno se ha retomado a partir de los setentas para hacer énfasis en la yuxtaposición paleogeográfica de las sucesiones estratigráficas representadas por los conjuntos petrotectónicos. El término **terreno** es independiente de otros tales como fragmento y bloque. A diferencia de estos últimos, el término terreno es genético y debe de usarse en un contexto paleogeográfico.

El concepto de terreno ha abierto una dimensión más en el análisis tectónico y paleogeográfico de los cinturones orogénicos, permitiendo visualizar que los paquetes de rocas no necesariamente fueron formados en los

lugares donde ahora se encuentran. También hace mayor énfasis en el hecho de que las cuencas sedimentarias estuvieron sujetas a una constante traslación por lo que contactos entre paquetes rocosos adyacentes deben estudiarse con detenimiento ya que los paquetes coevos adyacentes pueden estar truncados por traslaciones de la paleogeografía por fallas de rumbo. También gracias a la terrenoestratigrafía ahora se concibe que las fallas de rumbo son mas comunes de lo que se pensaba.

2.- La terrenología, es decir el hábito empírico de describir entidades rocosas ("terrenos") sólo por hacerlo, es una desafortunada desviación del concepto original que ha conllevado a su desprestigio.

3.- La terrenoestratigrafía es una modalidad de la estratigrafía comparable con la sismoestratigrafía, la quemoestratigrafía o la cicloestratigrafía.

La Terrenoestratigrafía es una herramienta fundamental en la exploración geológica e inventario de recursos naturales. Su aplicación a regiones tectónicamente complejas permite establecer de manera científica parámetros objetivos para evaluar el potencial económico de cinturones plegados. Este análisis se hace a través de una metodología sistemática que conjuga una serie de procedimientos y técnicas geológicas que aunque muchas

veces son convencionales, su arreglo y procedimiento lo hacen diferente y único con respecto a otros análisis geológicos tales como el tectónico, estructural, o litoestratigráfico. Se trata entonces, de una combinación interdisciplinaria.

Además, la terrenoestratigrafía es un análisis que se debe de realizar independientemente de los modelos tectónicos. Más bien, el análisis terrenoestratigráfico conlleva a la delimitación de los regímenes tectónicos prevalcientes durante la generación de conjuntos petrotectónicos, que son el enlace entre el terreno y su paleogeografía antes de su dispersión.

4.- El trabajo de campo para el análisis de terrenos es fundamentalmente el mismo que para trabajos geológicos regionales. La diferencia estriba en el hecho de que en terrenoestratigrafía el trabajo de campo se lleva a cabo con el propósito de verificar las postulaciones hechas en base a la teledetección (morfotectónica, morfoestructura) levantando inventarios de conjuntos petrotectónicos, con lo que entonces se verifica si el área postulada en realidad corresponde a un terreno, Es decir, el trabajo de campo se hace con una hipótesis de trabajo en mente. La aplicación de ésta metodología en análisis de terrenos de la Cordillera Mexicana permitió obtener observaciones paleogeográficas que condujeron al establecimiento de un

régimen tectónico transpresivo que prevaleció durante la mayor parte del Mesozoico. Asimismo, nuestros trabajos de terrenoestratigrafía han resultado en el reconocimiento de cuencas yuxtapuestas. Aún más significativo fue el reconocimiento de cambios paleoambientales y de discordancias asociadas a hiatos estratigráficos en la columna Mesozoica y su relación con la dinámica de la margen convergente oblicua del Occidente de México a través del Jurásico y Cretácico.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su reconocimiento al apoyo brindado por el Departamento de Geología de la Florida International University. También agradece a sus discípulos el haber aceptado poner en práctica la metodología aquí planteada, sin su colaboración este trabajo hubiera sido nulo. Particularmente deseo expresar mi gratitud a Ted Carlsen (SOHIO, Huston, Texas), Monica Farek (ARCO, Bakersfield, California) y Rogelio Monreal (CESUES, Hermosillo, Sonora) por las numerosas discusiones.

