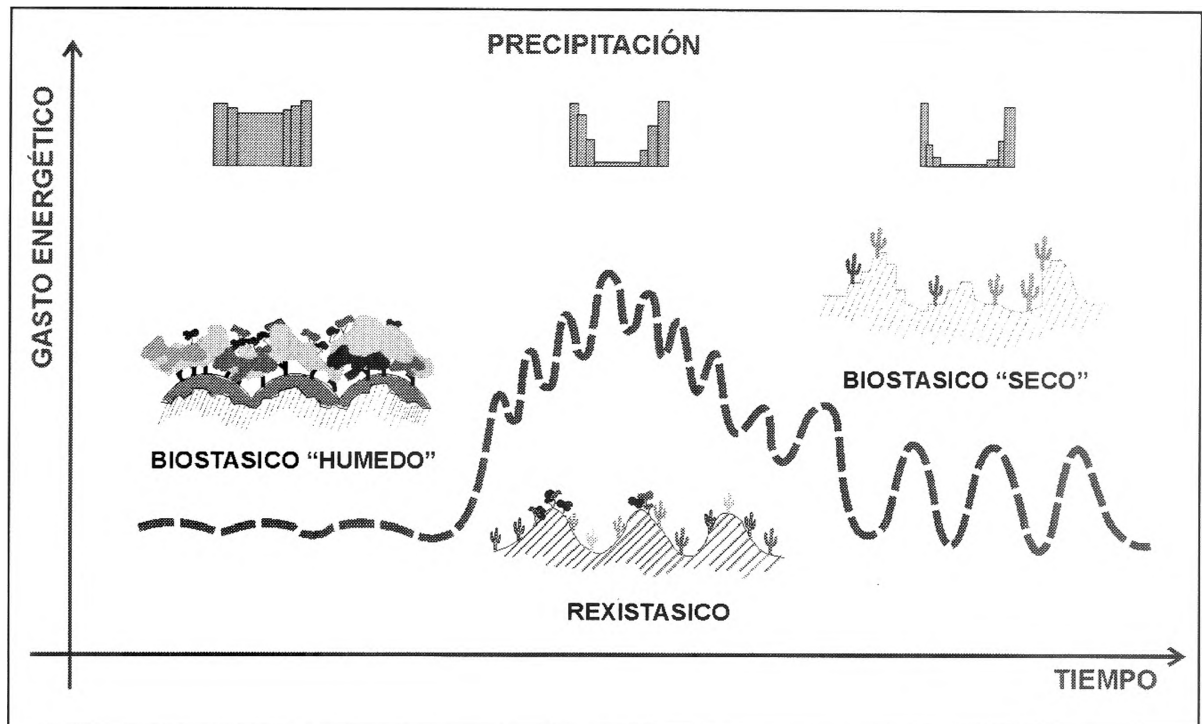


CURSO: EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y SU INFLUENCIA EN LA REGIÓN NEA

- Resistencia 26 de agosto de 2006
- Por Ing. Dr. Eliseo Popolizio



· **Unidad Académica:**

Facultad de Humanidades, UNNE

· **Organiza**

Centro de Estudiantes Facultad de Humanidades

· **Conducción**

Franja Morada

Contenidos

- Importancia del clima en la Geografía
- La Teoría de Sistemas y los conceptos de estado medio y oscilación. Equilibrio dinámico y desequilibrio
- El concepto de “cambio” y las posibles formas de presentarse
- Los paradigmas uniformitarista y catastrofista
- Las lecciones de la Geología Histórica. El registro climático
- El Calentamiento Global, sus posibles causas y efectos planetarios
- Los últimos 100.000 años en el NEA
- Los efectos de un cambio climático en el NEA, en base a los escenarios posibles y a los datos disponibles

Importancia del clima en la Geografía

El hombre, como sujeto de la Geografía, habita un planeta muy particular en el Sistema Solar, caracterizado por la existencia de agua en sus tres estados y una atmósfera compuesta principalmente por nitrógeno, oxígeno y vapor de agua, lo cual permite el desarrollo de los seres vivos.

Entre estos dos sistemas mencionados y el litosférico, o corteza terrestre, existe un delicado acople, logrado luego de millones de años de evolución, de manera que el estado de la atmósfera y su comportamiento no pueden ser analizados independientemente sino como parte de la Geodinámica cortical. (Fig. 1)

Esos estados y comportamientos de la atmósfera a través del tiempo han influido de manera extremadamente significativa en los modos de vida, en la historia y los desplazamientos del hombre en el largo proceso de la organización del espacio, campo de estudio de la Geografía, tan bien expuestos en el trabajo “La trama geológica de la historia humana.” (...).

El efecto de las glaciaciones del Cuaternario, en el mediano plazo, o de la Micro-Era glacial, en el corto tiempo, son los ejemplos más significativos, pero no los únicos, ya que pequeños sucesos de menor duración, como las grandes sequías, han originado desplazamientos de la población o crisis económicas, bien conocidas en la historia humana.

Desde las cosechas hasta la indumentaria, desde la vivienda hasta los cálculos de las mega-estructuras están condicionadas por el clima y gran parte del esfuerzo humano está orientado a convivir con las cambiantes situaciones climáticas y sus efectos, como las precipitaciones, las tormentas, el granizo, los huracanes, etc.

De esta manera, el conocimiento del comportamiento del clima es imprescindible no solamente para los geógrafos sino, en mayor o menor medida, para la mayoría de la población. El desarrollo de ésta y la tecnología está interactuando con el propio clima en forma cada día más efectiva y peligrosa.

Primeramente, debemos tener en cuenta los aspectos planetarios que influyen en el clima y el comportamiento atmosférico, ya que La Tierra realiza muchos movimientos en el espacio, que modifican la cantidad de energía que llega a la superficie y a la alta atmósfera.

El eje terrestre se encuentra inclinado con relación al plano de la eclíptica unos 23° 27' y por ello, al trasladarse alrededor del Sol, las estaciones en ambos hemisferios son opuestas y las estaciones no tienen la misma duración, a consecuencia de la relación de la órbita con la línea de los equinoccios.

Si bien, debido a la distancia y al tamaño del Sol, los rayos solares se pueden considerar paralelos, ellos inciden sobre una superficie esférica, de manera que forman ángulos diferentes en función de la latitud y de las estaciones y por lo tanto, la energía recibida por unidad de área varía según los puntos.

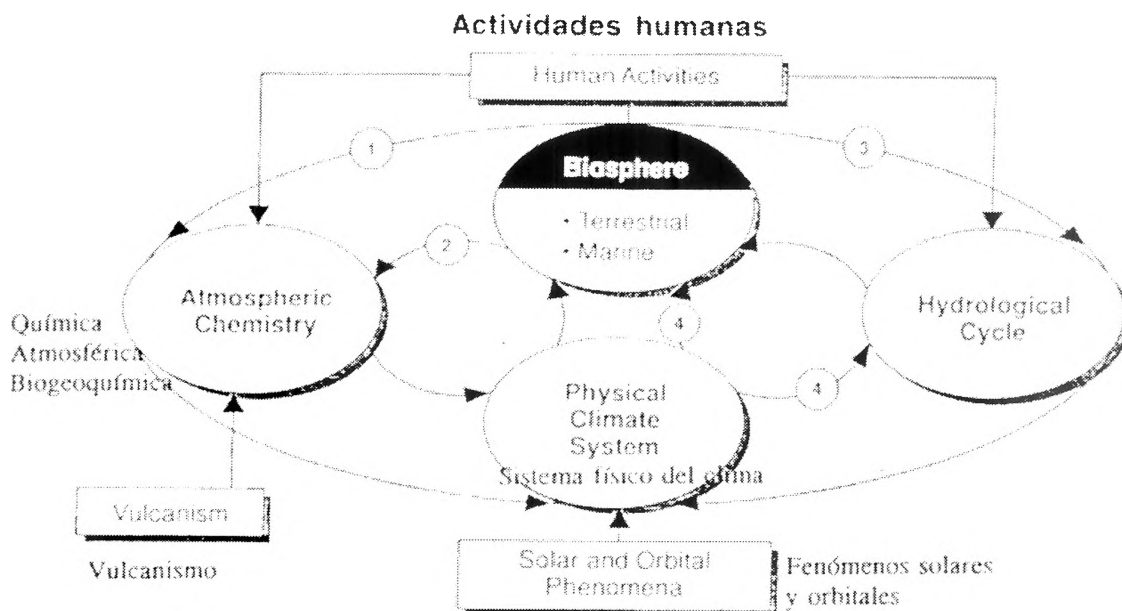


Fig.1: Diagrama esquemático de los principales elementos del sistema terrestre acoplado.
Fuente: Ricciardi, H. 1995.

El eje terrestre también tiene otros movimientos: la Nutación, u oscilación a consecuencia de la atracción de La Luna, que gira en un plano inclinado con relación al Ecuador, y la Presesión, es decir el movimiento retrógrado de la Línea de los Equinoccios, a causa de que el eje terrestre describe una especie de doble cono en unos 27.000 años. (Fig. 2)

Además, la excentricidad de la elipse varía en el tiempo y la línea de los Equinoccios se desplaza en sentido contrario a la Línea de los Ápsides, haciendo que la duración de las estaciones cambie. (Fig. 3)

Es fácil comprender que estos movimientos afectan la cantidad de energía que recibe el planeta a lo largo de los años y por lo tanto, que su temperatura media cambie, como bien lo registran los hechos geológicos y ello suponiendo que la Constante Solar sea realmente una constante

Como estos movimientos tienen duraciones diferentes, sus efectos en conjunto también cambian con el tiempo

A esta alta variabilidad espacial deben sumarse los cambios debidos al acople con otros sistemas, tales como el efecto de las cenizas y aerosoles emitidos por los vol-

canes, la reflexión de los rayos solares, o Albedo, según la extensión de las masas de agua y hielo, y especialmente el intercambio de gases entre el océano y la atmósfera, que todavía no se ha podido medir con exactitud. (Fig. 4)

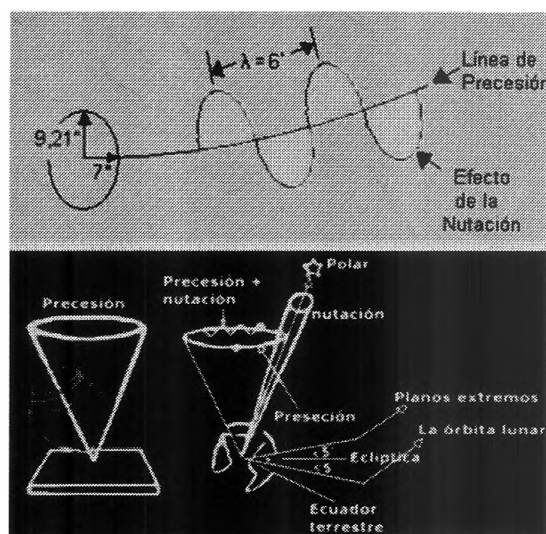


Fig. 2: Efectos de la precesión y la nutación en desplazamiento del planeta.

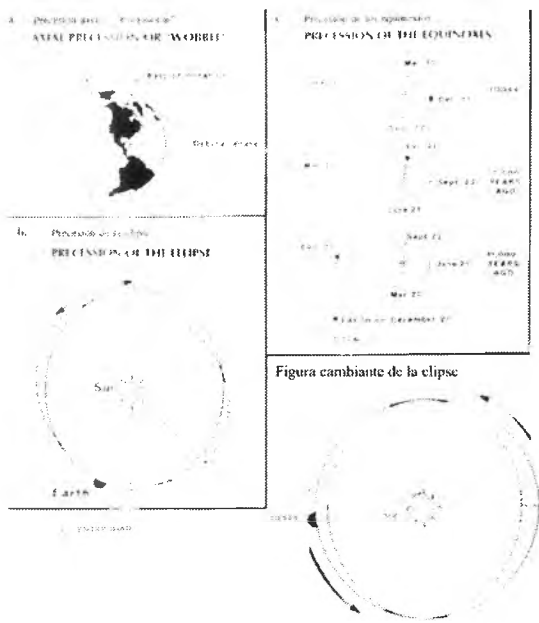


Fig. 3: Movimiento de la tierra en el espacio. Fuente: Ricciardi, H. 1995.

La Teoría de Sistemas y los conceptos de estado medio y oscilación. Equilibrio dinámico y desequilibrio

Los conceptos resumidamente expuestos no permiten ver que, entre los sistemas mencionados, incluso el espacio, existen mecanismos de retroalimentación y por lo tanto, que el clima es un sistema abierto, con relaciones circuitales; por lo tanto, se le puede aplicar los conceptos y el enfoque de la Teoría General de Sistemas para entender dichos cambios.

Ello nos lleva a distinguir claramente el concepto de Equilibrio Dinámico del Estado Constante y del Valor Medio.

Todos los sistemas oscilan entre dos umbrales, denominados de Percepción y de Irreversibilidad, y deben hacerlo para adecuarse a la influencia de los parámetros externos. Esa diferencia entre ambos umbrales se denomina Amplitud de Oscilación la cual puede ser muy diferente para cada sistema.

No obstante, al margen de lo anterior, los sistemas tienen mecanismos internos de autorregulación (homeóstatos), que le permiten mantenerse entre los umbrales, es decir que el sistema, sin ayuda externa, se autocontrola y si se conocen todas las varia-

bles es posible calcular su estado posterior; es decir que se trata de una Etapa Determinada y el sistema está en Equilibrio Dinámico, gastando la mínima energía compatible con sus características.

La Media de los estados no sirve para caracterizar al sistema, ya que pueden existir varios que oscilen de manera diferente y sus valores medios coincidan; es la Amplitud de Oscilación y el Comportamiento en el Tiempo (“pulso”) lo que diferencia a aquellos que presentan un valor medio igual; siendo necesario tener especial atención en los valores máximos y mínimos que definen los umbrales.

