



**GEOLOGÍA DEL CUATERNARIO**  
*Compilado por Rita Tófaló*

**METODOLOGÍA**  
*Unidades de trabajo de campo.  
 Análisis estratigráfico. Problemas de clasificación. Límites. Litofacies.  
 Unidades cronoestratigráficas.  
 Métodos geocronológicos.  
 Bioestratigrafía. Tefrocronología.  
 Climaestratigrafía*

---

---

---

---

---

---

---

---

Tipo de proceso	Duración
Impacto de cometas o meteoritos	Segundos
Terremotos	Segundos
Tormentas y tsunamis	Minutos
Inundaciones	Días (meses)
Procesos volcánicos	Días
Cambios químicos y oceanográficos	Días a meses
Cambios climáticos globales	Años a miles de años

---

---

---

---

---

---

---

---

Los registros estratigráficos del Cuaternario proceden de fuentes de información muy disímiles, que incluyen indicadores geológicos y biológicos. Hay distintos indicadores de los cambios climáticos del pasado:

- Los testigos de hielo 
- Los testigos de fondos marinos y lacustres 
- Los espeleotemas 
- Las sucesiones de loess-paleosuelos 
- La geomorfología del paisaje 

---

---

---

---

---

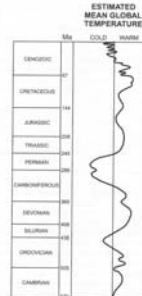
---

---

---

Lowe and Clarke (1998) señalan que los avances tecnológicos de las últimas décadas y el perfeccionamiento de las técnicas de datación numérica que posibilitan la obtención de edades numéricas muy ajustadas permiten descubrir cambios de muy corta duración.

De todos los registros utilizados, la estratigrafía isotópica ( $\delta O18$ ) de los depósitos de los fondos marinos es la que brindó el conocimiento actual de la ciclicidad de los cambios climáticos cuaternarios. Constituyen registros climáticos continuos, a diferencia de los continentales que son mucho más fragmentarios



Están formados por restos de microorganismos planctónicos y bentónicos, no modificados por bioturbación. Las variaciones en la composición isotópica de esos restos ha revelado la existencia de cambios globales del nivel del mar originados por la formación y derretimiento del hielo continental. Durante las glaciaciones hay enriquecimiento en  $O18$ , el isótopo pesado, en las aguas del océano ya que el agua que contiene el isótopo  $O16$ , más liviano, se evapora con mayor facilidad. Durante un interglacial, cuando se produce el retorno de las masas de agua de los glaciares al océano, el  $O16$  contenido en el hielo vuelve al sistema por lo que las relaciones isotópicas resultantes son más livianas. Estos cambios quedan registrados en la composición isotópica de las conchillas marinas

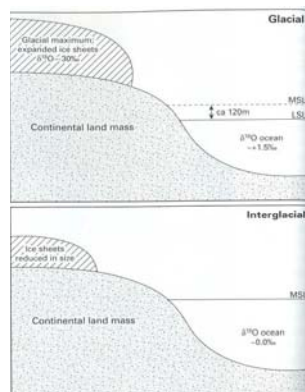


Figure 3.44 Variations in surface water oxygen isotope ratios during times of glacial maxima and interglacial high sea-level stands (minimal ice cover).

A black and white photograph showing a deep, rugged canyon. The canyon walls are steep and show signs of erosion, with some horizontal rock layers visible. A winding road or path is visible on the left side of the canyon. In the background, there are more hills or mountains under a clear sky.

[illegible]

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Hasta la década del 60 solo se reconocían a escala global cuatro grandes glaciaciones. Este modelo simple, basado en la presencia de sendas terrazas fluviales, en realidad de origen tectónico, situadas en el piedemonte alpino (Kukla, 1978), se extrapoló a todos los continentes, en cada uno de los cuales se reconocieron cuatro glaciaciones bautizadas con nombres locales:  
 Europa: Gunz, Mindel, Riss, Wurm en los Alpes  
 Estados Unidos: Nebraska, Kansas, Illinois, Wisconsin, en Colorado  
 Argentina: Vallimanca Diamante, Atuel

La estratigrafía de isótopos de oxígeno reveló que las fluctuaciones climáticas se repiten a intervalos regulares coincidentes con la *ciclicidad de los parámetros orbitales o ciclos de Milankovich*

---

---

---

---

---

---

---

---

#### Cambios climáticos rápidos

El análisis de registros estratigráficos de alta resolución muestran evidencias de *cambios rápidos*, de corta duración, sobreimpuestos a los cambios de larga duración. Se los conoce como eventos de sub-Milankovitch (Lowe and Clarke, 1998, Wilson et al., 2000).

Los cambios climáticos rápidos son importantes para la sociedad porque se producen en escalas temporales que pueden afectar al hombre.

Evidencias de estos cambios climáticos rápidos proceden de testigos de fondos marinos y testigos de hielo de Antártida y Groenlandia. En los sedimentos de fondo marino del Atlántico norte se intercalan niveles de “cadilitos” transportados por témpanos de hielo que se originaron en episodios de avance acelerado (*surges*) de los mantos de hielo lauréntico, de Islandia y del NO de Europa. Inicialmente se descubrieron 6, bautizados como *eventos Heinrich* en honor a su descubridor. Estudios de alta resolución señalan que ocurren en el Atlántico periódicamente cada 2-3 mil años entre los 10 mil y 38 mil años AP (Heinrich, 1988).

