

Geomorfología litoral: una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará, nordeste de Brasil*.

ANTONIO JEOVAH DE ANDRADE MEIRELES**
PATRICIO RUBIO ROMERO***

Palabras clave: *geomorfología litoral, Teoría General de Sistemas, modelos estructurales, variación del nivel del mar, geografía física, cambio climático, análisis de sistemas*

Key words: *coastal geomorphology, System General Theory, structural models, sea-level change, physical geography, analysis of systems, change climatic*

1. INTRODUCCIÓN

Para objetivar la comprensión de buena parte de los multivariados procesos geomorfológicos en la llanura costera de Ceará, noreste de Brasil y aportar nuevas propuestas de investigación integrada, se estimo necesario aplicar las propiedades básicas de la Teoría General de Sistemas (T.G.S.), de acuerdo a la metodología propuesta por Rubio (1995). La aplicación de estas propiedades fue hecha tomando como base la evolución del modelado, desde su relación con el sistema planetario, el origen y evolución de los indicadores de cambios climáticos, y las diversas fluctuaciones del nivel del mar asociados a ellos.

Es importante comenzar reordenando en un breve apartado todos aquellos conceptos que fundamentan y definen a nivel teórico la T.G.S., porque buena parte de las ideas presentadas en esta proposición metodológica son necesariamente experimentales, ya que están relacionadas con la definición de unos probabilísticos mecanismos geoambientales que co-evolucionan con las diversas intervenciones antropogénicas.

* Trabajo realizado con la financiación de la Universidad Federal de Ceará (UFC/CAPES) y de la Universitat de Barcelona.

** Profesor del Departamento de Geografía de la Universidad Federal de Ceará (UFC/CAPES) - Doctorando en el Departament de Geografia Física i A.G.R., Universitat de Barcelona. andrade@natura.geo.ub.es

*** Profesor Titular del Departament de Geografia Física i A.G.R., Universitat de Barcelona. prubio@trivium.gh.ub.es

2. LAS BASES SISTÉMICAS

Una primera vertiente aplicada de la idea de sistemas descansa en las ciencias naturales, porque los biólogos han sido los primeros en establecer formas de pensar en términos de amplios sistemas; fue L. von Bertalanffy quien aplicó la idea de sistemas a cualquier globalidad – no sólo biológica. En contraposición la segunda vertiente o campo de aplicación del pensamiento sistémico procede de una fuente muy distinta como es la ingeniería de control y comunicación (Ferrer, 1997).

Según von Bertalanffy (1976), un sistema puede ser definido como un complejo de elementos interactuantes. Interacción significa que elementos, p están en relaciones, R , de suerte que el comportamiento de un elemento p en R es diferente de su comportamiento en otra relación R' . Si los comportamientos en R y R' no difieren, no hay interacción, y los elementos se comportan independientemente con respecto a las relaciones R y R' .

Para este mismo autor, un sistema abierto es definido como un sistema que intercambia materia y energía con el medio circundante, y que tiene importación y exportación, constitución y degradación de sus componentes materiales.

Utilizando la noción de elementos y conjuntos, como instrumentos propios de la teoría de conjuntos (matemática), ya desarrollada por von Bertalanffy, Klir y Valach (1967; en von Bertalanffy et al. 1978) concluyeron que sistema es algo más que un conjunto de elementos. Porque éste se distingue en primer lugar por unos atributos variables - un conjunto de relaciones entre los atributos y entre estos atributos y el entorno -. Hevia (1998), ha definido los sistemas de acuerdo con las exigencias de la termodinámica, como el conjunto de elementos articulados de manera que pueden utilizar una fuente de energía para producir un trabajo.

La Teoría General de Sistemas busca, en esencia, comprender de forma global los procesos que rigen el funcionamiento de los sistemas, y en especial comprender la forma en que aparecen las propiedades que presenta el sistema cuando se encuentra en funcionamiento. Estas propiedades que, por lo general, se presentan cuando el sistema funciona y que no residen en los componentes en la estructura del sistema, reciben el nombre de *propiedades emergentes*, y a menudo no puede predecirse su aparición observando el sistema antes que empiece a funcionar.

El diagrama de flujo de la fig. 1 trata de representar las relaciones generales entre los paradigmas mecanicistas de la ciencia y la Teoría General de Sistemas, y fue hecho a partir de los planteamientos de Lorenzo Ferrer Figueras (1997). En él fueron añadidos cambios para la representación de un acercamiento sistémico relacionado con la geomorfología, para poner en evidencia la interacción de esa ciencia con las demás. También se ha intentado la fusión de las disciplinas para lograr la definición de la jerarquía/complejidad del conjunto de fenómenos que se encuentran relacionados con el origen de las llanuras costeras.

Según Hevia (1998), aún está por encontrarse una buena definición del término “complejidad” aplicada al estudio de los sistemas, porque un sistema complejo presenta un comportamiento intrínsecamente impredecible; lo cual es debido a uno o más de los siguientes factores o características:

- a) Reglas de funcionamiento complejas.
- b) Elevado número de componentes.
- c) Estructura compleja, es decir: relaciones multivariadas entre sus componentes.
- d) Alta conectividad. El comportamiento de un componente influye en todos los demás.
- e) Inercia muy grande, bien sea por tener un tamaño grande o por presentar mecanismos que se oponen a los cambios direccionales del sistema primario.
- f) Presencia de mecanismos acumuladores de energía potencial (gravitatoria, química, elástica, etc.) y de mecanismos que pueden liberar bruscamente la energía acumuladora, provocando comportamientos catastróficos en el interior del sistema (caos).

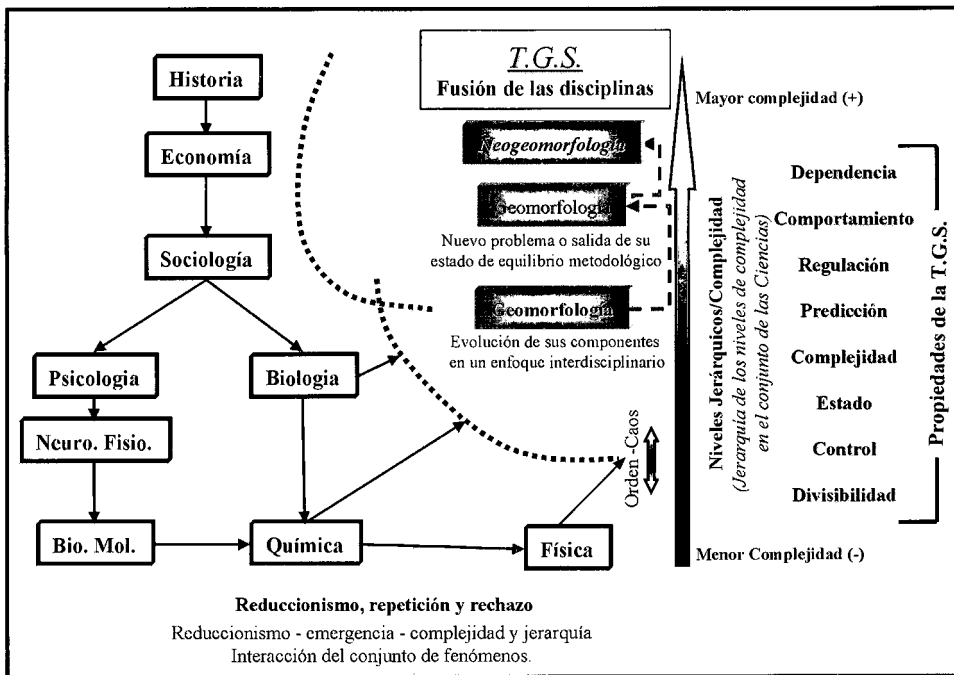


Fig. 1: La interconexión sistémica de la geomorfología con otras ciencias básicas: las propiedades y fundamentos de la Teoría General de Sistemas y su nueva proyección como ciencia (modificado de Ferrer, 1997).

g) Desajustes en los tiempos de respuesta de los mecanismos de control destinados a devolver el sistema al equilibrio.