Si un sistema mantiene constantes sus valores, no funciona, de allí que se hable de Equilibrio Dinámico u Oscilación Autocontrolada alrededor del valor medio

Se necesita una cierta intensidad de los parámetros externos para que el sistema perciba el cambio (Percepción) y comience a reaccionar, lo cual es muy importante a tener en cuenta con el clima. Si la intensidad (Impacto) de los parámetros externos supera cierto umbral (Irreversibilidad) el sistema no puede regresar por si solo al estado de equilibrio; comienza a oscilar aleatoriamente y ya no se puede predecir su estado posterior sino solamente su probabilidad. El sistema ingresa entonces a una Etapa Estocástica o Probabilística y no puede por si mismo volver al estado anterior. (Fig. 5)

Se debe tener cuidado al hablar de “oscilación”, a fin de no confundirla con “ciclo”, porque no toda oscilación es cíclica, es decir que vuelve al estado inicial para repetir el comportamiento. En los sistemas naturales esto es difícil porque tienen “memoria”, es decir, que los acontecimientos pasados influyen en el comportamiento futuro.

El concepto de “cambio” y las posibles formas de presentarse

Emplear la palabra “cambio” para el clima, puede no haber sido muy feliz, pero lo que está ocurriendo es realmente eso y

por lo tanto, ¿qué significa “cambio”? es un punto fundamental para entendernos y tam-

bién, ¿de qué tipo de cambio se está hablando?

El ciclo del agua y el clima

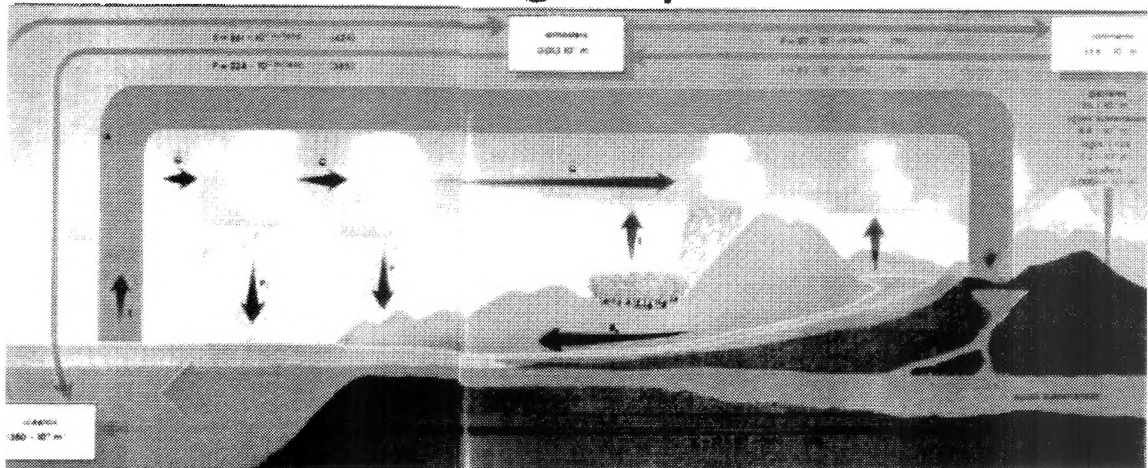


Fig. 4: Acople entre la atmósfera, el océano y el continente. Fuente: Mundo Científico.

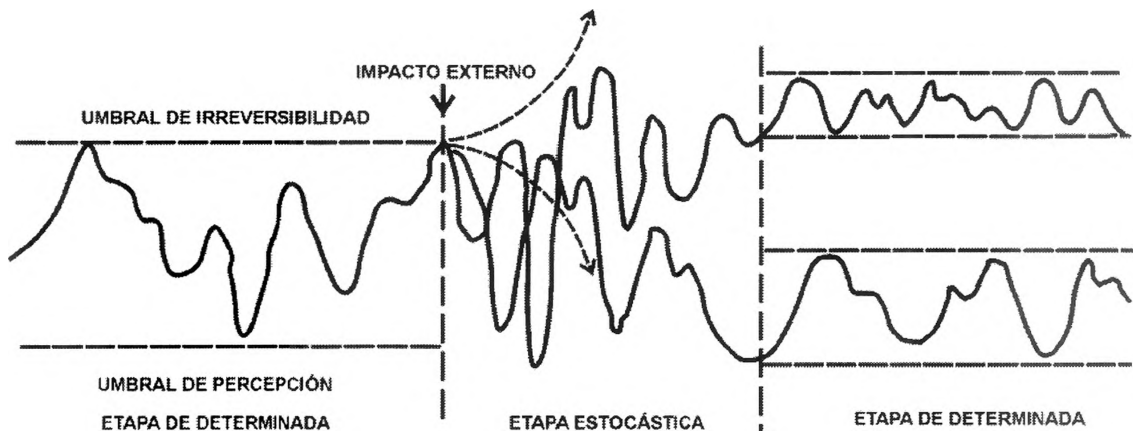


Fig. 5: Comportamiento de los sistemas en estado de equilibrio dinámico y de desequilibrio. Fuente: Popolizio, E.

El cambio no es otra cosa que el paso de la Potencia al Acto, es decir, de lo que se puede ser a lo que se termina siendo. Todo cambio implica necesariamente un gasto de energía y por lo tanto sigue la flecha del tiempo, debido a que parte de esa energía se pierde (no puede realizar trabajo) como Entropía.

El cambio requiere un Agente que origine un recorrido temporal-energético, denominado: Proceso, marcado por las sucesivas posiciones que va adoptando el sistema en el tiempo, hasta concretar el acto.

En la Fig. 6 se intenta esquematizar el cambio desde la Potencia al Acto. Toda la energía disponible está representada por la

variación de la posición en el campo gravitacional. El agente inicia el cambio y se van sucediendo diferentes Estados, cuya secuencia constituye el Proceso

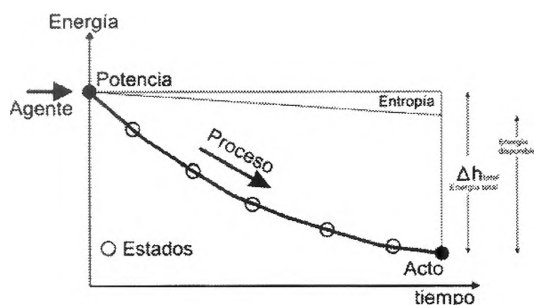


Fig. 6: desarrollo de un proceso en el espacio tiempo. Fuente: Popolizio, E.

En el caso del clima el agente o ingreso paramétrico puede venir desde cualquiera de los sistemas, externos o internos y el proceso puede ser muy diferente en cada caso.

La pregunta fundamental es si los cambios son graduales y lentos o bruscos y rápidos y hay una idea muy generalizada de que son lentos y poco perceptibles, pero el registro geológico parece indicar otra cosa.

Para entender esto, es necesario distinguir las variaciones que se dan durante la etapa determinística, o donde el sistema está en equilibrio dinámico. Las primeras no son más que eso, y el sistema puede seguir funcionando porque los homeóstatos tienen capacidad de control. Eso se puede considerar como comportamiento “normal”, al margen de que las variaciones, con referencia al valor medio, sean muy grandes. Ello se puede verificar porque el sistema sigue cumpliendo su función.

Un ejemplo es el comportamiento de los ríos, que son sistemas de transporte, es decir que su función es transportar y como los ingresos (Lluvias y sedimentos) son variables, los valores de caudal y altura también varían, para poder transportar eficientemente toda el agua y los sedimentos.

De allí que cuando a una creciente extrema se la denomina “anormal”, eso no tiene nada que ver con el comportamiento del curso, que es normal, ya que la normali-

dad se determina por la capacidad del sistema para seguir cumpliendo su función y no por el estado que alcance dentro de su amplitud natural.

Los paradigmas uniformitaristas y catastrofistas

Hay varios tipos de cambios: puede ser gradual, es decir por variaciones continuas, o puede ser a saltos, es decir por variaciones bruscas; ello ha llevado en las ciencias naturales a las teorías Determinista y Catastrofista que representan dos paradigmas científicos aparentemente opuestos y excluyentes.

La Teoría de Sistemas permite ver que en realidad son como las dos caras de una moneda, es decir que para que haya un cambio en los sistemas naturales es necesario pasar por una etapa estocástica, como la que mencionamos

En efecto, recordando lo expuesto, si un sistema está en equilibrio dinámico y la influencia paramétrica lo obliga a superar el umbral de irreversibilidad, el sistema ya no puede seguir funcionando eficientemente y entra a oscilar aleatoriamente, en busca de una nueva situación de equilibrio.

Durante esta etapa (estocástica), los mecanismos homeostáticos van cediendo y se pueden originar procesos de retroalimentación positiva (efecto de bola de nieve), que pueden dar lugar a que el sistema se excite cada vez más y se rompa, o bien que se frene cada vez más y se paralice, en ambos casos deja de funcionar.

Sin embargo, en una busca “alocada” del equilibrio, oscila violentamente, gastando gran cantidad de energía y aumentando la amplitud hasta que encuentra un estado posible de equilibrio. Este proceso puede darse en largo tiempo, por pequeños saltos (función escalonada), o bruscamente en muy corto tiempo. (Fig. 5).

Un ejemplo muy interesante de lo que venimos exponiendo es el correspondiente a la Teoría de la Bio-rexistasia, que esquematizamos en la Fig. 7.

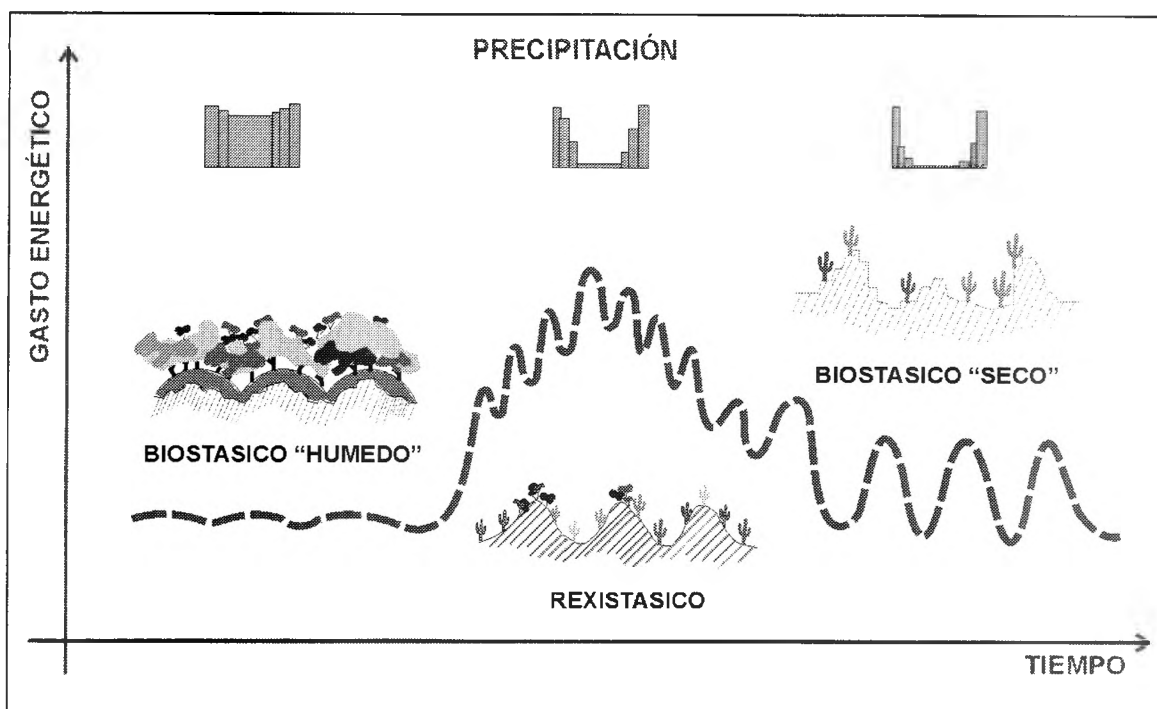


Fig. 7: Esquema de la teoría de la Bio-Rexistasia aplicada a la Geomorfología, indicando en trazos el gasto energético del sistema geomórfico.

Esta teoría, elaborada inicialmente para los estudios edafológicos, se correlaciona muy bien con la Teoría de Sistemas y con los cambios climáticos.

En la figura se ha indicado en el eje horizontal el tiempo y en el vertical el gasto energético del sistema, que puede medirse mediante varios métodos (por ejemplo mediante la cantidad de toneladas de sedimentos que son erosionados por año y por hectárea) y que se indica con línea de trazos

Cuando el paisaje está en equilibrio dinámico gasta muy poca energía y los cambios son muy lentos, de manera que si consideramos un sistema de modelado "cálido y húmedo" (por ejemplo el de la selva pluvial), podemos observar que el ingreso del universo climático (la lluvia) es muy alto todos los meses del año, sin estación seca.

El relieve adopta la forma de un mar de colinas y las rocas están cubiertas por un espeso manto de meteorización y suelos, aflorando únicamente en algunos lechos fluviales y la fisonomía de selva cubre totalmente el relieve.

Como resultado de ello, las altas precipitaciones son retenidas en gran parte por la vegetación y llegan al suelo como llovizna, infiltrándose en su mayor parte para alimentar subterráneamente a los cursos fluviales; el escurrimiento superficial y sub-superficial es laminar, reducido y casi no tiene capacidad de erosión, por el freno de la vegetación y la falta de material grueso.

Las aguas de los arroyos y ríos tienen muy pocos sedimentos y su capacidad de erosión lineal (o encajamiento) es casi nula, de manera que las cataratas y rápidos retroceden lentísimamente. Todo el sistema funciona "en base" es decir, que las variables varían poco a lo largo del año

La temperatura, la precipitación, la humedad relativa, la erosión, y las otras variables responden a este tipo de funcionamiento; la vegetación y los animales se adaptan a esta escasa oscilación; a esta etapa de equilibrio dinámico se denomina Biostasia

Si se produce un cambio climático significativo, los homeóstatos no pueden

seguir controlando el sistema y se inicia una etapa rexistásica, donde el sistema gasta gran cantidad de energía, en busca de un nuevo equilibrio con las nuevas condiciones climáticas imperantes

La vegetación empieza a morir y no puede resistir a las invasoras y a las plagas, de manera que el manto vegetal empieza a ralearse, perdiendo la capacidad de intercepción de lluvia y los procesos de erosión y movimientos colectivos arrastran los suelos y la regolita. Todo ese material va hacia los cursos, los cuales aumentan su capacidad de erosión y de encajamiento, se vuelven turbios y con régimen torrencial.