REFERENCIAS CITADAS

- Avé Lallemant, H.G. y Oldow, J.S., 1988, Early Mesozoic southward migration of Cordilleran transpressional terranes: *Tectonics*, v. 7, p. 1057-1075.
- Beck, M.E., Jr., 1983, On the mechanism of tectonic transport in zones of oblique subduction: *Tectonophysics*, v. 94, p. 1-11.
- Ben-Avraham, Z., Nur, A., Jones, D. y Cox, A., 1981, Continental accretion and orogeny: From

- oceanic plateaus to allochthonous terranes: *Science*, v. 213, p. 47-54.
- Blake, M.C., Jr., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the northern Coast Ranges, California. *In*: Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, p. 159-171.
- Campa, M.F. y Coney, P.J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, p. 1040-1051.
- Campa, M.F., Ramírez E., J. y Coney, P.J., 1984, Conjuntos estratotectónicos de la Sierra Madre del Sur, region comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacan, México y Morelos: *Sociedad Geológica de México*, p. 45-67.
- Cantú Chapa, A., 1969, Estratigrafía del Jurásico medio-superior del subsuelo de Poza Rica, Ver. (Area de Soledad-Miquetla): *Instituto Mexicano del Petroleo Revista*, v. 1, p. 3-9).
- Cantú Chapa, A., 1979, Bioestratigrafía de la Serie Huasteca (Jurásico medio y superior) en el subsuelo de Poza Rica, Veracruz: *Instituto Mexicano del Petroleo Revista*, v. 11, p. 14-24.
- Castro Mora, J.T., Carta de terrenos y conjuntos estratotectónicos: *Instituto Mexicano del Petroleo, Boletín Informativo no. 56*, p. 27.
- Coney, P.J., 1978, Mesozoic-Cenozoic Cordilleran plate tectonics: *Geological Society of America, Memoir 152*.
- Coney, P.J., 1981, Accretionary tectonics in western North America: *Arizona Geological Society Digest*, v. 14, p. 23-27.
- Coney, P.K. y Campa, M.F., 1976, Lithotectonic terrane map of Mexico. *In*: Silberling, N.J., et al., eds., Lithotectonic terrane maps of the North American Cordillera, Part D: United States Geological Survey, Open File 84-0523, p. D1-D14, 4 maps.
- Coney, P.J. y Campa, M.F., 1984, Terrenos sospechosos de aloctonia y acreción del Occidente y Sur del Continente Norteamericano: *Departamento de Geología Universidad de Sonora Boletín*, v. 1, p. 1-24.
- Coney, P.J., Jones, D.L. y Manger, J.W.H., 1980, Cordilleran suspect terranes: *Nature*, v. 288, p. 239-333.
- Dewey, J.F., Gass, I.G., Curry, G.B., Harris, N.B.W. y Sengor, A.M.C., eds., 1991, Allochthonous terranes: *Cambridge University Press*, 199 p.
- Dickinson, W., 1971, Plate tectonics in geologic history: *Science*, v. 174, p. 107-113.
- Erben, H.K., 1956, El Jurásico Medio y el Caloviano de México: *XX Congreso Geológico Internacional México, Serie Especial*, 140 p.
- Flügel, E., 1982, Microfacies analysis of limestone: *Springer-Verlag*, 633 p.
- Gignoux, M., 1950, Stratigraphic geology: *W.H. Freeman and Co.*, San Francisco, 682 p. English translation from the Fourth French Edition (1950) by Gwendolyn G. Woodford.
- Hashimoto, M. y Uyenda, S., eds., 1983, Accretion tectonics in the Circum-Pacific regions: *Terra Scientific Publishing Co.*, Tokyo
- Howell, D.G., 1985, Terranes: *Scientific American*, v. 253, p. 90-103.
- Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, 585 p.
- Howell, D.G., 1989, Tectonic of suspect terranes. Mountain building and continental growth: *Chapman and Hall*, London, New York
- Howell, D.G. y Jones, D.L., 1985, Tectonostratigraphic terrane analysis and some terrane vernacular. *In*: Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, p. 6-9.
- Howell, D.G., Jones, D.L. y Schermer, E.R., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region. *In*: Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, p. 3-33.
- Imlay, R.W., 1980, Jurassic paleobiogeography of the conterminous United States in its continental setting: *United States Geological Survey Professional Paper 1062*, 134 p.
- Jones, D.L., Howell, D.G., Coney, P.J. y Monger, W.H., 1983, Recognition, character, and analysis of tectonostratigraphic terranes in western North America. *In*: Hashimoto, M. y Uyenda, S., eds., 1983, Accretion tectonics in the Circum-Pacific regions: *Terra Scientific Publishing Co.*, Tokyo, p. 21-35.
- Jones, D.L., Silberling, N.J. y Hillhouse, J., 1977, Wrangellia -A displaced terrane in northwestern North America: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 14, p. 2565-2577.