Según Rubio (1996), desde la perspectiva temporal, cualquier sistema tiene como objetivo (finalidad) desde el punto de vista físico lograr la más absoluta permanencia, para lo cual regula su gasto de energía (mínimo gasto), hecho que dado el actual nivel de conocimientos solo estudiamos a través de los funcionamientos probables de la dinámica de las interrelaciones y geoelementos. De este modo, se establece en el ámbito temporal el valor óptimo, lo que necesariamente se traduce en muchos casos en la involucionista idea de equilibrio (estabilidad, climax), que es cuando aparece la identidad propia o expresión máxima del sistema o fase potencial máxima.

Pero la lógica de evolución del medio nos señala que después de la fase de máxima estabilidad se inicia la decadencia irreversible del sistema (entropía) al menos desde el punto de vista físico; tras lo cual la energía y materia no son controladas por el sistema original y la naturaleza empieza a crear otras formas y estados generando un nuevo sistema. Este último al desarrollarse ocupa un espacio físico en el sistema original por lo que es rechazado y él también, a su vez por sus propios mecanismos de auto defensa, rechaza al sistema primario. Es decir se inicia un intercambio de materia y energía siempre de manera creciente a favor del sistema nuevo.

Chorley (1962) y Chorley y Kennedy (1971) presentaron una serie de postulados para la aplicación de la T.G.S. en los estudios geomorfológicos, especialmente con las rela-

ciones de los procesos entre las geoformas. Con la evaluación de la metodología empleada por Powell, Davis, Penck y otros importantes geomorfólogos, vemos la evolución de una aproximación integradora y la necesidad de incorporar más elementos para mejorar la efectividad y representación de los modelos geomorfológicos.

Chorley aplicando los postulados básicos de la T.G.S. y añadiendo conceptos termodinámicos, formuló nuevas hipótesis, como la de considerar que el sistema geomorfológico es abierto y que en él no cabe el concepto de estado final. También introduce supuestos de inestabilidad permanente y valora el equilibrio según sea la tendencia hacia un nuevo cambio o estado. Aquí, destacamos que estos fueron los primeros pasos para la renovación de la geomorfología contemporánea.

En este trabajo para la definición de los procesos geomorfológicos en llanuras costeras, relacionados con el origen de los geoelementos impuestos por las fluctuaciones del nivel del mar y los cambios climáticos del cuaternario, fueron básicamente analizadas las terrazas marinas, mediante la aplicación de los ocho conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas: **divisibilidad, control, estado, complejidad, predicción, regulación, comportamiento y dependencia** (Rubio, 1995). Debido a la estructura metodológica de este tipo de análisis geomorfológico sistémico, complejidad de las reacciones geoambientales, gran cantidad de interrelaciones y geoelementos, es necesario para esta clase de estudio, aplicar en primer lugar la propiedad de la divisibilidad del sistema litoral. Al tratarse de un sistema natural con mecanismos biofísicos aún poco conocidos demasiado natural complejo es imposible estudiarlo sin un enfoque reduccionista (véase fig. 1).

Según el razonamiento anterior sólo se puede investigar la estructura y funcionamiento de los sistemas si se conocen los límites, aunque en algunos casos las fronteras son obvias, particularmente cuando se trata de sistemas discretos y tienen muy delimitadas conexiones con su entorno. En otros casos podemos afirmar que nos vemos forzados a *imponer* unos límites arbitrarios, recurriendo a nuestro sentido común ("costumbrismo metodológico") acerca de dónde empieza y dónde termina el sistema. Para el estudio específico en llanuras costeras, es importante que se tenga como base la compleja interacción entre los geoelementos y los procesos asociados generados por las interacciones geoambientales. Por lo tanto, las fronteras impuestas para desarrollar el enfoque sistémico son casi imposibles de construir, pues se trata de un ambiente por definición mixto al enfocar las terrazas marinas como objeto de interconectividad y/o componente de los procesos generados por los estímulos provenientes del continente, del mar y de la atmósfera.

3. LOS PROCESOS MORFOGENÉTICOS EN LA ZONA COSTERA DE CEARÁ

En primer lugar realizaremos una breve descripción de los procesos dinámicos básicos relacionados con el origen, estructura y disposición de las terrazas marinas, lo cual directamente se traduce en su definición espacial y temporal. También destacamos que el conocimiento sobre las oscilaciones del nivel del mar y cambios climáticos durante el Cuaternario es de fundamental importancia para cualquiera de los estudios geoambientales relacionados con llanuras costeras. Además los depósitos geológicos y procesos geomorfológicos derivados de estos eventos, en buena parte contribuyeron a la diversificación de las formas y el gran número de interacciones costeras geoambientales, las cuales a su vez participaron en la construcción del un modelo paleogeográfico y paleoclimático de la llanura litoral cearense, situada en el nordeste de Brasil (Fig. 2).

Fue en este ambiente de transición donde fueron gravados en el paisaje los registros de estos eventos. El avance y retroceso de la línea de costa, fundamentalmente a través de la acción del oleaje, mareas, corrientes marinas y vientos, junto a los efectos de cambios del nivel del mar, en contacto con una diversidad morfológica existente tanto en ambientes continentales y marinos, fueron las variables que generaron las extensas llanuras costeras del litoral brasileño. En el estado de Ceará, Andrade (1989), Meireles (1991), segui-