Los animales tienden a emigrar y los que no pueden hacerlo serán reemplazados por invasores, mejor adaptados a las nuevas condiciones

Poco a poco, la biota y la morfología se van adaptando a las nuevas condiciones, dirigiéndose a un nuevo estado de equilibrio dinámico (Biostasia), diferente al anterior; en el ejemplo, un sistema de modelado desértico o semidesértico, que gasta más energía y trabaja "en punta", es decir que todas las variables tienen gran amplitud de variación y lo mismo ocurre con la vegetación y los animales.

El hombre aun no puede cambiar el clima, pero puede modificar los ecosistemas y de manera indirecta dar origen a lo que se denomina: Rexistasia Antrópica, de lo cual abundan los ejemplos actuales y en la historia del hombre sobre el planeta.

De manera que con relación al clima es necesario ver en que estado está (determinado o estocástico), y esto no es tan sencillo, razón por la cual tanto se discute sobre el Cambio Climático global.

Como hemos visto, el verdadero cambio no es cualquier cambio, debe indicar el paso de un estado de equilibrio a otro posible, que solamente se puede predecir, pero no determinar, es decir, necesita que se elaboren escenarios posibles y se haga un seguimiento de la dirección o el estado más probable.

En las condiciones de equilibrio dinámico, la Teoría del Uniformitarismo tiene plena vigencia, en cambio en la etapa estocástica vale la Teoría Catastrofista y en la naturaleza todo indica que ambas tienen lugar, como las caras de una moneda.

De manera que, si se está dando el Cambio Climático Global, debe ser mucho mayor que en una etapa determinada y tener ciertas características, tales como: ser altamente impredecible, gastar mucha más energía, presentar saltos muy bruscos en su comportamiento, etc.

Las lecciones de la Geología Histórica. El registro climático

Debemos reconocer que los registros climáticos cuantitativos y globales tienen un record muy corto y además, que los datos no están igualmente distribuidos sobre la superficie del planeta, en los océanos y los desiertos ellos son escasos, muchos de los records están cortados o los datos no son confiables, la interacción océanos-atmósfera dista mucho de ser conocida.

A pesar de los enormes avances tecnológicos, apenas si podemos hacer predicciones más o menos ciertas para pocos días y algunos fenómenos y sus trayectorias siguen presentándose como aleatorios.

La Geología, la Geomorfología, la Paleoclimatología y otras ciencias afines nos permiten conocer, a ciertas escalas, como fueron las condiciones del clima, miles o millones de años atrás. (Fig. 8)

Las Figs. 8 y 9 permiten apreciar que el clima terrestre nunca se mantuvo constante en intervalos diferentes y que en algunos casos los cambios fueron muy rápidos. Un ejemplo de ello es el haber encontrado restos de Mamuts (antecesores de los elefantes) en los hielos de Siberia, perfectamente conservados y que estaban comiendo pasto cuando se produjo un rapidísimo cambio térmico. Algo semejante debe haber ocurrido durante las tres grandes extinciones de especies a lo largo de la historia del planeta, de la cual la más difundida es la de la extinción casi total de los reptiles, a fines del Mesozoico y que

fue acompañada por casi el 50 % de las especies

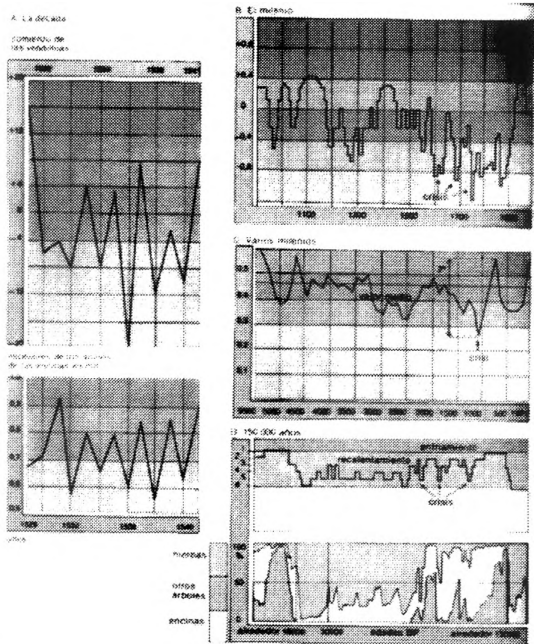


Fig. 8: Crisis climática a diferentes escalas de tiempo. Fuente: Mundo científico.

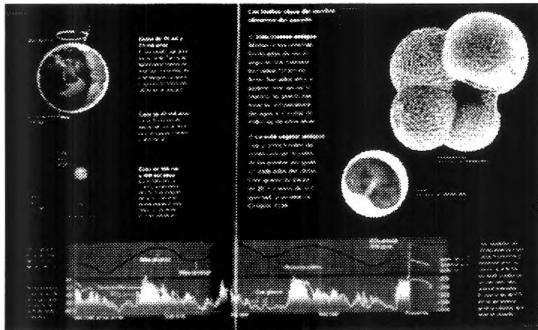


Fig. 9: Fuente: Nacional Geographic, vol. 15 N° 3 2004.

En los sistemas naturales, hemos visto que si el impacto externo es muy grande los homeóstatos pueden ceder muy rápidamente y el cambio climático puede producirse bruscamente (este argumento fue usado en la película “El día después de mañana”)

En nuestra región ya se disponen de suficientes datos como para conocer que, durante el Cuaternario, las condiciones climáticas cambiaron notoriamente. En correlación cronológica con las glaciaciones del

Hemisferio Norte el clima se volvió más cálido y seco y la selva y los parques se desplazaron hacia el NE, instalándose condiciones semidesérticas o desérticas. Lo contrario ocurrió durante los periodos interglaciares, es decir que esas fisonomías avanzaron hacia el SW y se instalaron condiciones de selva.

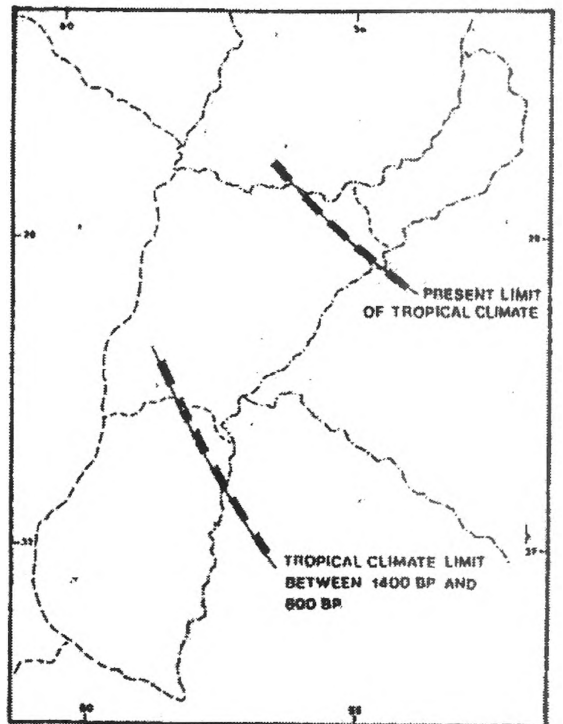
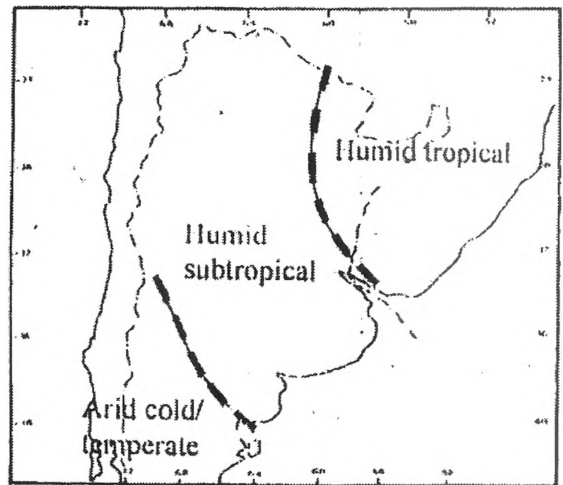


Fig. 10: condiciones paleoclimáticas entre 8.000 y 3.500 años BP (arriba) y mapa mostrando la extensión de las condiciones tropicales entre 1.400 y 800 años BP (abajo). BP= desde el presente.

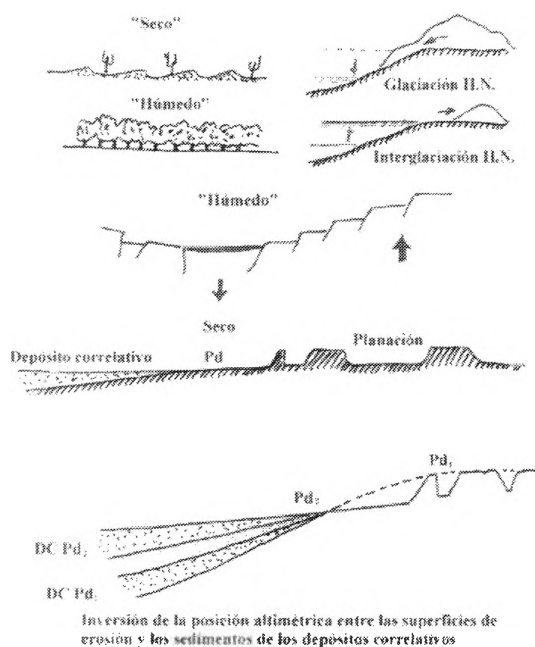


Fig. 11: relaciones entre las variaciones del nivel oceánico, el ascenso epirogénico y las glaciaciones con los cambios climáticos, indicando la correlación entre los pediplanos y los depósitos correlativos, para la región.

En un trabajo que realizamos sobre la Geomorfología de la Meseta Misionera,

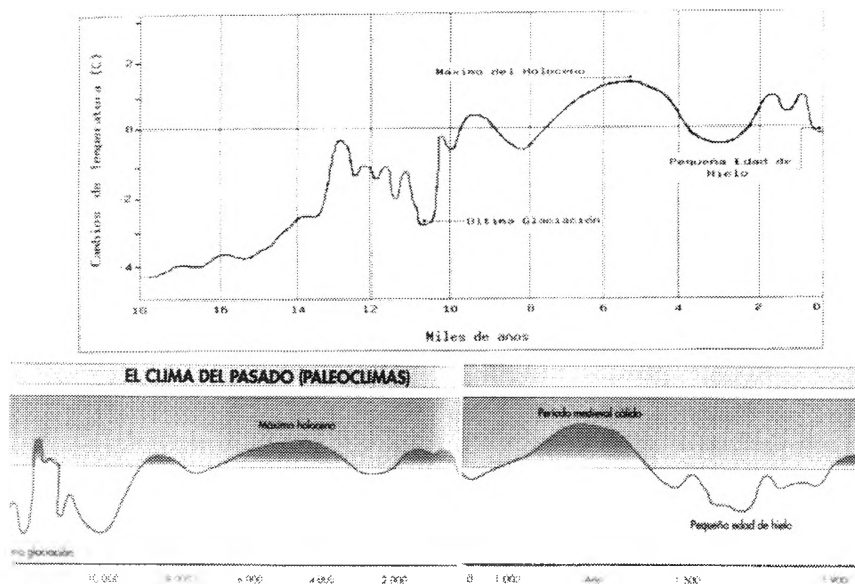


Fig. 12: Variación de la temperatura media desde la última glaciación y descenso térmico de la pequeña edad de hielo.

hemos indicado, ya en aquel entonces, la secuencia de sistemas de modelado diferentes y su respuesta en la morfología, lo cual fuimos ampliando en trabajos posteriores.

La Fig. 10 es muy significativa para ver hasta donde se desplazó la selva subtropical entre 8.000 y 3.500 años atrás y esas modificaciones se manifiestan aún en las comunidades vegetales.

Es necesario tener presente que, durante las glaciaciones el nivel de los océanos descendió muchos metros y viceversa, modificando totalmente los niveles de base de las redes fluviales exorreicas, la superficie evaporante y las corrientes marinas. (Fig. 11)

Pero en periodos muchos más próximos a nuestros días, el clima cambió marcadamente, como durante la denominada "Pequeña Era Glaciar" (Fig. 12). Existen registros históricos que corroboran lo dicho. Durante esos tiempos, los vientos eran mucho más fuertes en la Pampa y la travesía desde Buenos Aires a Tucumán era muy difícil, ya que los ríos estaban casi secos y las aguas muy salobres, en tanto que la Laguna Mar Chiquita era un gran barrial.

El río Paraná llegó a estar tan bajo que los buques a vela no lo podían navegar a la altura de Santa Fe.

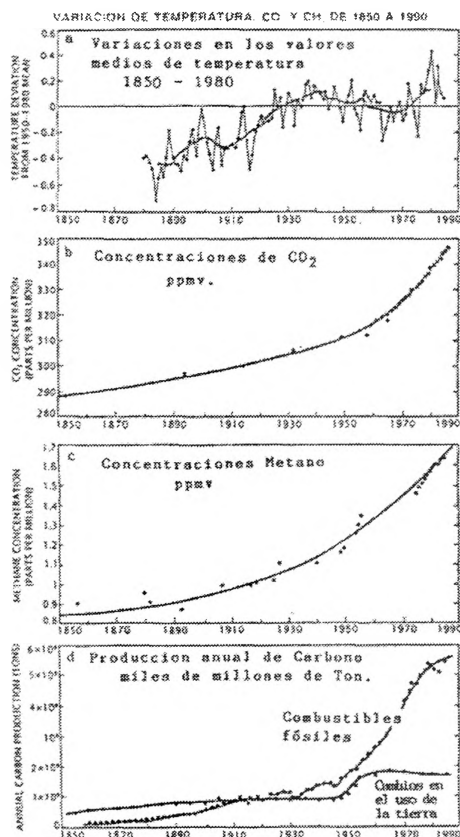


Fig. 13: efecto de los gases invernaderos y de los combustibles fósiles.