- Jones, D.L., Silberling, H.J. y Hillhouse, J.W., 1978, Microplate tectonics of Alaska - Significance for the Mesozoic history of the Pacific coast of North America: Mesozoic Symposium, SEPM, p. 71-74.
- Kimbrough, D.L., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the Vizcaino Peninsula and Cedros and San Benito Island, Baja California, Mexico. *In:* Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, p. 285-298.
- Longoria, J.F., 1984, Mesozoic tectonostratigraphic domains in east-central Mexico. *In:* Westerman, G.E.G., ed., Jurassic-Cretaceous biochronology and paleogeography of North America: Geological Association of Canada, Special Paper 27, p. 65-76.
- Longoria, J.F., 1985, Tectonic transpression in the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: An alternative model: *Geology*, v. 13, p. 343-346.
- Longoria, J.F., 1986, SIR-A and LANDSAT imagery in regional geologic mapping of the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico: The recognition of tectonostratigraphic terranes by remote sensing: International Symposium on Remote Sensing of Environment. Fifth Thematic Conference "Remote Sensing for Exploration Geology", September, 1986, Proceedings, 5 p.
- Longoria, J.F., 1987, Oblique subduction and kinematics of the American plate: Evidence from the stratigraphic record. *In:* Hilde, T.W. y Carlson, R.L., conveners, 1987, Geodynamics Symposium, Texas A & M University, Collages Station, 2 p.
- Longoria, J.F., 1991, Mesozoic tectonostratigraphic evolution of Mexico: V International CircumPacific Terrane Conference, Santiago, Chile, Nov. 11-15, 1991, 3 p.
- Longoria, J.F. y Jiménez, O.H., 1985, Spaceborne radar imagery in regional mapping of the Sierra Madre Oriental, northeastern Mexico: The use of morphostratigraphic units in mapping by remote sensing: International Symposium on Remote Sensing of Environment. Fourth Thematic Conference "Remote Sensing for Exploration Geology, Proceedings, v. 2, p. 437-446.
- Longoria, J.F. y Monreal, R., 1991, Lithostratigraphy, microfacies, and depositional environments of the Mesozoic of Sierra La Nieve, Coahuila, northeast Mexico: *Revista de la Sociedad Geológica de España*, v. 4, p. 7-31.
- Moore, T.E., 1985, Stratigraphic and tectonic significance of the Mesozoic tectonostratigraphic terranes of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico. *In:* Howell, D.G., ed., 1985, Tectonostratigraphic terranes of the CircumPacific region: CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, Houston, Texas, Earth Sciences Series, Number 1, p. 315-329.
- Pacheco G., C., Castro M., R. y Gómez, M.A., 1984, Confluencia de terrenos estratotectónicos en Santa Maria del Oro, Durango, México: *Instituto Mexicano del Petroleo Revista*, v. XVI, p. 7-20.
- Pessagno, E.A., Jr., Longoria, J.F., MacLeod, N., and Six, W.M., 1987, Upper Jurassic (Kimmeridgian-upper Tithonian) Pantanellidae from the Taman Formation, east-central Mexico: Tectonostratigraphic, chronostratigraphic, and phylogenetic implications, *in* Cuvler, S.J., ed., Studies of North American Jurassic Radiolaria, Part I: Cushman Foundation for Foraminiferal Research Special Publication, v. 23, p. 1-51
- Pessagno, E.A., Jr., Longoria, J.F., Meyerhoff Hull, D., y Kelldorf, M., 1993, Tectonostratigraphic significance of the San Pedro del Gallo area, Durango, Western Mexico: *In* Dunne, G., and McDougall, K., eds., 1993, Mesozoic Paleogeography of Western United States-II, Pacific Coast Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Book 71, p. 141-156.
- Saleeby, J., 1981, Ocean floor accretion and volcanoplutonic arc evolution of the Mesozoic Sierra Nevada. Ernest, W.G., ed., The Geotectonic development of California, "Rubey Volume no. 1". Prentice-Hall, Inc., New Jersey, p. 133-181.
- Sengor, A.M.C. y Dewey, J.F., 1991, Terranology: vice or virtue? *In:* Dewey, J.F., Gass, I.G., Curry, G.B., Harris, N.B.W. y Sengor, A.M.C., eds., 1991, Allochthonous terranes: Cambridge University Press, p 1-21.
- Silberling, N.J. y Jones, D.L., (eds.), 1984, Lithotectonic terrane maps of the North American Cordillera: Department of Interior, U.S. Geological Survey, Open-File Report 84-523, prepared in cooperation with the Geological Survey of Canada and Petroleos Mexicanos.
- Subcomisión Internacional de Clasificación Estratigráfica, 1976, Guía estratigráfica Internacional. Guía para la clasificación,

terminología y procedimientos estratigráficos.
H.D. Hedberg, editor: Editorial Reverté, S.A.
205 p.