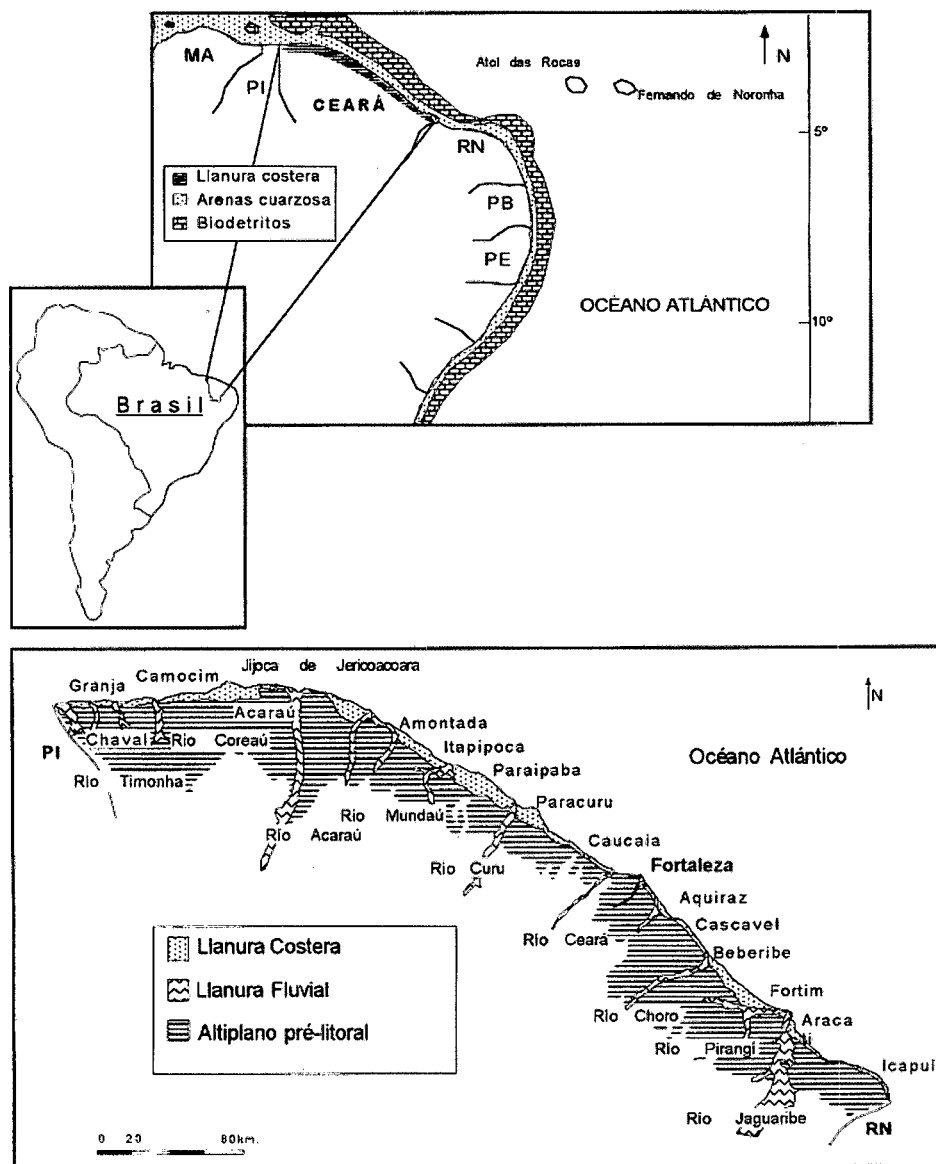


Fig. 2: Localización del área de estudio y su inclusión en las grandes unidades geomorfológicas del litoral de Ceará.

dos por Morais & Meireles (1994), evidenciaron testigos muy definidos de niveles del mar más elevados que el actual, desde la provincia de Icapuí, en el extremo este, hasta la región de Camocim, límite oeste con el estado de Piauí.

El modelo propuesto para el litoral cearense fue elaborado básicamente a partir de mapas geológicos, geomorfológicos y dataciones radiocarbónicas (C^{14}), donde fueron identi-

ficados testigos de tres periodos definidos por unos niveles del mar más altos que el actual. Evidencias del más alto nivel marino antiguo fueron identificadas solamente en el litoral de Bahía y Sergipe, y han sido conocidas por la designación de Transgresión Más Antigua (Bittencourt *et al.* 1979), que ocurrió hace más de 120.000 años BP. Es un evento poco preciso, pues en él existen testigos que no pueden ser atribuidos con certeza a esa transgresión (Suguio *et al.* 1985). Después del máximo alcanzado por esta transgresión, se produjo una regresión en la que el nivel del mar, según Tricart y Kilian (1979), se situaba entre 80 y 90 m. por debajo del nivel medio actual.

El segundo nivel alto marino ocurrió hacia los 120.000 años BP., denominado por Bittencourt *et al.* (1979) de Penúltima Transgresión y por Suguio *et al.* (1985), en el litoral de São Paulo, de Transgresión Cananéia, la cual alcanzó un máximo de 8 ± 2 m. por encima de la cota actual. Emery & Uchupi (1984), estudiando las evidencias de cambios del nivel del mar en la costa norteamericana, afirmaron que el último y mayor periodo interglacial aproximadamente es paralelo a este segundo nivel.

En el litoral cearense, las terrazas marinas pleistocenas, referentes a este segundo nivel más alto del mar, solamente fueran identificadas en la región este del estado, en el municipio de Icapuí (Meireles, 1991; Meireles y Morais, 1994). En otras localidades pueden encontrarse, como ejemplo en las llanuras de Itarema y Camocim. Aquí los depósitos de arenas marinas pleistocenas evidenciaron de un modo claro contactos erosionables y gradaciones con sedimentos transicionales de la Formación Barreiras (abanicos fluviales).

Las terrazas pleistocenas existentes en la llanura costera de Icapuí reflejan dos puntos básicos con respecto a la evolución geomorfológica de la región. Primero caracterizan influencias de los procesos transgresivos en la construcción de la llanura a partir del último gran periodo interglacial, hacia los 123.000 años BP. y segundo muestran que los procesos tectónicos, con movimientos verticales más prominentes (isostasia, tectónica-eustasia, sedimento-eustasia), no fueron preponderantes en la evolución de la llanura, además las terrazas se encuentran en el mismo nivel de base que fueron originadas. Procesos tectónicos y de levantamiento, ciertamente producirían la erosión de esa morfología. La ausencia de ella en otros puntos del litoral está relacionada con la erosión provocada durante la última transgresión, la cual durante el proceso regresivo subsiguiente, originó las terrazas marinas holocenas.

Después de este segundo nivel marino alto, Urien *et al.* (1980a) establecieron que, durante la última gran glaciación, el nivel del mar quedó en un punto relativo de 170 a 180 m. por debajo del nivel actual y que el aumento relativo del nivel del mar empezó hace 16.000 años BP. Emery & Uchupi (1984) evidenciaron para la costa este de E.U. un nivel del mar entre 60 y 120 m. más bajo que el actual, en un periodo entre 17.000 y 10.000 años BP. (con una elevación de unos 3,5 a 12,0 mm. al año). Los estudios hechos por Crowley & North (1991) sobre paleoclimatología definieron que el último máximo glacial ocurrió entre 22.000 y 14.000 años BP. Este evento fue llamado *Wisconsin* en América del Norte, *Würm* en los Alpes y *Weichselian* en el oeste de Europa.

En este periodo en el nordeste de Brasil se desarrolló una ancha llanura costera correspondiente a la plataforma actual, donde se instalaron los sistemas fluviales con meandros, estuarios, terrazas marinas, manglares, marismas, campos de dunas, pantanos y las terrazas marinas holocenas.

4. PROCESOS MORFOGENÉTICOS Y LAS PROPIEDADES DE LA T.G.S.

La figura 3 muestra un esquema geomorfológico correspondiente al extremo este de la llanura de Ceará, municipio de Icapuí, con la distribución espacial de los principales geoelementos, geoformas y flujos de energía. La presencia de las terrazas marinas como el geoelemento catalizador de interacciones, evidencia la complejidad de los diferentes eventos morfogenéticos intervinientes en este sistema litoral intertropical.