El Calentamiento Global y sus posibles causas y efectos planetarios

El calentamiento global parece haber comenzado a manifestarse a fines de la década del 60' y desde entonces comenzaron a hacerse estudios más rigurosos sobre un posible cambio climático a causa del Efecto Invernadero, originado por la presencia de gases y vapores en la atmósfera que frenan la pérdida de calor hacia el espacio y originan un aumento de la temperatura media del planeta, uno de ellos es el Dióxido de Carbono y le siguen una serie de aerosoles y el metano, cuya concentración se viene midiendo sistemáticamente. Las Figs. 13 y 14 son representativas al efecto.

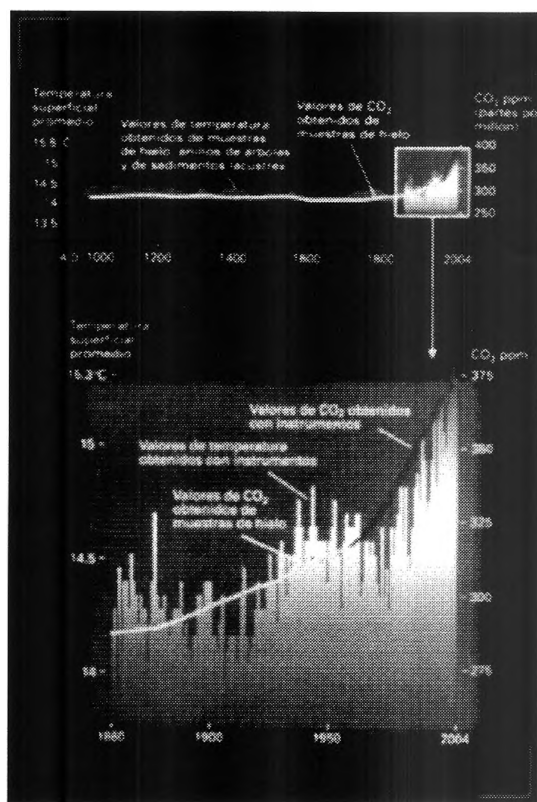


Fig. 14: Aumento de la temperatura y la relación con los valores de CO₂

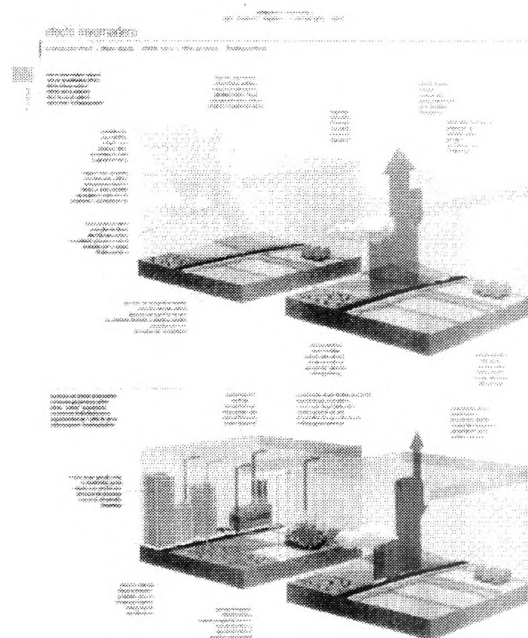


Fig. 15: Efecto invernadero natural y antropológico.

Recordemos que el efecto invernadero siempre existió en el planeta (Fig. 15), de lo contrario la temperatura media sería sensiblemente más baja y que el calentamiento global se asocia con un aumento de los gases y elementos que disminuyen la pérdida de calor hacia el espacio exterior (Fig. 16)

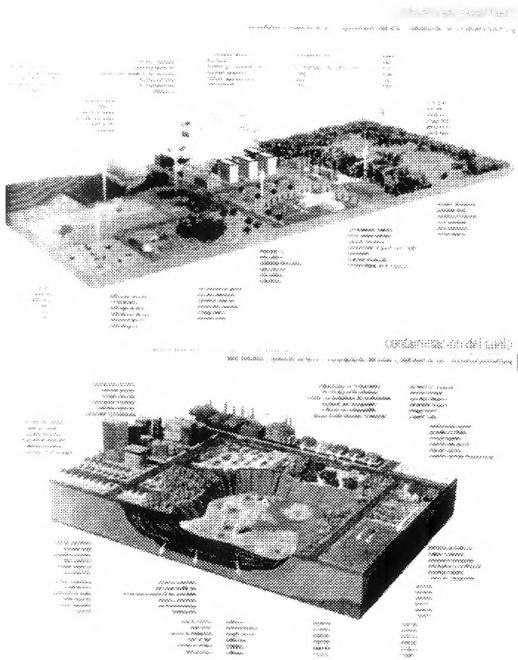


Fig. 16: Factores de contaminación del aire y el suelo.

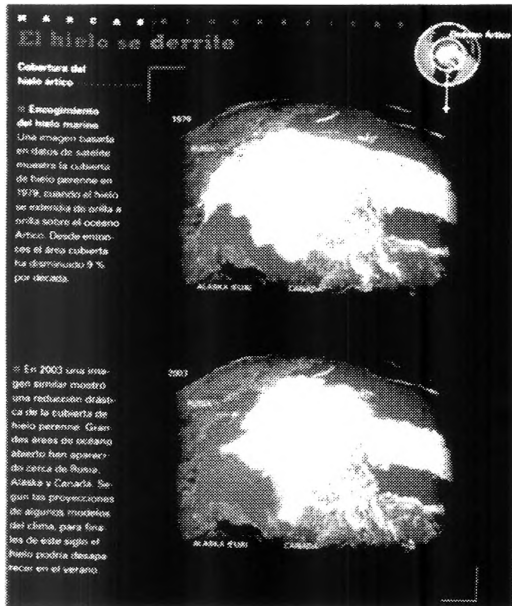


Fig. 17: Retroceso del hielo polar observado desde 2 imágenes satelitarias en la misma estación en diferentes años. Disminución del 9% por década.

Desde entonces las críticas a la contaminación antrópica han venido creciendo, hasta considerar que todo es a causa de las actividades humanas: el empleo de combustibles fósiles, el talado de la vegetación, la agricultura, las represas, etc, sin tener en cuenta el factor escala.

Si tenemos en cuenta que la superficie de océanos y mares representa el 70 % de la superficie terrestre, es fácil comprender que el intercambio y acople entre ellos y la atmósfera es el principal factor de control climático, al que siguen los continentes y los casquetes polares.

Si bien es cierto que todas las variables están relacionadas en el sistema climático, no se puede comparar aquella superficie con la de un embalse, lo cual no quita que se pueda producir un microclima en su periferia, pero el porcentaje de participación es mínimo a nivel global.

Si nos atenemos a la historia geológica del planeta, otras son las causas dominantes en los cambios climáticos y si éste existe lo más probable es que responda a factores planetarios a los cuales se sumaría el antrópico, si la dirección del cambio es hacia un aumento global de la temperatura

Este planteo epistemológico es fundamental, ya que si las causas son planetarias es muy poco o nada lo que se puede hacer con la tecnología actual, salvo minimizar los efectos y eso solo es mucho decir.

Para ello, los datos paleogeomorfológicos y geológicos pueden ser muy útiles, porque el aumento de la temperatura media no fue nunca igual en todo el planeta, es decir que en algunas zonas fue mayor y en otras menor. De igual manera, en algunos sectores aumentaron las precipitaciones y en otros se extendieron los desiertos. Un ejemplo de esto se encuentra en la historia paleoclimática del Sahara. Se está verificando que la capa de hielo del polo norte está disminuyendo cada vez más

rápido, como se puede observar en la Fig. 17, de imágenes tomadas de satélites. Muchos de los glaciares están retrocediendo (Fig. 18), a tal punto que se prevé que en

menos de 10 años las nieves del Kilimanjaro (la montaña más alta de África) desaparecerán.



Fig. 18: Dos fotografías del glaciar Upsala con 76 años de diferencia, donde se puede apreciar el retroceso de la lengua glaciar.

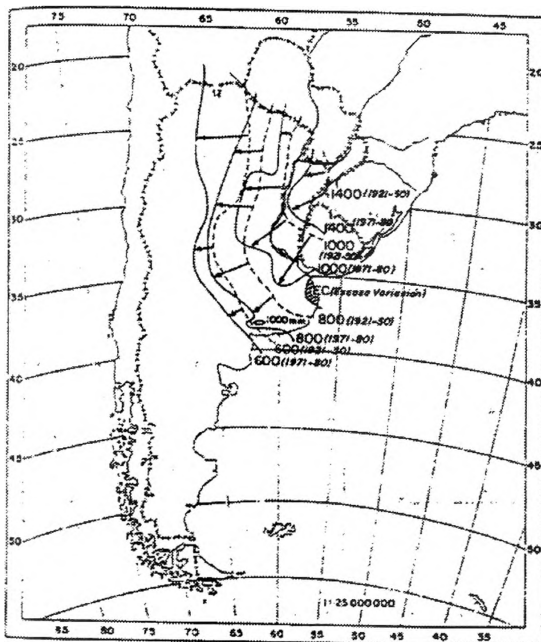


Fig. 19: Fuente: Hoffmann, J.A.J., citado en: Barandiaran, J.- Neme Roberto, 1997.

En nuestra región las isohietas se han desplazado muchos kilómetros hacia el oeste, de manera que los cultivos se han extendido hacia el occidente, en el sector oriental del Chaco. (Fig. 19) y los cursos fluviales afluentes del río Paraguay están retrocediendo en el Chaco y Formosa, generando neoredes que modifican el escurrimiento

Se ha verificado en los últimos tiempos que todas las corrientes oceánicas están relacionadas entre si, formando una gigantesca cinta transportadora de energía que recorre todos los océanos y cuya velocidad se está frenando. La interacción entre los hielos polares y ésta gran cinta motivaría que el calentamiento global afectara a la totalidad de los océanos. (Fig. 20)

El ingreso de aguas frías del Océano Ártico al Mar del Norte, a causa del

deshielo, podría afectar la Corrientes del Golfo, desplazándola al sur y haciendo que las temperaturas en el norte de Europa se parecieran a las de la última glaciación.

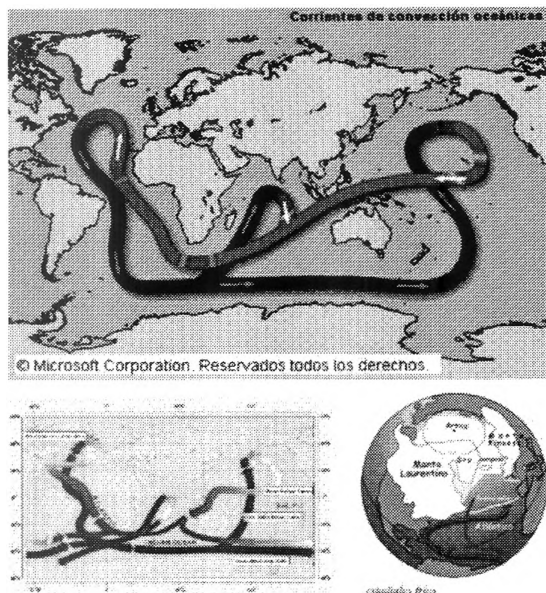


Fig. 20: Circuito del cinturón de corriente termohalina y desplazamiento de la corriente del Golfo, durante las glaciaciones.

Otros efectos estarían vinculados con la variación del nivel oceánico y con el deshielo del permafrost, en las laderas y suelos de las áreas periglaciares, provocando flujos de soliflucción extremadamente peligrosos y pérdida de capacidad soporte en los suelos.

El aumento de la turbulencia atmosférica y el calentamiento global podrían producir huracanes o tifones extratropicales, afectando áreas muy sensibles, como a los polder o defensas de Holanda y a varias ciudades costeras, en tanto que los intertropicales podrían aumentar en frecuencia y en magnitud

Las áreas más sensibles serán las de transición o ecotonales, como las periglaciares, semiáridas, sabanas y subtropicales a causa de los desplazamientos en latitud de las condiciones climáticas y también los delicados sistemas de montaña

Los últimos 100.000 años en el NEA

Los estudios sobre los cambios climáticos en la región NEA y zonas aledañas, se iniciaron con los primeros estudios geológicos, pero en las últimas décadas se ha avanzado muchísimo, mediante el empleo de tecnologías muy confiables de datación, como son los métodos radiactivos, sedimentológicos y paleobotánicos.

Un esquema que queremos presentar es el que se indica en la Fig. 21, donde, luego de muchos años, logramos establecer una cierta correlación entre diferentes estudios y criterios geológico, sobre la base de la alternancia de condiciones biotásicas y rexistásicas hacia condiciones más “secas” y más “húmedas” que las actuales.

Un ejemplo lo constituye la evolución del relieve de la Meseta Misio-nera, esquematizado en la Fig. 22. Solamente el estudio de los grandes cambios climáticos y sus fases biotásicas y rexistásicas, asociados con el levantamiento generalizado del área, permite comprender las características del relieve actual

Finalmente hemos logrado establecer una correspondencia de las dataciones radiométricas de los últimos 100.000 años (tomadas de los trabajos de Iriondo) con lo trabajos de los antiguos geólogos y del autor, que se indican en la Fig. 23,

Lo importante de esta figura es observar como se han ido alternando condiciones más “secas” y más “húmedas” con periodos rexistásico intermedios, donde se produjeron los grandes cambios en la morfología y el paisaje, pero que, en general, la duración de estos periodos ha venido disminuyendo.

Toda la información paleoclimática, sedimentológica, paleogeomorfológica y paleo-ambiental apoya estos cambios globales

Hace no más de 200 años que salimos de la Pequeña Era Glacial y por lo tanto estamos en un “periodo” más caliente que la media de los últimos miles de años, de manera que la pregunta es ¿Vamos hacia un aumento

mayor o hacia una nueva glaciación? y esto es todo un tema abierto a muchas teorías y paradigmas.