Taylor, D.G., Callomon, J.H., Hall, R., Smith, P.L., Tipper, H.W., and Westermann, G.E.G., 1984, Jurassic ammonite biogeography of western North America: The tectonic implications. In Westermann, G.E.G., ed., Jurassic-Cretaceous biochronology and paleogeography of North America: Geological Association of Canada, Special Paper 27, p. 121-141.

Williams, H. y Hatcher, R.D., Jr., 1982, Suspect terranes and accretionary history of the Appalachian orogen: *Geology*, v. 10, p. 530-536.

FIGURE CAPTIONS

Figura 1: Diagrama de flujo representativo de la metodología empleada en terrenoestratigrafía mostrando las fases del trabajo y la marcha de pasos a seguir.

Figura 2: Representación diagramática de la clasificación de dominios paleogeográficos y conjuntos petrotectónicos.

Figura 3: Sección representativa, sin escala, de placas litosféricas mostrando la relación espacial de los dominios tectostratigráficos y la distribución de conjuntos petrotectónicos.

Figura 4: Modelo ilustrativo de la generación de un terreno. Notese la interrelación entre la estratigrafía y la tectónica las cuales gobiernan las unidades básicas de la terrenoestratigrafía: CPT=conjunto petrotectónico, DP=dominio paleogeográfico. Se ilustran también los fenómenos geológicos predominantes en la formación del terreno. En este esquema se deduce que la transurrencia está más ligada con los procesos globales mientras que la translación y la acreción están estrechamente relacionadas al terreno. La yuxtaposición y la aloctonia paleogeográfica son el resultado directo de la geodinámica.

Figura 5: Modelo conceptual de la cinemática de un margen convergente oblicuo que resulta en la generación de un terreno exótico. Los vectores que intervienen son: la convergencia oblicua de la placa subducida, la dirección del desplazamiento del dominio tectostratigráfico (DT). El resultado de esta dinámica es la transurrencia, representada por la línea de yuxtaposición paleogeográfica, y la acreción al borde del continente de terrenos.

Figura 6: Representación esquemática, teórica, de dos perfiles estratigráficos. Perfil A: ilustra el caso de un cabalgamiento de dos CPT coevos; Jr1=plataforma carbonatada, Jr2=carbonatos pelágicos; ambos contienen elementos paleontológicos de un mismo dominio paleogeográfico. Perfil B: ilustra el caso de la yuxtaposición de dos CPT coevos. Jr1=CPT de plataforma carbonatada; Jr2=CPT de carbonatos pelágicos hipotética, los cuales contienen elementos biogeográficos disímiles deduciéndose una yuxtaposición paleogeográfica.

Figura 7: Biogeografía y migración paleolatitudinal del Terreno Huayacocotla. Se deduce que el Terreno Huayacocotla tiene su origen en latitudes boreales.

Su translación a latitudes tropicales se llevó a cabo en el Calovense superior involucrando un desplazamiento rápido de miles de kilómetros.

Figura 8: Columnas estratigráficas coevas, representativas del Jurásico Medio y Superior de la región de Huayacocotla y del norte de Oaxaca. El conjunto petrotectónico de sobrelape está representado por la presencia en ambas columnas de faunas de amonites tethysianos de Calovense Superior. Ca=Formación Cahuascal, PB=Formación Palo Blanco, Tx=Caliza Tepexic, Ta=Formación Taman, Cu=Conglomerado Cualac, Zo+Formación Zorillo, Tb=Formación Taberna, Ot=Formación Otatera, Si=Formación Simon, Yu=Formación Yucuñuti.

Figura 9: Restauración palinspática de la paleogeografía de México en el Calovense inferior. Para fines de referencia se ha superpuesto sobre la paleogeografía la configuración actual del Norte de México incluyéndose solamente aquellos estados que se consideran autoctonos para este tiempo. 1=Chihuahua, 2=San Pedro del Gallo, 3= Torreon, 4=Monterrey. Se reconocen elementos faunísticos representantes de dos provincias faunísticas: boreal (K) y tethysiana (R). El límite Sur de la fauna boreal es el paralelo N45 y el límite Norte de la fauna del Tethys es por debajo del paralelo N30. El terreno boreal (Terreno Huayacocotla) se desplaza velozmente desde su origen hasta las bajas latitudes, muy cercano a su posición actual.

Figura 10: Restauración palinspática de la paleogeografía de México en el Calovense superior mostrando la acreción del Terreno Huayacocotla el cuál ha sido trasladado hasta su posición actual. Al Norte el Terreno Huayacocotla está delimitado por el lineamiento (megacizalla) Walper mientras que al Sur queda delimitado por el lineamiento (megacizalla) Cserna definiendo la línea de juxtaposición con la paleogeografía subtropical (Tethysiana). Véase también la explicación de la figura 9.