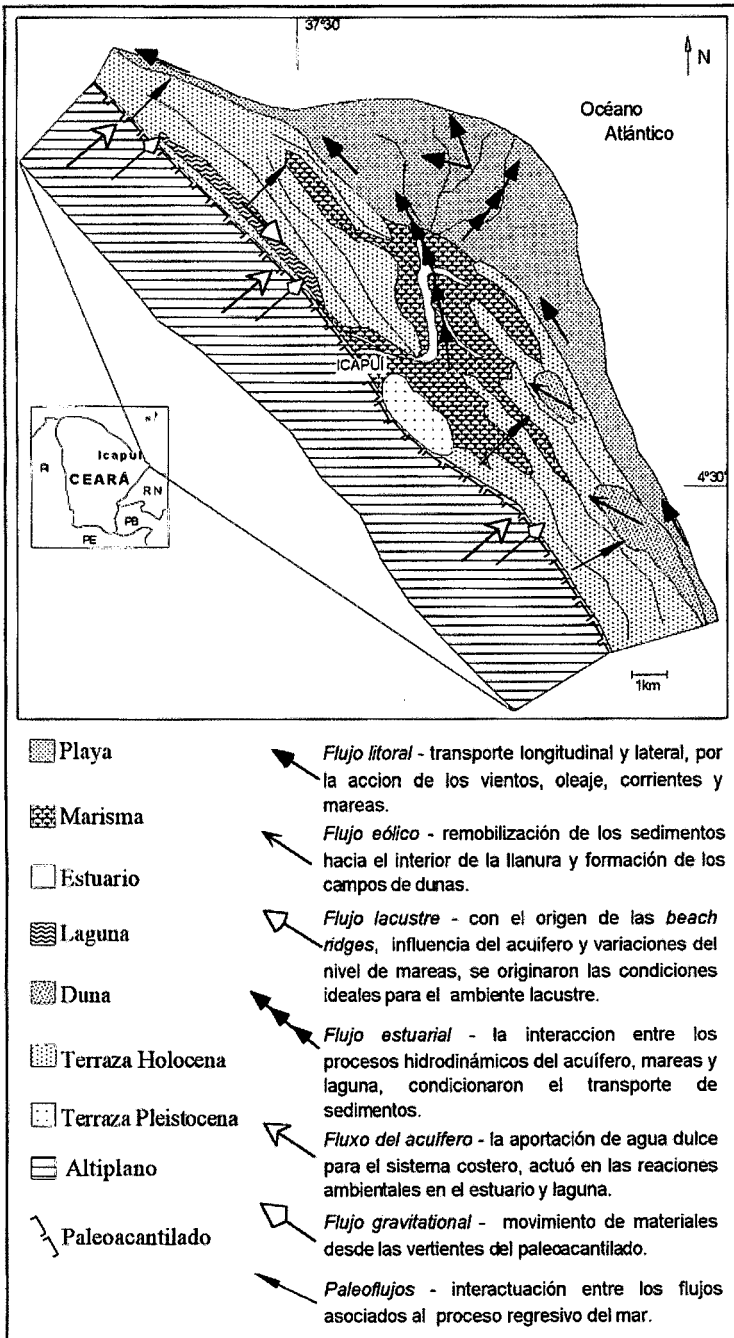


Fig. 3: Principales geoelementos y flujos de energía que interactuaron en el origen y desarrollo del geosistema de la llanura costera de Icapuí, nordeste de Brasil.

Los diversos diagramas de flujo presentados a continuación intentan mostrar como se puede realizar una aproximación teórico-metodológica, en este tipo de estudios mediante la visión sistémica, valorando el grado de presencia o de interconectividad de los flujos energéticos. De este modo en la figura 4 planteamos la definición de los geoelementos planetarios intervinientes, guardando las fronteras del objeto de estudio (terrazas marinas) y los distintos niveles de interacción.

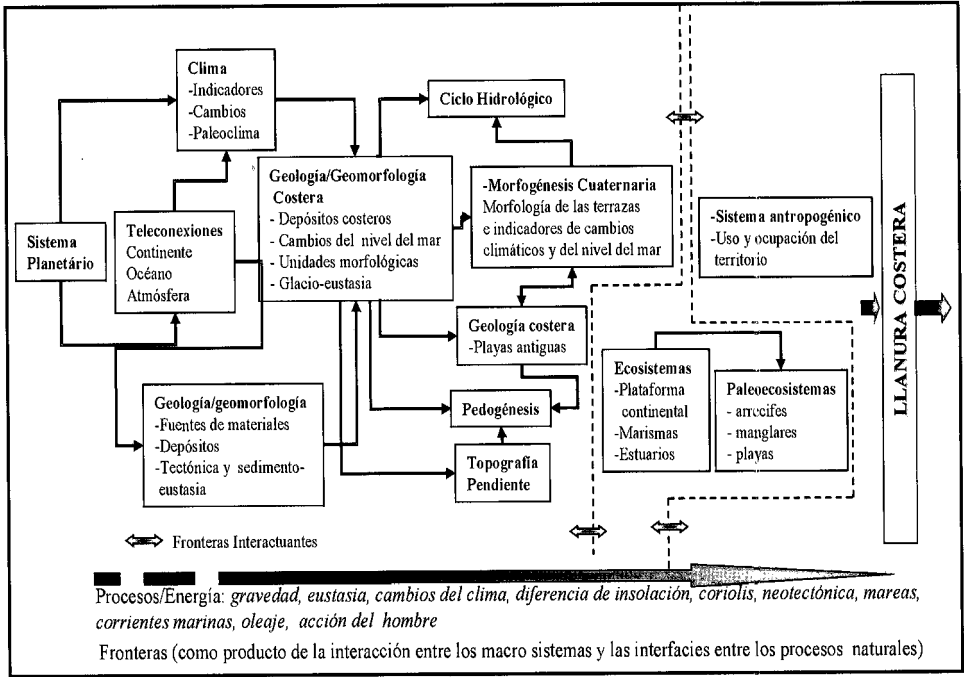


Fig. 4: Delimitación de las *fronteras analíticas* (teleconexiones) y posición de los *geoelementos primarios* en una aproximación metodológica sistémica, para el estudio de terrazas marinas en ambientes intertropicales.

A partir del sistema planetario, con las teleconexiones primarias – continente, océano y atmósfera – fueron señalados los cambios de nivel del mar generados por los fenómenos eustáticos, reflejados en perfecta relación con fluctuaciones del clima y movimientos tectónicos (flujo secundario) y las reacciones ambientales que formaron los macrodepósitos geológicos (continentales, costeros y/o marinos) y sus morfologías asociadas. Han sido también destacados los ecosistemas e interferencias antropogénicas sobre la dinámica del sistema. Por otra parte se debe destacar que los procesos y energía están relacionados fundamentalmente con la energía de la gravedad, distintos niveles de insolución, tectónica, procesos eustáticos, cambios climáticos cuaternarios, ciclos de Milancovitch, mareas, corrientes marinas, oleaje y acción del hombre.

En el diagrama de flujo de la figura 5 se aplicó la propiedad sistémica de la **Divisibilidad** sobre el sistema de la llanura costera. De este modo fueron situados los principales geoelementos con respecto a sus relaciones con el ciclo hidrológico y los procesos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos y ecosistémicos. Estas interacciones

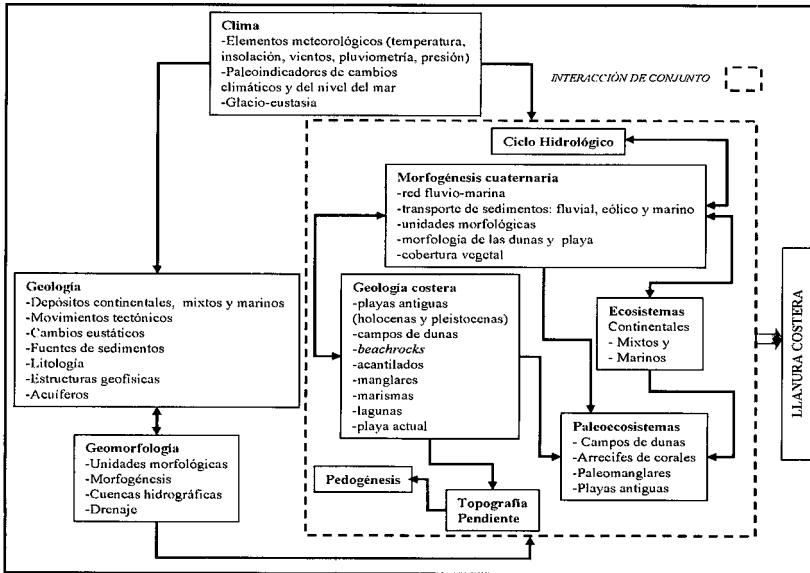


Fig. 5: Individualización de los principales geoelementos de la llanura costera de Ceará, tras aplicar el principio de la propiedad sistémica de la divisibilidad.