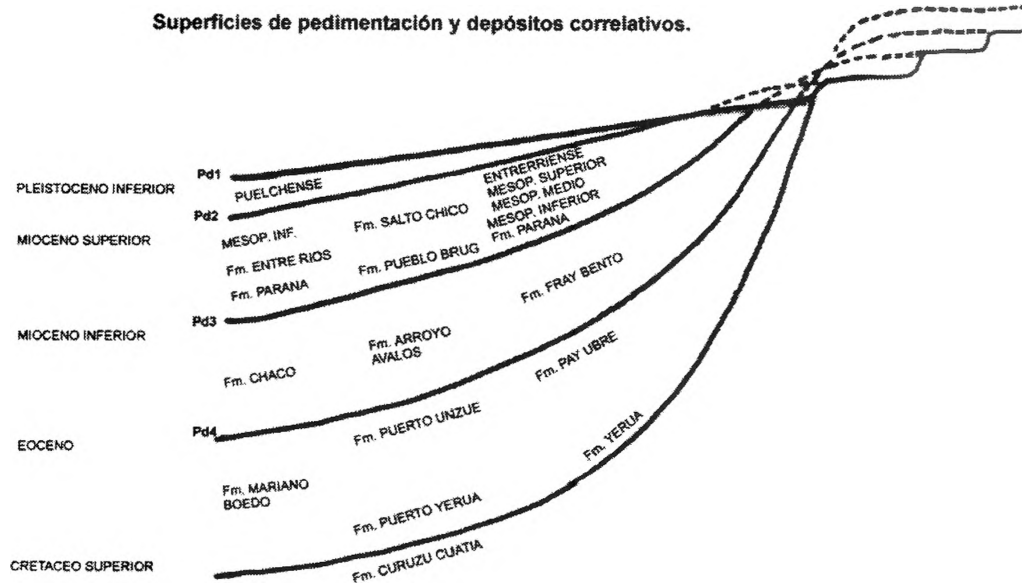


Fig. 21: Correlación entre los pediplanos y pedimentos con sus depósitos correlativos según diferentes autores

También podemos preguntarnos si el aumento de la temperatura no terminaría originando un brusco cambio hacia una nueva glaciación, lo cual no es tan absurdo como parece, recordando que todos los sistemas tienen un límite o umbral de variabilidad, a partir del cual pueden pasar bruscamente a otro modelo de comportamiento.

Los efectos de un cambio climático en el NEA, en base a los escenarios posibles y a los datos disponibles

Frente al planteo de un calentamiento global del planeta, se pueden plantear escenarios posibles sobre la base de lo que se conoce de la historia del planeta y de la región.

Como hemos expuesto en muchos trabajos anteriores, las formas del relieve del NEA son básicamente heredadas de condiciones paleoclimáticas diferentes a las actuales, como los enormes conoides

aluviales dejados por el río Paraná, ya desde el Terciario hasta el Puelchense, los del río Bermejo y el río Pilcomayo, las paleodunas de Formosa y Chaco, los paleosuelos e incluso las formaciones vegetales mixtas, como las del NW de Corrientes, etc.

Para nuestra región la tendencia sería la de un aumento de la temperatura y una especie de “tropicalización”, semejante a lo expuesto en la Fig. 10, pero lo más viable es un aumento en la Amplitud de Oscilación de las variables, es decir un aumento de la diferencia entre los valores máximos y mínimos, en el año y en varios años.

Esto significa que tendríamos años hipersecos y años hiperhúmedos, es decir sequías prolongadas e inundaciones mayores a las conocidas en los últimos 200 años.

Además las variables aumentarían la frecuencia de oscilación y por lo tanto, se iría perdiendo la estacionalidad definida, es decir que podrían ingresar ondas de masas

de aire frío y cálido en las estaciones cálidas y frías respectivamente, con cambios muy brusco de la temperatura, la presión y la humedad relativa, en pocas horas.

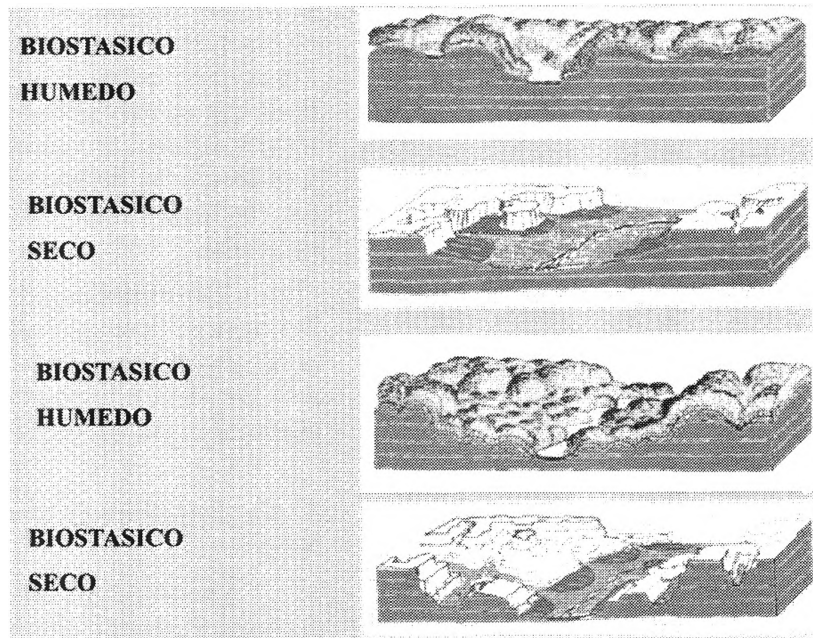


Fig. 22: Esquema de la evolución de la meseta misionera asociada a los grandes cambios climáticos y el ascenso epirogénico. E. Popolizio, 2004

Las precipitaciones tenderían a ser mayores y más concentradas, aumentando la torrencialidad, poniendo en riesgo los sistemas pluviales urbanos y aumentando la erosión de suelos. Se deberá recalcular la Tormenta de Diseño en los estudios de redes urbanas

La turbulencia atmosférica tendería a aumentar, registrándose vientos muy fuertes, tornados y caída de granizo, lo cual afectaría, no solamente a las poblaciones y cultivos, sino también a las plantaciones bajo cubiertas y a las torres de transmisión. Se deberá calcular las estructuras para soportar vientos muy fuertes.

El aumento de la humedad relativa representa otro problema, vinculado con la salud, ya que en los países vecinos existen dolencias tropicales, cuyos vectores ya están en nuestra región o podrían ingresar, tales como los del dengue, el paludismo, la fiebre amarilla, la leishmaniasis y la esquistosomiasis.

Existen otros problemas asociados con este tema, como la aparición de micosis y otras enfermedades, vinculadas con el aumento de la humedad y la temperatura y el posible avance de especies invasoras.

Estas características de comportamiento de las variables ya están siendo detectadas por la población y el comportamiento de la vegetación es una de las mas representativas, pero los cursos fluviales hace tiempo que vienen indicando el cambio en el comportamiento del sistema.

En trabajos anteriores hemos analizado el comportamiento del río Paraná, con la información histórica, que fue relacionada al hidrómetro actual de Corrientes y empleando el método de las tangentes a los valores máximos. Podemos observar en la Fig. 24 que esos valores han venido decreciendo permanentemente hasta fines de la década del 60', desde la máxima

conocida (1748) hasta la de 1966 (Hay un dato que indica que la máxima conocida ocurrió en 1612) y determinan una tangente rectilínea decreciente. Esto se invierte totalmente desde fines de la década del 60' hasta nuestros días.

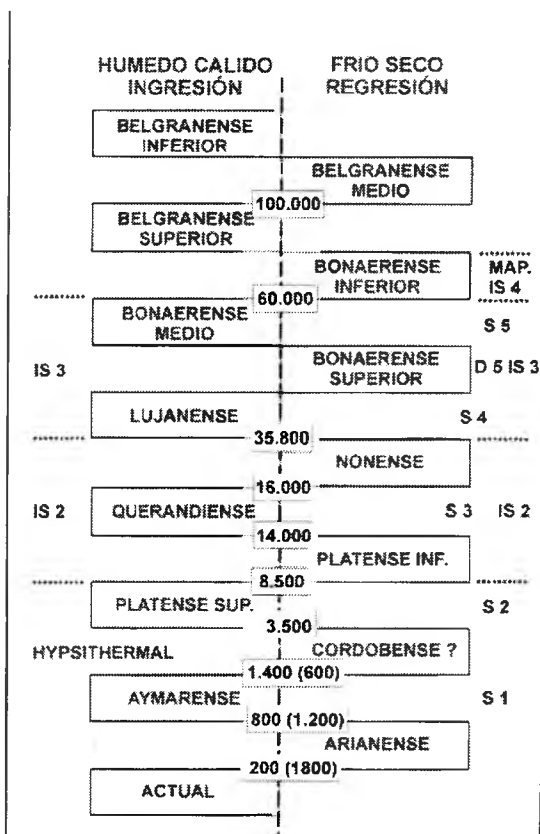


Fig. 23: Esquema de los cambios climáticos a partir del Belgranense Inferior. Las indicaciones referidas a los estados isotópicos fueron tomadas de Iriondo, M, 1999 y la correlación con los pisos de Castellanos, (Pasotti, P., 1956), fueron realizadas por el autor.

Es importante ver que el procesamiento con computadoras de la totalidad de la información registrada desde comienzo de 1900 indica exactamente lo mismo y se observa, además, la pendiente ascendente de los valores mínimos y medios. (Fig. 25)

Este comportamiento lo hemos verificado en otros cursos y colegas brasileros ya lo graficaron hace algunos años. Si recordamos los valores de recurrencia de la creciente de 1982/83 indicados en la Fig. 26, vemos que no superan los 200 años, y las grandes obras hidroeléctricas, situadas aguas

arriba de Corrientes están calculadas para soportar crecientes con recurrencias de 10.000 años

El cálculo efectuado por el Ing. Depettris del Dto. de Hidráulica de la UNNE, incorporando las crecientes posteriores, (Fig. 27) indica recurrencias aún menores. Es decir que es muy posible que con el calentamiento global se acentúe la torrencialidad y se produzcan bajantes extremas y crecientes con recurrencias mucho mayores a las conocidas.

Esto también podrá afectar a los ríos Bermejo y Pilcomayo, que en el último período histórico se comportaron como enormes torrentes y formaron amplios abanicos aluviales en la Llanura Chaqueña.

Algunos ejemplos de riesgo hídrico en el NEA

Las amenazas derivadas de las inundaciones fluviales y pluviales se están agravando, como consecuencia del Cambio Climático Global, especialmente en las llanuras argentinas y como consecuencia de lo expuesto anteriormente. Debemos mencionar que el riesgo es consecuencia de la ocupación incorrecta del espacio, ya que muchas ciudades están emplazadas dentro de los valles fluviales, por lo tanto, los sistemas naturales están funcionando correctamente y adecuándose a los cambios paramétricos de los universos controlantes (Geodinámico y Climático). Si ello afecta al hombre, no es problema de los cursos que modelaron sus propios valles y por lo tanto, ellos les pertenecen y los volverán a ocupar cuando las condiciones externas los obliguen a hacerlo.

En la Fig.28 se ha indicado un modelo esquemático de la morfología de los valles fluviales en nuestras llanuras, al solo efecto de representar las formas del relieve.

Se pueden distinguir: el canal de estiaje, formando meandros, las espiras meándricas que determinan la terraza T00, los albardones laterales y meandros abandonados, que conforman la faja de divagación meándrica limitada por los

diques marginales. Esta zona no debería ser ocupada ni obstruida por terraplenes, ya que el curso necesita ordinariamente desplazarse

libremente en dicho sector, donde puede cambiar de posición.

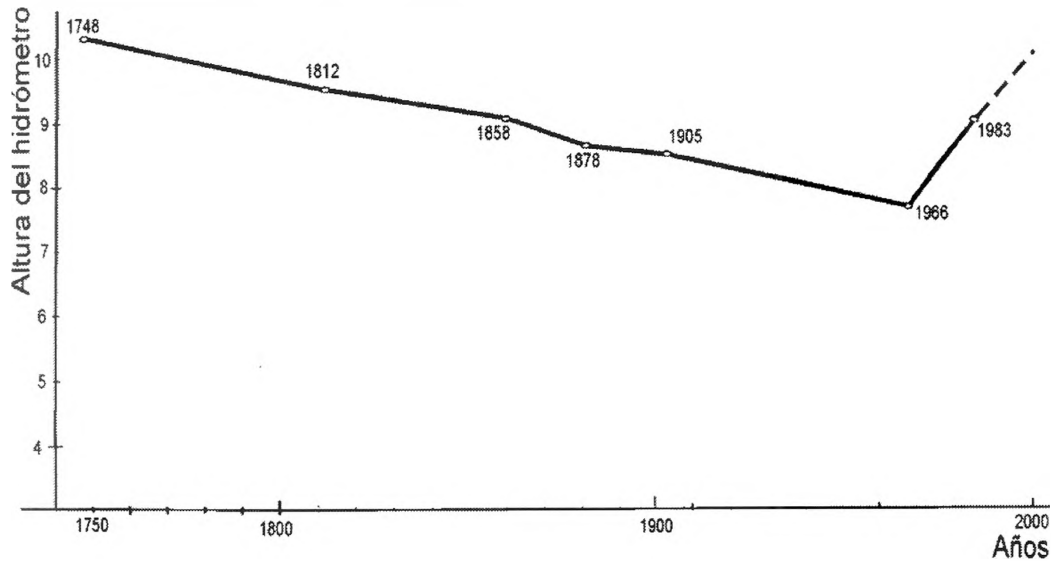


Fig. 24: Tangentes a las crecientes máximas principales en la ciudad de Corrientes, realizadas por E. Popolizio, 1987, sobre la base de la información histórica de Vasallos, M, 1983.

RIO PARANA- CORRIENTES

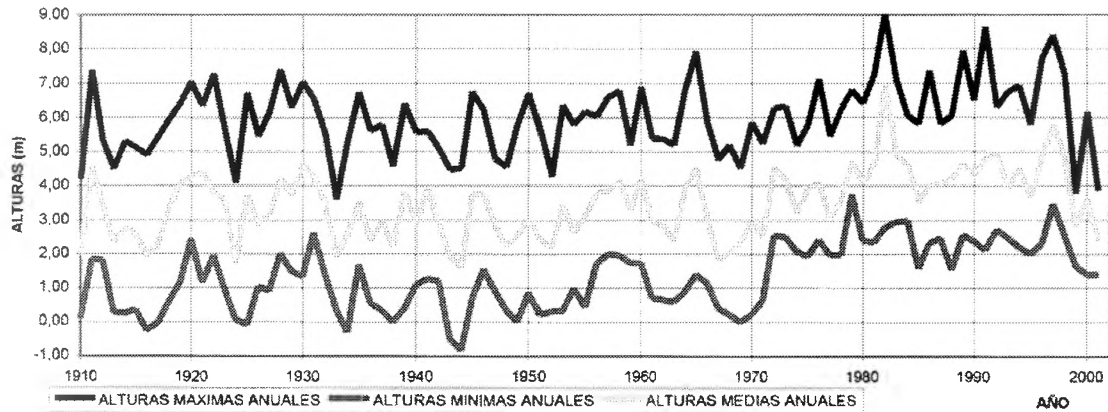


Fig. 25: Alturas máximas y mínimas en el hidrómetro de la ciudad de Corrientes. Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Por detrás de los diques marginales se extienden zonas pantanosas o periódicamente inundables, conocidas como backswamps, donde el curso no puede formar canales de estiaje, las cuales tampoco deberían ser ocupadas, como consecuencia que pueden inundarse una o varias veces durante el año y hasta allí se extiende el área de las inundaciones ordinarias.

Más hacia fuera se desarrollan las verdaderas terrazas, que en nuestra zona normalmente son dos denominadas T1 y T2 y se corresponden con las crecientes extraordinarias y excepcionales, en las cuales están emplazadas total o parcialmente algunas ciudades.

El río Paraná presenta un valle fluvial mucho más complejo, ya que fue

labrado inicialmente (desde Confluencia hacia el sur) por el valle del Paraguay y remodelado por el primero en sus desplazamientos hacia el norte. Por ello, la planicie ordinaria presenta dos canales que se juntan y se separan a lo largo del recorrido y cursos paralelos denominados “yazoo” y en nuestra región “Paraná Mini” (Fig.29) interligados con el curso principal, con lagunas, esteros y madrejones. Esto también indica que el modelo fluvial fue labrado en condiciones de un clima árido anterior al actual, originando un modelo de red laberíntica. Fig. (30)

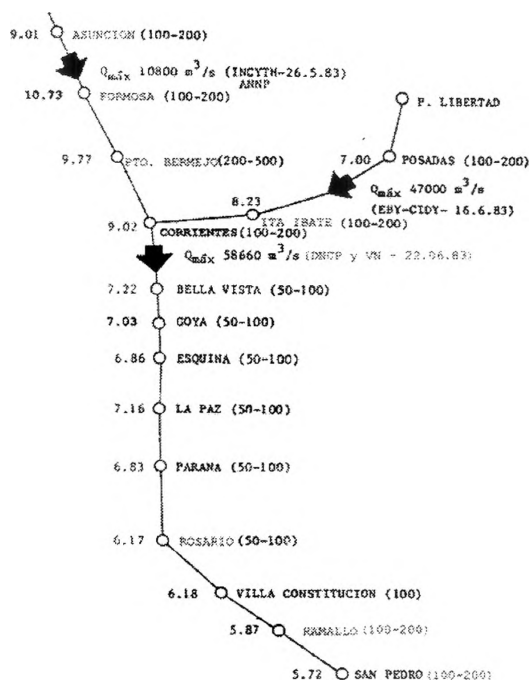


Fig. 26: Intervalos de recurrencias. Asignados en “Estudio de crecidas: Río Paraná y Paraguay” Fuente: Motor Columbus y asociados. INCT y TH. Laboratorio de Hidráulica Aplicada.

La Fig. 31 permite observar la amplitud del lecho ordinario, el extraordinario y el excepcional en un sector del Paraná Medio. La Fig. 32 muestra un perfil transversal del valle a la altura de la ciudad de Corrientes, donde se pueden observar los distintos niveles y sus correlaciones con los diferentes caudales representativos. La misma permite observar que la ciudad de Resistencia está totalmente emplazada en la terraza T2 y por

lo tanto, sometida a riesgo hídrico en toda su extensión. Fig. 33

Las obras de defensa que recintan la ciudad pueden resistir hasta los 11 metros de altura en el hidrómetro de Barranqueras (situada en la terraza T1); pero han originado un enorme estrechamiento de la sección transversal que tiene 20 Km. de ancho. Como referencia, las secciones de paso no llegan a 2 Km, es decir menos del 10 %

La tabla indicada en la Fig. 34 indica los valores esperados en el hidrómetro de Corrientes para diferentes recurrencias, recordando que en la inundación de 1982/83 alcanzó 9,04 m Estos valores fueron determinados con los registros hasta esa fecha, pero si se analizan los años posteriores y la creciente de 1998, las alturas estimadas podrían ser mayores, ya que la recurrencia de esa creciente hoy se puede estimar en un valor menor a los 100 años.

Si a estas condiciones se le sumara el efecto del Cambio Climático Global, es de esperar situaciones críticas para las poblaciones emplazadas total o parcialmente en el valle. Ya hemos visto que desde la década de los 60' la tendencia es a producirse crecientes cada vez mayores.

Otra ciudad importante, la segunda de la provincia de Corrientes es Goya, cuyas condiciones de emplazamiento se indican en el esquema de la Fig. 35 y en la Fig. 36

Emplazada totalmente en la Terraza T2, se encuentra separa de la barranca del Paraná por una faja inundable situada al oeste y formada sobre sedimentos de un viejo cauce del río Paraguay, que en otras épocas corría por allí

El desnivel que la separa de Colonia Carolina representa la antigua barranca y presenta una serie de antiguos pequeños torrentes, cuyos conos de deyección se encuentran al pié de la ladera, complicando la situación de la ciudad durante las grandes precipitaciones

Hace muchos años, mediante un convenio de cooperación entre el Gobierno

de la Provincia y el Gobierno de Italia, se ejecutó el proyecto para las defensas definitivas de la ciudad, contemplando su expansión hasta el 2020. Durante el mismo, se trazaron curvas de forma cada 20 cm y se

delimitaron las áreas a ser inundadas para diferentes recurrencia (Fig. 37) y las defensas se calcularon para soportar la creciente decamilenaria. Parte de ese proyecto se ejecutó parcialmente, pero no al nivel estimado.

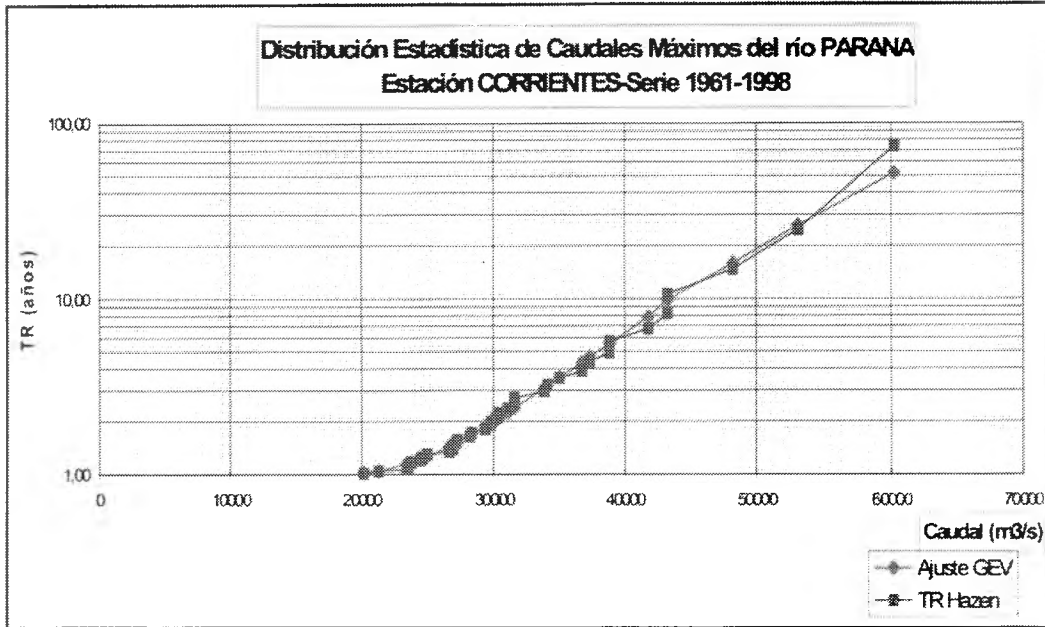


Fig. 27: Gráfico realizado en el departamento de Hidráulica de la UNNE, director Carlos De-pettris”.

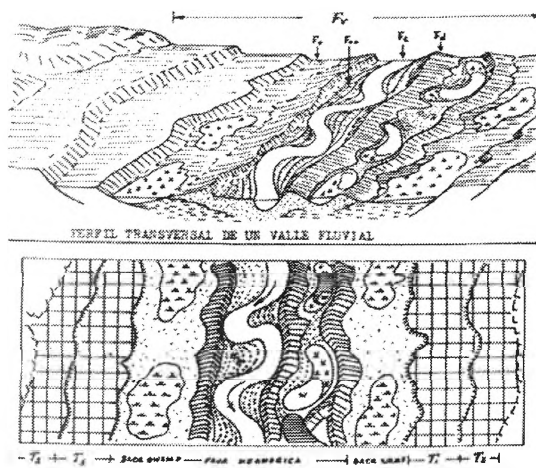


Fig. 28: Esquema de un valle fluvial en áreas de llanuras, visto en perspectiva y en planta.

Otro ejemplo interesante es el de la Localidad de Paso de la Patria (Corrientes), una importante villa turística que está emplazada sobre dos antiguas islas del Paraná,

las cuales se soldaron a la barranca, como puede apreciarse en la Fig. 38

Años atrás se tenía el proyecto y los recursos para iniciar las defensas definitivas de la población, pero parte de sus habitantes enviaron un pedido al Gobernador para que no se construyeran, porque “quitarían la vista del río”, a pesar de que en varias oportunidades la localidad debió ser parcialmente evacuada y en crecientes máximas quedará totalmente bajo el agua

También nos parece importante destacar que el efecto de “tropicalización” que afecta al Nordeste, debido al Cambio Climático, implicará lluvias muy concentradas y años hiperhúmedos, los cuales coincidirán con las grandes crecientes fluviales, de manera que la región deberá soportar inundaciones pluviales, agravadas por las bajísimas pendientes, las cuales cubrirán áreas enormes como se puede apreciar en la Fig. 39.

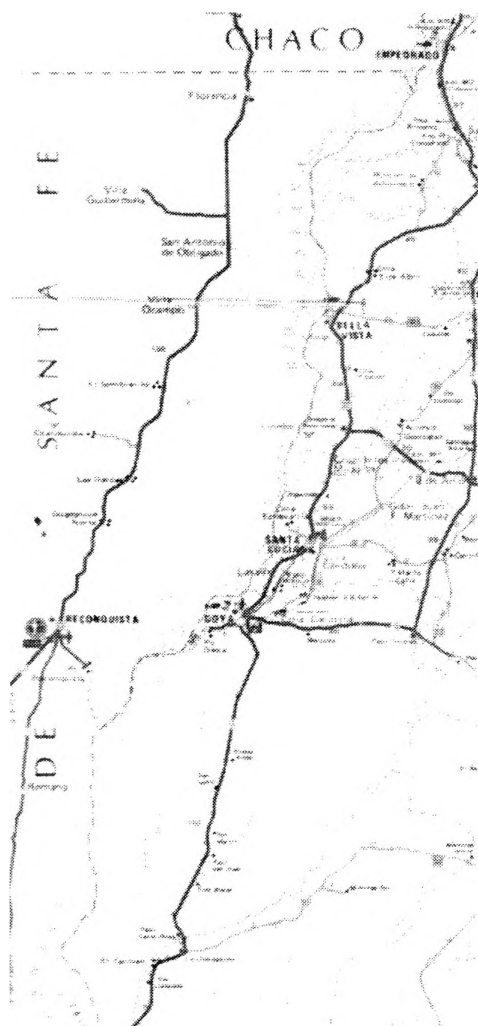


Fig. 29: Cursos de tipo "yazoo" en la planicie aluvial del Río Paraná.

En la Fig. 40 hemos indicado las características del escurrimiento en los Bajos Submeridionales del Chaco y Santa Fe, que dieron lugar a la gran inundación que afectó a la ciudad de Santa Fe, a causa de las intensas lluvias caídas en esa zona y que escurrió por el sistema de "Las Golondrinas", afluente del río Salado, el cual ocupó su valle excepcional, superando las defensas e inundando parte de la ciudad. (Fig. 41 y 42).

Finalmente, no podemos dejar de mencionar el efecto del cambio climático en las áreas montañosas, donde aparentemente las condiciones climáticas tenderían hacia la mayor aridez y por lo tanto, la torrencialidad de los cursos afluentes del Paraguay y Paraná (Pilcomayo, Bermejo y Salado) aumenta-

rán, convirtiéndolos nuevamente en gigantes torrencios, tal como lo fueron en periodos no muy lejanos.



Fig. 30: Modelo laberíntico en la planicie aluvial del Río Paraná. Fuente: Instituto Geográfico Militar. Bella Vista 2960 – II.

La Fig. 43 muestra el actual derrame del Pilcomayo y los antiguos conoides aluviales generados en diferentes estados de condiciones áridas.

La Fig. 44 indica el proceso de erosión regresiva y la generación de nuevas redes fluviales, a partir del eje Paraguay-Paraná, en la planicie oriental Chaco-Formoseña como consecuencia del cambio hacia condiciones más cálidas y húmedas.

Conclusiones

Para tener una idea acabada de la enorme importancia económica y geoestratégica del denominado Cambio Climático Global, podemos mencionar la gran cantidad de Congresos, Simposios y Reuniones Científicas que se realizan sobre la temática.