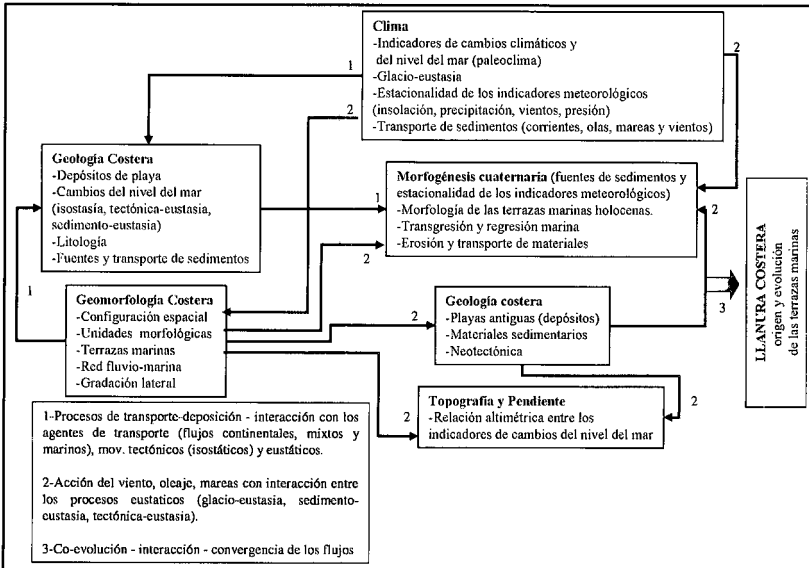


Fig. 6: Principales mecanismos y elementos que controlan el origen y evolución del geosistema de terrazas marinas de Ceará.

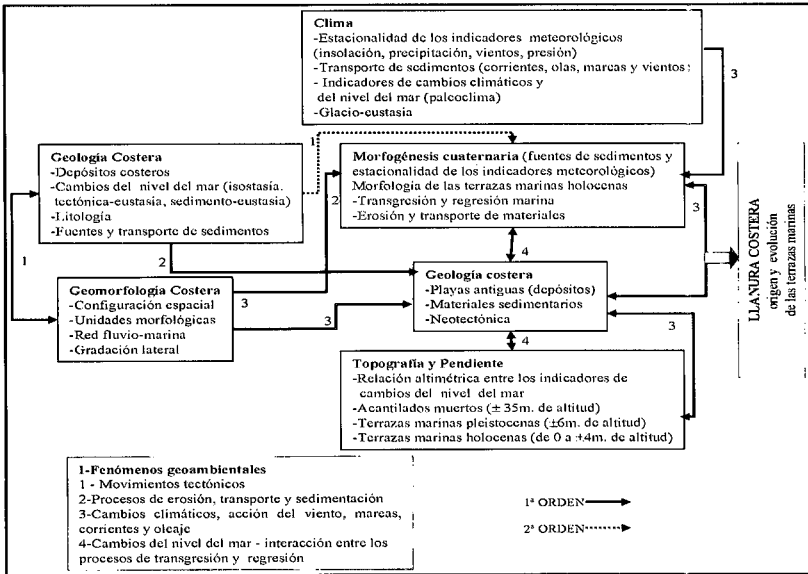


Fig. 7: *Geoelementos y procesos que intervienen en la definición del actual estado físico de las terrazas marinas, consideradas como elementos individuales.*

energéticas fueron responsables del origen de la red fluvio-marina, transporte de sedimentos, terrazas marinas, campo de dunas, manglares, marismas, lagunas, playa actual y cobertura vegetal. Para lograr el enfoque sistémico, con relación a las terrazas marinas, también fueron individualizados los procesos naturales sin la influencia antrópica y las relaciones ecosistémicas, además de las relaciones entre las fronteras climáticas, marinas, tectónicas (procesos endógenos) dispuestas a lo largo de la llanura costera.

En la figura 6 se han diagramado las principales interacciones geosistémicas para la definición de los mecanismos de **Control** del origen y evolución de las terrazas marinas; con la actuación de los procesos de transporte y deposición (interacción con los agentes de transporte y los flujos continentales, mixtos y marinos); movimientos tectónicos (isostáticos) y eustáticos; acción del viento, oleaje y mareas con interacción entre los procesos eustáticos (glacio-eustasia, sedimento-eustasia, tectónica-eustasia). La conexión entre las energías y la convergencia entre los flujos, en constante evolución espacio-temporal, son las que controlan el proceso que originó la llanura costera y por supuesto las terrazas marinas.

La definición de los fenómenos geoambientales, relacionados con movimientos tectónicos (flujos de segundo orden), erosión, transporte, sedimentación, cambios climáticos y acción del viento, corrientes, mareas y oleaje, caracterizan la propiedad sistémica del **Estado** físico (diagrama de la figura 7) de las terrazas marinas. Es importante decir que los cambios del nivel del mar y sus interacciones con la llanura costera, evidentes en los procesos de transgresión y regresión marina, afectan el estado de la morfogénesis y la formación de los depósitos geológicos, incluso con la definición de la altitud de los indicadores morfológicos de estos cambios (acantilados, terrazas pleistocenas y holocenas).

El diagrama de flujo de la figura 8 muestra los diferentes niveles de **Complejidad** del sistema en análisis. Con solo observar el caso de algun flujo directo de primer orden debemos considerar que la misma ecuación de balance de flujo conecta hasta tres procesos. Para la aplicación de este concepto, fueron aislados como geoelemento base las terrazas marinas, ya que ellas son la preposición elemental para la aplicación de la Teoría General de Sistemas. Un análisis más singular a partir de cada uno de los distintos y numerosos geoelementos que componen la llanura costera, tornaría este estudio demasiado complejo. Los cambios del nivel del mar fueron responsables de las complejas reacciones geosistémicas que originaron la llanura costera. Las terrazas marinas están compuestas de diversas estructuras sedimentarias, contenido mineralógico y niveles topográficos que caracterizan directamente estos cambios. A partir del estudio de estos componentes, por ejemplo a través de la confección de mapas temáticos, análisis granulométricos, químicos y dataciones radiocarbónicas pueden también ser identificados los principales niveles de complejidad.

A continuación se ha sistematizado en la figura 9 toda aquella gama de modelos o patrones metodológicos-técnicos que surge de los estudios necesarios para realizar la **Predicción** sobre la evolución del sistema de la llanura costera. Los principales tipos de modelos que se emplean en este tipo de estudios están relacionados con once patrones recurrentes; los cuales nos permiten unas cuantificaciones directas e indirectas y también en otras fases menos experimentales la cualificación.