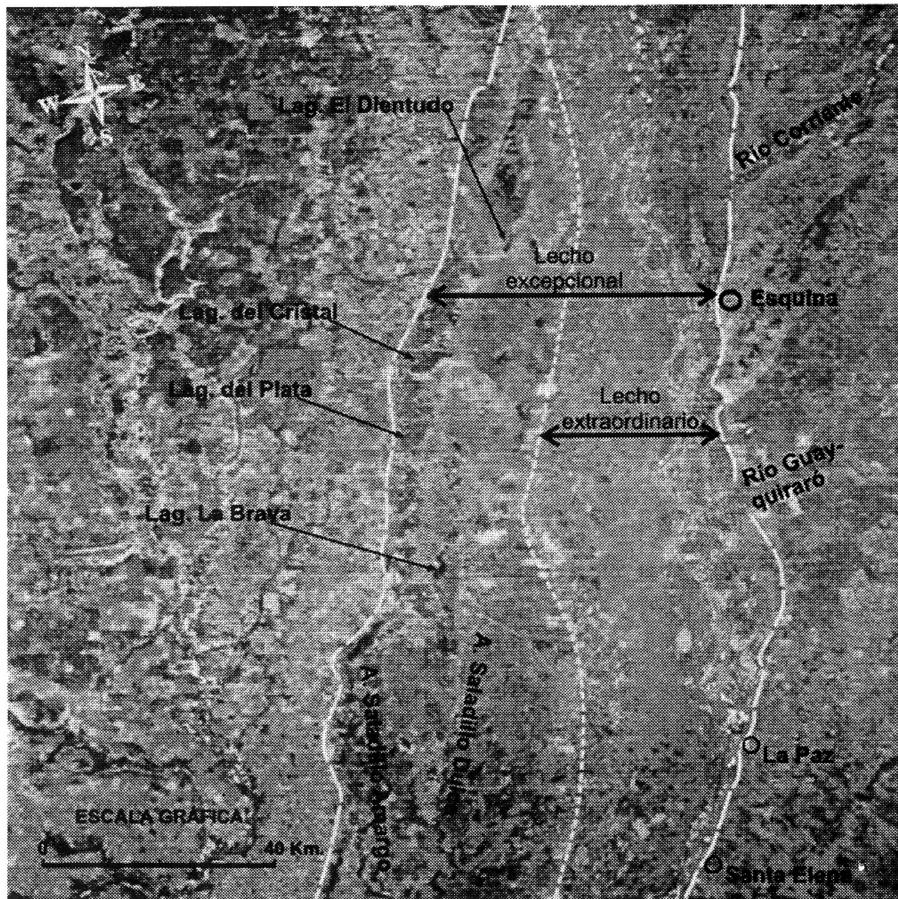


Fig. 31: Valles ordinario, extraordinario y excepcional del Río Paraná Medio desde el borde de la desembocadura del Río corriente, hasta el sur de Santa Elena. Fuente: Atlastotal de la República Argentina N° 71, 1983.

La Fig. 45 muestra el simulador construido en Yokohama, Japón que constituye una supercomputadora dedicada al estudio y la predicción de los cambios ambientales.

La inclusión del tema en la agenda de la última reunión del Grupo de los 8 países más industrializados y que los efectos se estén estudiando en los organismos estatales de inteligencia, indica que no se trata de una simple inquietud científica, sino de la predicción de escenarios posibles que afectarán a millones de personas, a la economía y la geopolítica, no a largo plazo sino en pocos años.

El calentamiento global parece ser una realidad de graves consecuencias a nivel planetario, que preocupa seriamente a

los países industrializados en busca de alternativas que minimicen los efectos.

- Puede tratarse de una simple oscilación o de una tendencia irreversible, lo cual es un problema epistemológico y se resolverá con el seguimiento de los procesos.
- Los cambios no serán iguales en las diferentes partes del planeta y afectarán especialmente a las áreas de transición climática.
- Existe preocupación internacional por los graves problemas que acarrearía y se están invirtiendo enormes sumas de dinero en tecnología de registro observación y pronóstico. Debe extremarse el análisis de las posibles causas, ya que si son planetarias sus efectos serán muy difíciles de controlar.

Es imprescindible elaborar escenarios futuros, que permitan minimizar los efectos en el mediano y largo plazo y di-

señar las medidas de alerta y operación frente a catástrofes.

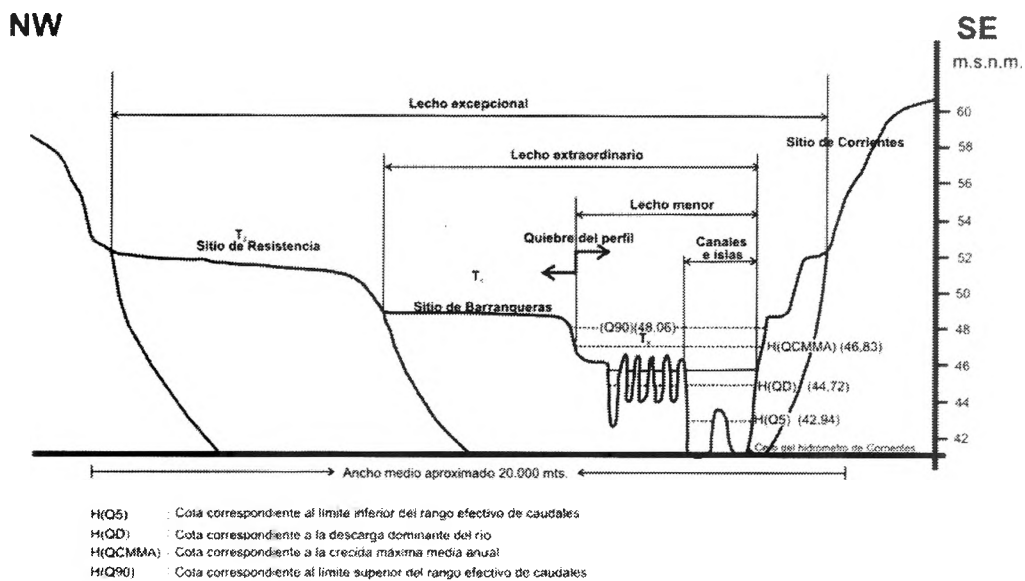


Fig. 32: Perfil esquemático corrientes – resistencia (quebrado y desfasado) del valle del río Paraná. La terraza t_{00} no se ha podido representar por la enorme deformación de la escala vertical con relación a la horizontal.

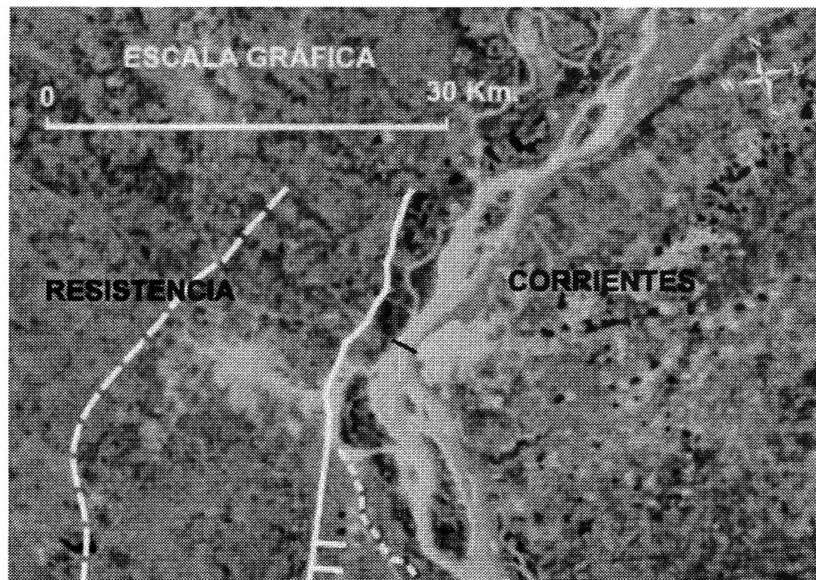


Fig. 33: La línea de trazos largo indica el límite derecho del valle excepcional y la línea de trazos cortos el límite derecho del valle ordinario. Compárese con la luz del puente Gral. Belgrano. Fuente: Atlastotal de la republica argentina n° 18, 1983.

Recurrencias de Alturas (Método de Gumbel)

Recurrencias T (años)	CORRIENTES		ROSARIO	
	1902-1983	1902-1980	1875-1983	1875-1980
50	8-49	8-24	6-06	5-94
100	9-03	8-74	6-45	6-30
200	9-57	9-23	6-83	6-67
500	10-27	9-89	7-33	7-15
1000	10-81	10-38	7-71	7-51
3000	11-65	11-16	8-32	8-07
10000	12-58	12-02	8-98	8-72

Fig. 34: Recurrencia de alturas. Fuente: INCyTH. Tomado de Emergencia Hídrica. Subsecretaría de Recursos Hídricos, Corrientes, 1987.

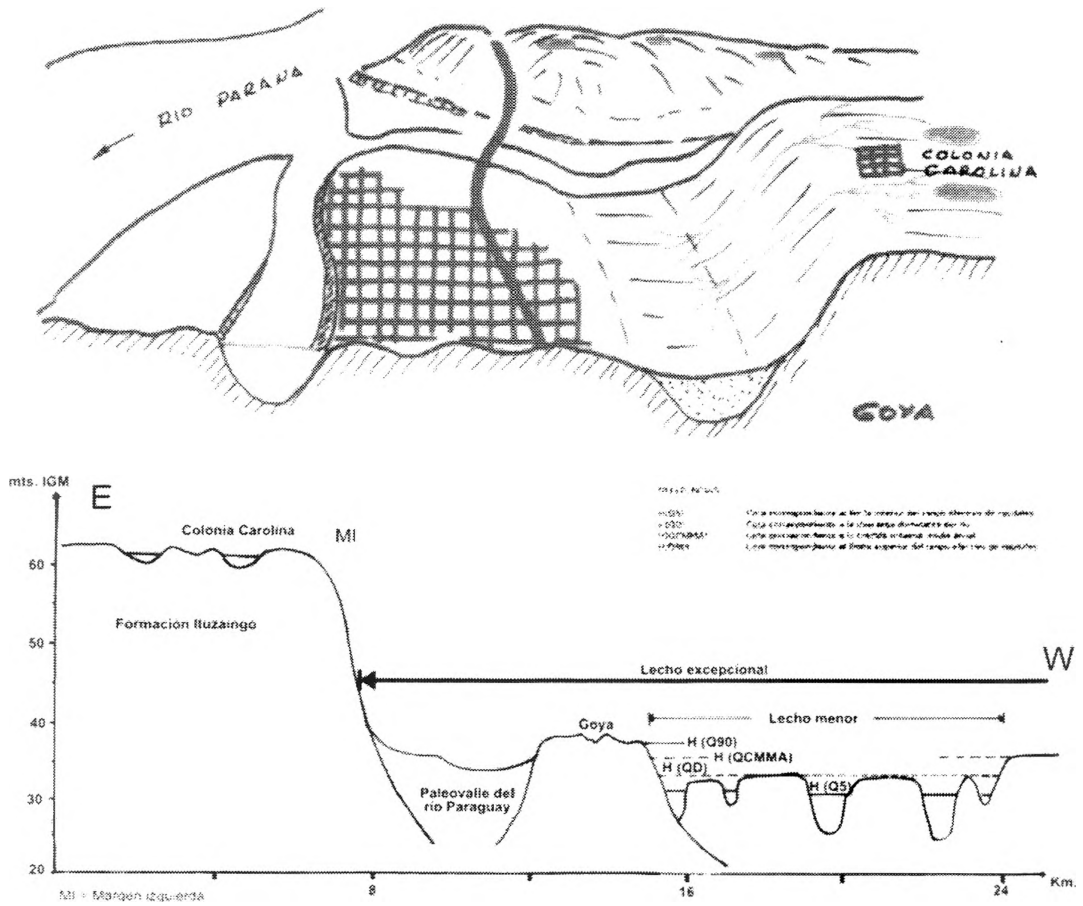


Fig. 35: Perfil transversal del sector el sector oriental del valle del Paraná a la altura de la ciudad de Goya (abajo). Esquema morfológico de sur a norte (arriba). Fuente: tomado de la Cartografía del IGM y aplicados a los criterios de sir William Halcrow & Partners Ltd., 1994.



Fig. 36: Tramo del valle del río Paraná a la altura de la ciudad de Goya. Fuente: instituto geográfico militar. Goya: 2960 – IV.

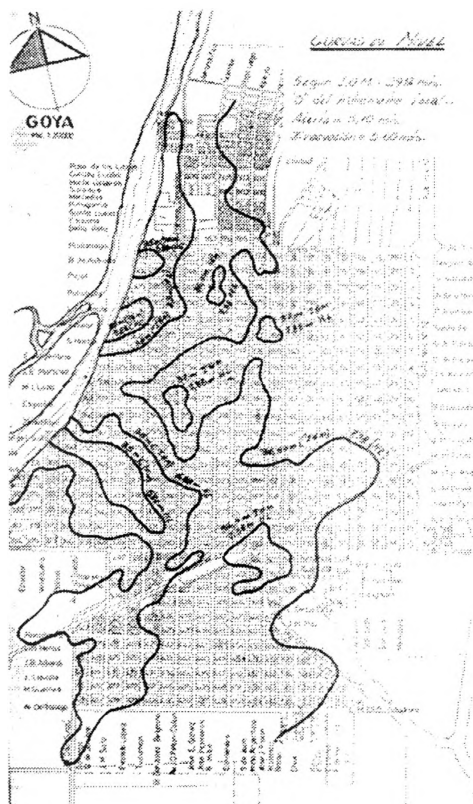


Fig. 37: Curvas de inundación (isorriego) para la ciudad de Goya, referida al cero del Hidrómetro local y al I.G.M. Se observa que para el mayor valor de cálculo, únicamente sobresalen 2 pequeñas áreas, con cota superior a los 7,88 m en el hidrómetro local.