La propiedad de la **Regulación** del sistema en estudio (figura 10) en buena parte está definida a través del seguimiento de los factores y procesos intervinientes en la génesis del sistema costero. Podrá ser aplicada esta propiedad a través de los métodos directos (dinámica actual) y los métodos indirectos ("paleo" dinámica). Los métodos están relacionados fundamentalmente con la definición de los parámetros climáticos, morfogénesis cuaternaria, geología costera, topografía y pendiente.

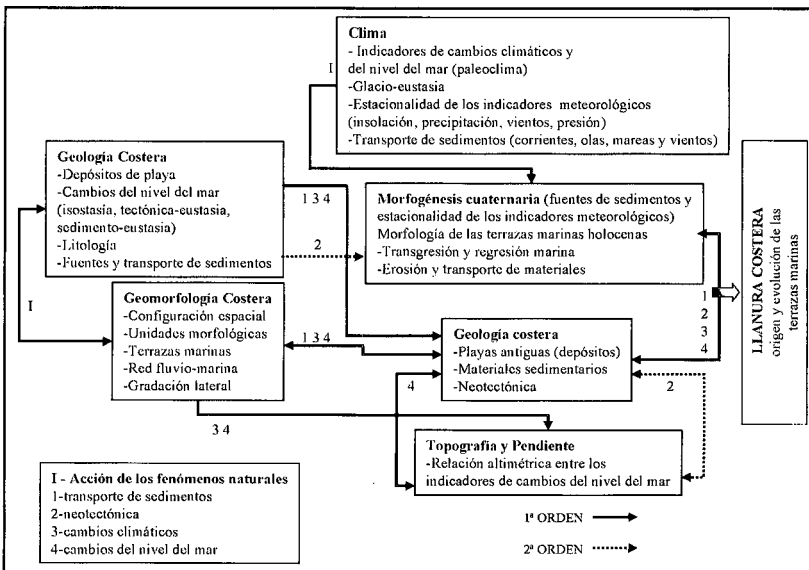


Fig. 8: Los diferentes niveles de complejidad del sistema quedan claramente referenciados, por ejemplo, sólo al aislar como geoelemento primario las terrazas dentro de la llanura costera.

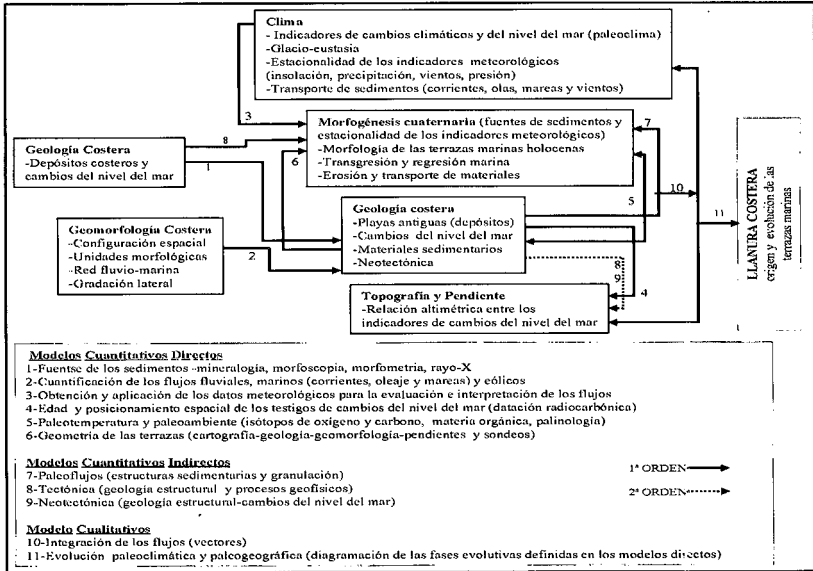


Fig. 9: Tipología de los diferentes modelos que se utilizan en el seguimiento de los procesos geoambientales para **predecir** la evolución de las terrazas.

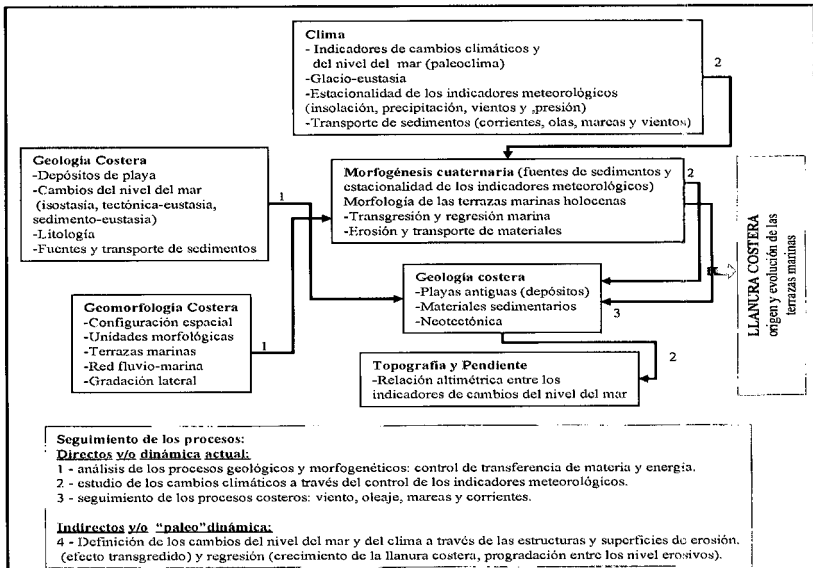


Fig. 10: El análisis de los fenómenos que condicionan los cambios climáticos y su refracción en la variación del nivel del mar permite evidenciar el orden metodológico de los flujos que **regulan** el sistema.

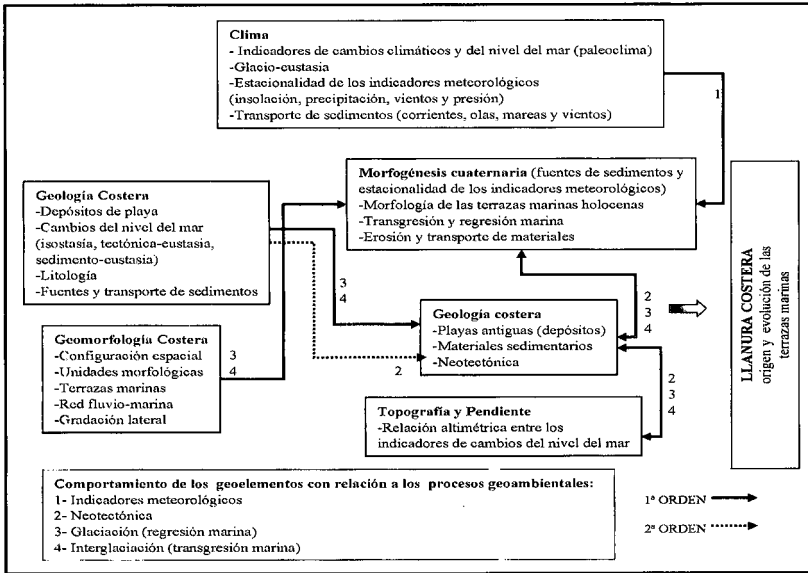


Fig. 11: El comportamiento de los geoelementos del sistema refleja los niveles de interacción que están directamente relacionados con los procesos geoambientales del área.

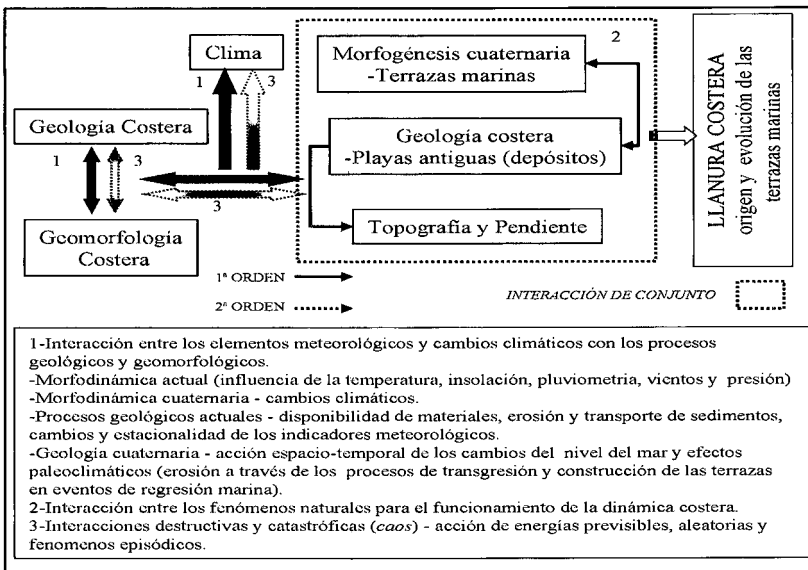


Fig. 12: Sistematización de los diferentes niveles de dependencia definidos por los tres modos principales de interacción

El **Comportamiento** evolutivo del sistema costero (figura 11) ha sido definido principalmente a través de los indicadores meteorológicos, neotectónica (flujo de segundo orden) y los fenómenos relacionados con los periodos glaciales y interglaciales. De esta forma la composición y la jerarquía de los geoelementos han sido delimitadas para la comprensión global de las interacciones posibles que participan en la formación de las terrazas marinas.

El diagrama de flujo de la figura 12, con el mayor nivel de jerarquía/complejidad, presenta los diferentes niveles de **Dependencia** existentes entre los geoelementos y sus interacciones entre los elementos meteorológicos y cambios climáticos, con los procesos geológicos y geomorfológicos; la interacción entre los fenómenos naturales para el desarrollo y manutención de la dinámica costera; y los efectos destructivos y catastróficos (*caos*). Estos últimos pueden ser considerados como fuertes indicadores de dependencia entre los geoelementos para la determinación del origen y evolución de las terrazas marinas.

5. VALORACIÓN FINAL

En la tabla 1 se recoge la evaluación de tratamiento de cuatro de las propiedades sistémicas del sistema costero (control, estado, predicción y regulación). Recordamos que estos resultados surgen del análisis probabilístico multivariable de los geoelementos y sus interacciones caracterizadas por los flujos de primer y segundo orden. Fueron analizados los diferentes grados de relación entre las propiedades de control, estado, predicción y regulación a través de sus interacciones con las variables: clima (clim), morfología cuaternaria (Mocu), geología costera (GeCost), topografía y pendiente (ToPd), neotectónica (Netec), cambios del nivel del mar (CaMar) y litología (Lito). Dada la valoración experimental fueron utilizados constructos para el tratamiento multivariable, con los valores 10 para los flujos de primer orden y 5 para los de segundo orden.

La variable relacionada con los cambios del nivel del mar ha sido la más interactuante, con un valor de 200 para los flujos de primer orden y 25 para los de segundo. Es la responsable en gran parte de las fuerzas generadas y de la dirección de conectividad hacia la complejidad del sistema costero, dentro de los eventos geoambientales en el cuaternario. Ha evolucionado (transgresión y regresión) hacia el estado actual a través de la dependencia entre las interconexiones para el mantenimiento de los procesos actuales. A continuación se situó la geología que ha obtenido una valoración de 190 para los de primer orden y 20 para los de segundo y luego la del clima, topografía y pendiente y morfología cuaternaria. La variable de menor interacción dentro de esta proposición de metodología costera fue la de la neotectónica; que localmente, a lo largo del cuaternario, los eventos tectónicos no actuaron para el origen de geformas directamente relacionadas con los movimientos verticales. La figura 13 presenta un histograma con la suma de los flujos de primer y segundo y en él se ve que los valores obtenidos caracterizan de un modo claro que estamos frente a una aproximación sistémica, pues los constructos alcanzaron valores más de un 50% para los flujos de primer orden (fig. 13, pág. 180).

De un total de 1680 puntos para los flujos de primer orden han sido obtenidos 980, lo que representa un 58,3% del total. Para un total de 840 puntos para los de segundo orden fueron correlacionados 210 (25%). Estos resultados muestran que el diseño de la aproximación metodológica sistémica para el estudio de las terrazas marinas es racional, con el grado de certeza estadística medio-alto.

6. CONCLUSIÓN

En este caso la identificación y definición de los procesos y de las interacciones que se estudian en la llanura costera, surge de la aplicación metodológica de cuatro de las pro-

TABLA I

	Control		Estado		Predicción		Regulación		Suma		
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	
	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	
Clim	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	40		
	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	40		
	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	20	10	
	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec			
	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	40		
	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	20	10	
	Subtotal								160	20	
	MoCu	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	20	
GeCost		GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	40		
ToPd		ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	20	5	
Netec		Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	20	10	
CaMar		CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	40	5	
Lito		Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	20	15	
Subtotal								140	35		
GeCost		Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	20	5
	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	30	5	
	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	30	5	
	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	20		
	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	30	5	
	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	20	10	
	Subtotal								190	20	
	ToPd	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	20	
GeCost		GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	30	5	
MoCu		MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	30	5	
Netec		Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	20		
CaMar		CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	30	5	
Lito		Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	20		
Subtotal								150	15		
Netec		Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim		
	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	20	10	
	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	10	10	
	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	10	5	
	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito		5	
	Subtotal								40	50	
	Lito	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim		10
		ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	10	15
GeCost		GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	40		
CaMar		CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	CaMar	10	5	
Netec		Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec	Netec		15	
Subtotal								100	45		

TABLA I (continuación)

CaMar	Control		Estado		Predicción		Regulación		1°	2°
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt	Orden 10 Punt	Orden 5 Punt
	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	Clim	40	5
	GeCost	GeCost	GeCost	<i>GeCost</i>	GeCost	GeCost	GeCost	GeCost	30	5
	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	MoCu	40	
	Netec	Netec	Netec	<i>Netec</i>	Netec	<i>Netec</i>	Netec	<i>Netec</i>	10	15
	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	ToPd	40	
	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	Lito	40	
	Subtotal								200	25
	SUMA								980	210
	TOTAL								1680	840
	PERCENTUAL								58,3%	25%
Valoración					Variables					
Interacción 1° Orden = 10 Puntos (en negrita)					Clim → Clima					
Interacción 2° Orden = 5 Puntos (en cursiva)					MoCu → Morfología cuaternaria					
					GeCost → Geología costera					
					ToPd → Topografía y pendiente					
					Netec → Neotectónica					
					CaMar → Cambio del nivel del mar					
					Lito → Litología					