Fig. 38: La línea de trazo indica el límite del valle del río Paraná. Las líneas blancas permiten distinguir las 2 islas antiguas, a ambos lados del antiguo canal, que se ha adosado a la rívera. Fuente: Ampliación de escaneo de un sector de la carta de imágenes de la republica argentina. Instituto Geográfico Militar. Corrientes 2760-IV. Elaborada partir de LANDSAT TM orbita 226079 – 17.01.94 y orbita 227079 – 29.12.95.

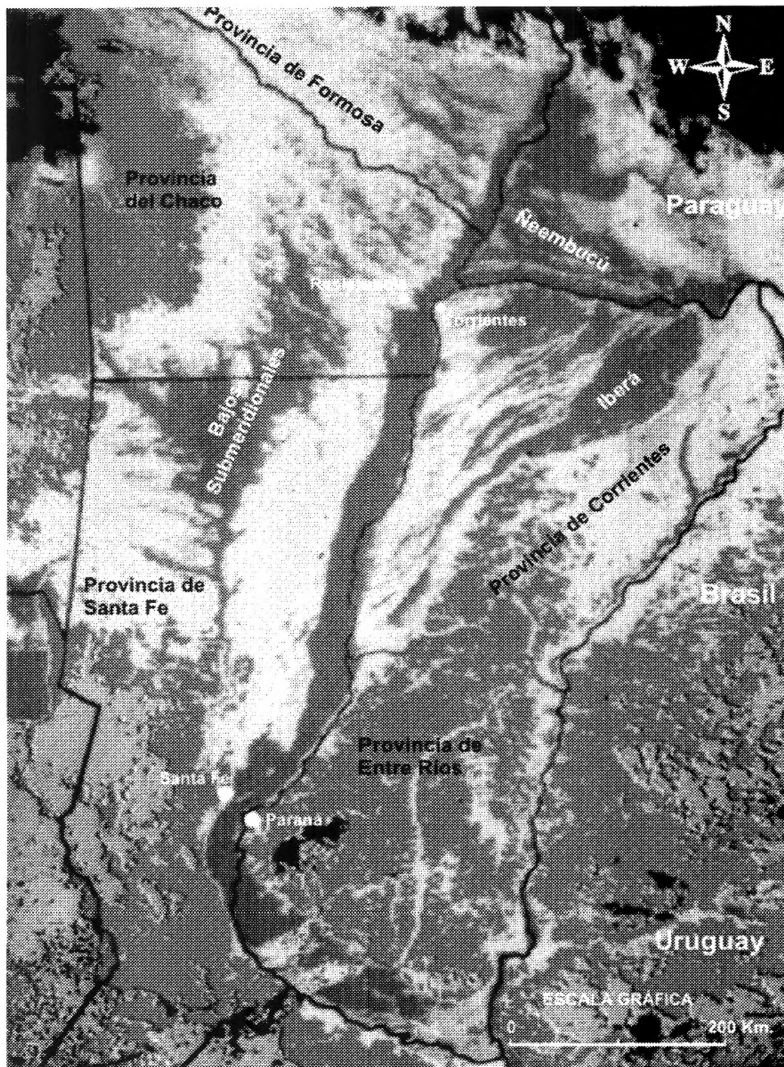


Fig. 39: El grafico de fondo corresponde a la imagen satelitaria del 05.05.98, las áreas en color azul indican zonas inundables. Fuente: Internet.

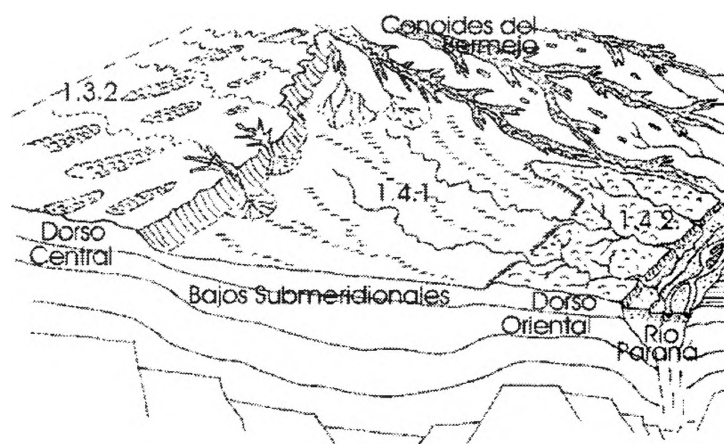


Fig. 40: Bloque diagrama esquemático de los Bajos Submeridionales en la provincia del Chaco

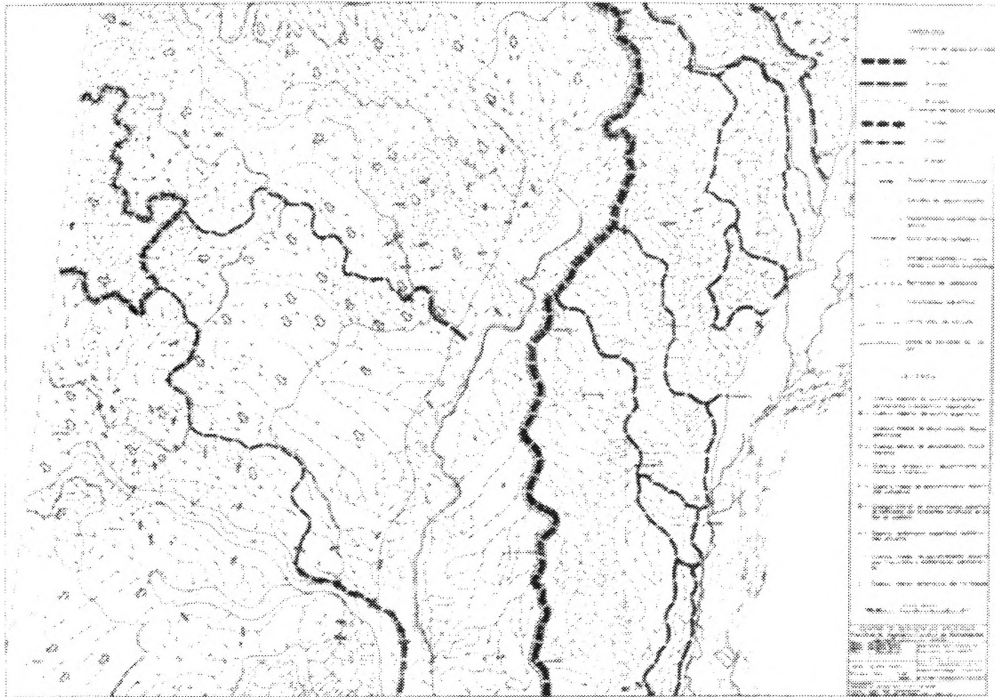


Fig. 41: Mapa de cuencas y escurrimientos en las áreas de los bajos submeridionales en la provincia de Santa Fe. Fuente: Centro de Geociencias Aplicadas, UNNE.

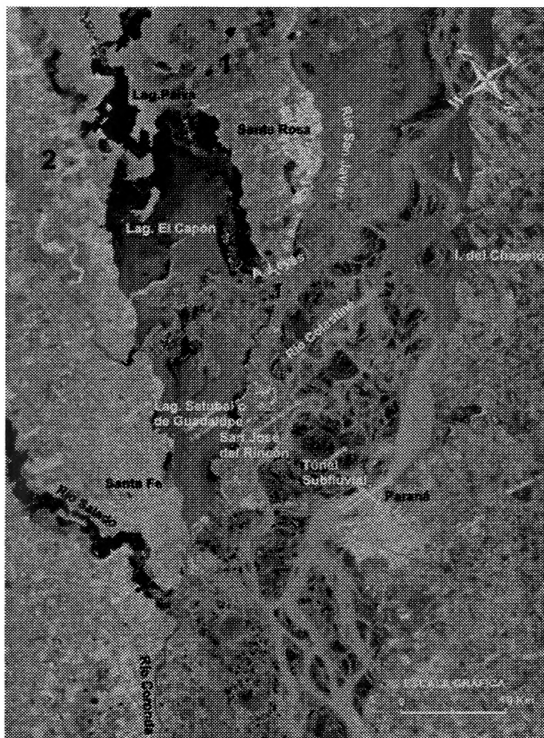


Fig. 42: Zona del estrechamiento Paraná-Santa Fe, se puede observar a las aguas ocupando el lecho mayor y el delta del arro-

yo Leyes en el complejo lagunar al norte de Santa Fe. Fuente: Instituto Geográfico Militar, Santa Fe 3160 -. III.

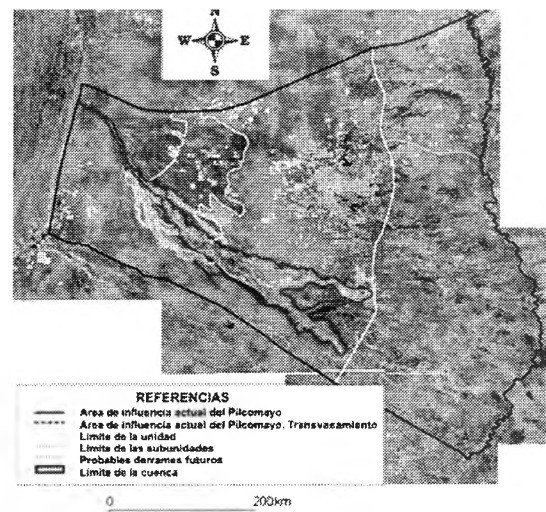


Fig. 43: Cuenca baja del río Pilcomayo, dimisión en áreas homogéneas. Fuente: mosaico de imágenes LANDSAT.

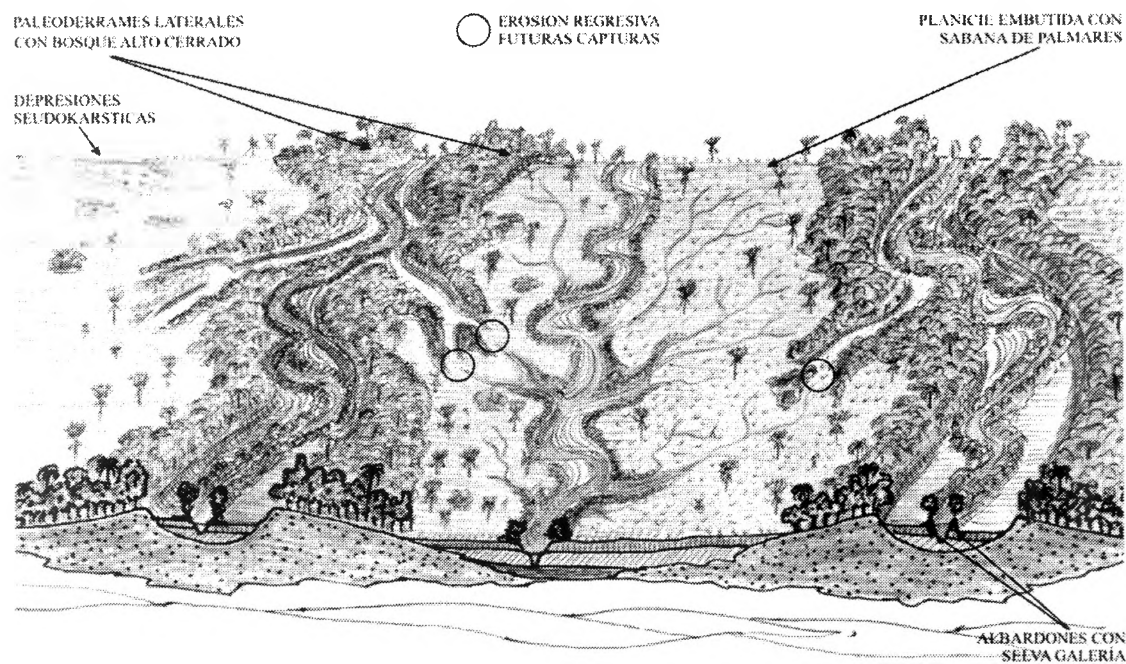


Fig. 44: Nuevas redes fluviales en procesos de erosión regresiva en las áreas de los derrames del antiguo abanico aluvial del río Pilcomayo. Fuente: Popolizio, e., 2005.

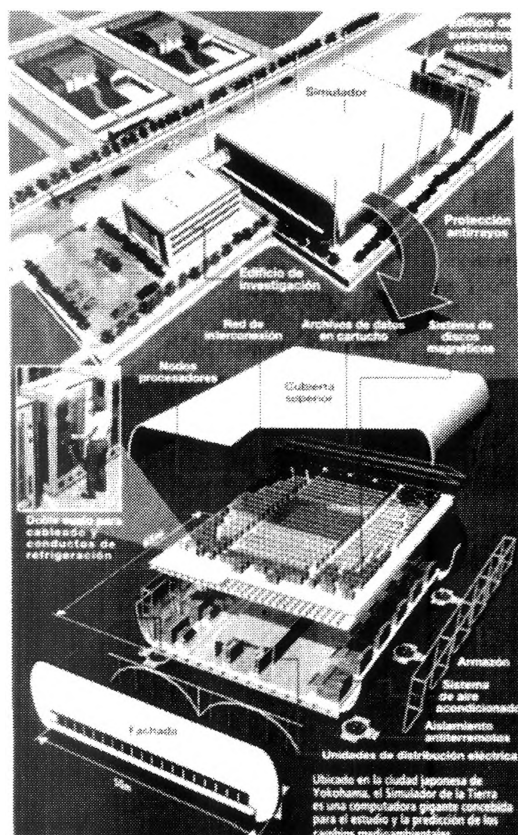


Fig. 45: Simulador de los cambios ambientales instalado en la ciudad de Yokohama, Japón.

Si no se toma conciencia de los riesgos del denominado Cambio Climático Global, sea debido a causas planetarias, a la acción del hombre o a ambas, y no se adoptan medidas y estrategias para minimizar los efectos, las figuras 46 y 47 muestran algunos de los aspectos de los desastres naturales que se podrían agravar hasta niveles intolerables para la humanidad. ■



Fig. 46: Desastres naturales.



Fig. 46: Frente al colapso del sistema natural, el caos podría desatarse.