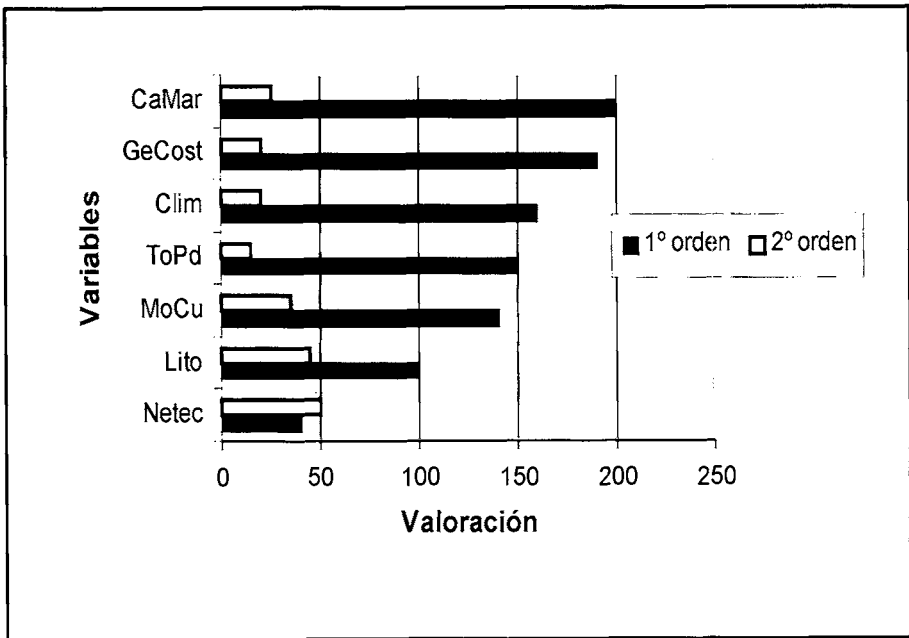


Fig. 13: Histograma con la valoración de interacción de las variables primarias, según sus flujos de primer y segundo órdenes.

piedades básicas de la T.G.S. según la formulación propuesta por Rubio (1995). Esta ha sido hecha a través de la confección de una serie de correlaciones entre los geoelementos y sus interrelaciones, que permiten la proposición del modelo sistémico de evolución litoral paleogeográfico de la costa de Ceará.

El estudio sistémico en ambientes litorales solo es posible realizarlo a través de la definición de los flujos de energía y de las interacciones entre los geoelementos, para lo cual se debe efectuar una efectiva interrelación entre los componentes de cada frontera que definen la llanura costera.

Bibliografía

- ANDRADE, E. 1989. *Mapeamento geológico e geomorfológico da planície costeira de Aracati*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Centro de Tecnologia, 150p. il.
- VON BERTALANFFY, L. 1976. *Teoría general de los sistemas – fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. 1ª ed. en español, 1976, Fondo de Cultura Económica, México, Madrid y Buenos Aires, 311p.
- VON BERTALANFFY, L, ASHBY, W.R. y WEINBERG, G.M. 1978. *Tendencias de la teoría general de sistemas*. Madrid, Alianza (ed.), 1978, 320pp.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; VILAS BOAS, G.S. y FLEXOR, G.M. 1979. "Quaternary marine formations of the coast of the State of Bahia (Brazil)". Simpósio Internacional sobre a Evolução Costeira no Quaternário, São Paulo (SP). *Atas ...* 232-253p.
- CHORLEY, R.J. 1962. Geomorphology and general systems theory. *Theoretical papers in the hydrology and geomorphic sciences*, 1962, 1-9p.
- CHORLEY, R.J. y KENNEDY, B.A. 1971. *Physical Geography: a systems approach*. London: Prentice Hall.
- CROWLEY, T. J. y NORTH, G. 1991. *Paleoclimatology*. Oxford monographs on geology and geophysics, NO 18, 339p.
- EMERY, K. O. y UCHUPI, E. 1984. *The geology of the atlantic ocean*. Springer-verlag, New York, 1984, 925pp.
- FERRER, L. F. 1997. *Del paradigma mecanicista de la ciencia al paradigma sistémico*. Col·lecció oberta, Universitat de València, 1997; 410 pp.
- HEVIA, I. M. 1998. La teoría de sistemas en las ciencias de la tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1998, 6.1 61-72p.
- MEIRELES, A.J.A. 1991. *Mapeamento geológico/geomorfológico da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Estado do Ceará*. Diss. Mestrado, Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife, 1991, 178p. il.
- MEIRELES, A.J.A. y MORAIS, J.O. 1994. "Land use and establishment in stretches of cliffs in the east littoral of Ceará State, Northeastern Brazil". XIV International Sedimentological Congress, IAS 94, Recife/PE. *Abstracts...* J 30-31p.
- RUBIO, R. P. 1995. *Los estudios del paisaje y la teoría de sistemas*. En cambios regionales a finales del siglo XX. "XIV Congreso Nacional de Geografía" de la A.G.E. pp. 95-98. Salamanca.
- RUBIO, R. P. 1995. *Sistematización de los estudios de paisaje*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. 300 pp. Universitat de Barcelona.
- RUBIO, R. P. 1996. "La teoría general de sistemas y el paisaje". *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, nº 41, vol. XI, 91-104p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. y AZEVEDO, A.E.G. 1985. "Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira". *Rev. Bras. Geoc.*, 15 (4): 273-286p.
- TRICART, J. & KILIAN, J. 1979. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Librairie François Maspero, Paris 1979, 1ª ed. 319pp. il.
- URIEN, C.M. 1980. "Modelos deposicionais na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (Brasil), Uruguai e Buenos Aires (Argentina)". *Notas Técnicas*. CECO, UFRGS, Porto Alegre 2: 13-25p.

Resumen. Geomorfología litoral: una proposición metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará, noreste de Brasil.

Después de una breve reflexión de cómo se ha aplicado la teórica idea de sistemas en las ciencias de la tierra, se plantea cómo realizar el ordenamiento y valoración de una aplicación sistémica en la llanura costera de Ceará (Brasil). Se confeccionó una serie de diagramas con todos los geoelementos y procesos interactuantes y se valoró el grado de interacción según el nivel de aplicación de cuatro de las ocho propiedades de la Teoría General de Sistemas (divisibilidad, control, estado, complejidad, predicción, regulación, comportamiento y dependencia). La valoración final de los flujos apunta a que este tipo de orientación metodológica está claramente incluida dentro de los estudios sistémicos.

Resumo. Geomorfologia litorânea: uma proposta metodológica sistêmica para a planície costeira do Ceará, nordeste do Brasil.

Depois de uma breve reflexão de como foi aplicada a teórica ideia de sistemas nas ciências da terra, planteamos como realizar o ordenamento e valoração de uma aplicação sistêmica na planície costeira de Ceará (Brasil). Foram confeccionados uma série de diagramas com todos os geoelementos e processos interactuantes e valorado o grau de interação segundo o nível de aplicação de quatro das oito propriedades da Teoria Geral de Sistemas (divisibilidade, controle, estado, complexidade, predição, regulação, comportamento e dependência). A valoração final dos fluxos aponta que este tipo de ordenação metodológica está claramente incluída no universo dos estudos sistêmicos.

Abstract. Littoral geomorphology: proposal for a systemic methodology in the coastal plane of Ceará, northeastern Brazil.

Following a brief reflection on the application of the theory of systems to the sciences of the earth, we examine how to carry out the ordenation and evaluation of application in the coastal plane of Ceará (Brazil). A series of diagrams was drawn containing all the geoelements and interacting processes, and the degree of interacting was evaluated according to the level of application of four of the eight properties of the General Theory of Systems (divisibility, control, state, complexity, prediction, regulation, behaviour and dependence). The final evaluation of the fluxes indicates that this type of methodological approach is clearly included within the universe of systemic studies.