---

---

---

---

---

---

---

---

### Estratigrafía del Cuaternario

~~Estratigrafía~~ relaciones temporales

~~Correlación~~ relaciones espaciales

Estratigrafía de eventos (*event stratigraphy*) ejemplo Heinrich events




---

---

---

---

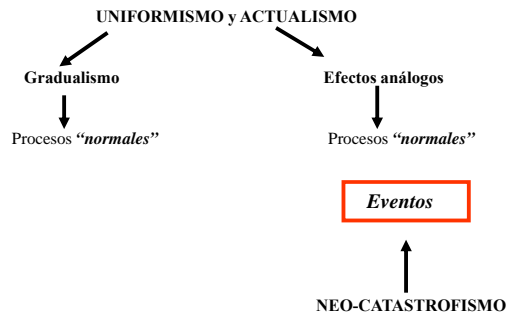
---

---

---

---

# LA NUEVA CONCEPCIÓN DEL TIEMPO EN GEOLOGÍA Geología clásica:




---

---

---

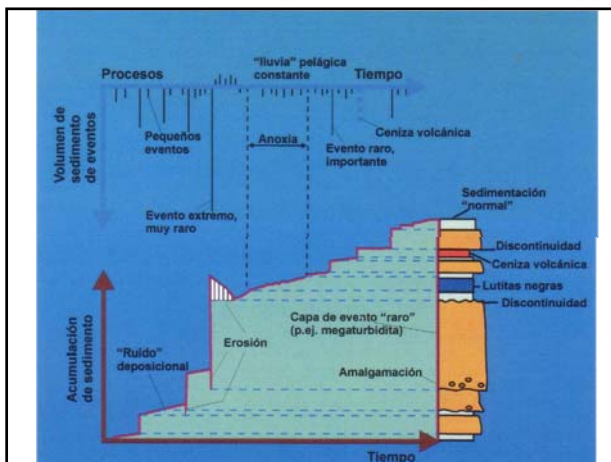
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

PERÍODO DE RECURRENCIA: frecuencia con la que se repite un determinado evento




---

---

---

---

---

---

---

---

**Actualismo:** *el presente es la clave del pasado*

Período de recurrencia: ciclicidad (repetición de procesos geológicos a intervalos de tiempo constantes)



**Posibilidad de calcular  
la probabilidad de que  
suceda un evento**

Por tanto:

**EL PASADO Y EL PRESENTE SON LA CLAVE  
PARA PREDECIR EL  
FUTURO**

---

---

---

---

---

---

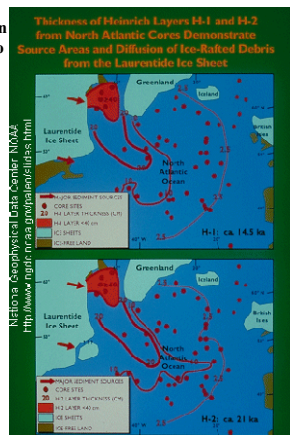
---

---

Eventos de Heinrich: niveles de materiales glacioderivados que aparecen intercalados en sedimentos pelágicos y/o hemipelágicos del Atlántico Norte



**Evento de Heinrich**



---

---

---

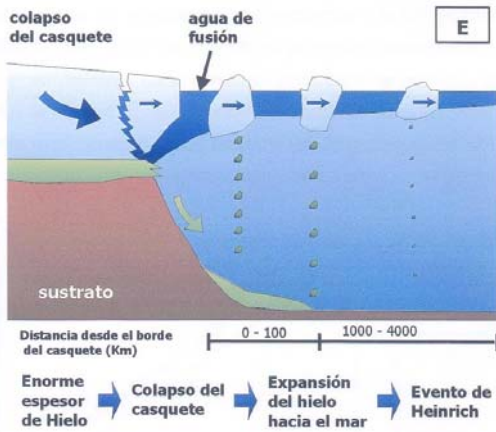
---

---

---

---

---



---

---

---

---

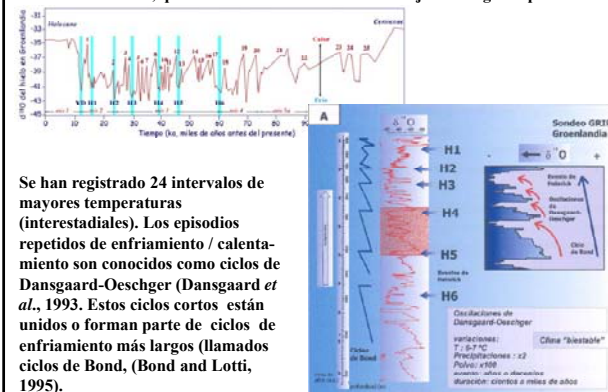
---

---

---

---

Los Eventos de Dansgaard-Oeschger son bruscos eventos de calentamiento registrados en  $\delta^{18}O$  de los sondeos de hielo. Estos eventos son seguidos por los eventos de Heinrich, que denotan un enfriamiento. Por ej. DO1 seguido por H1.




---

---

---

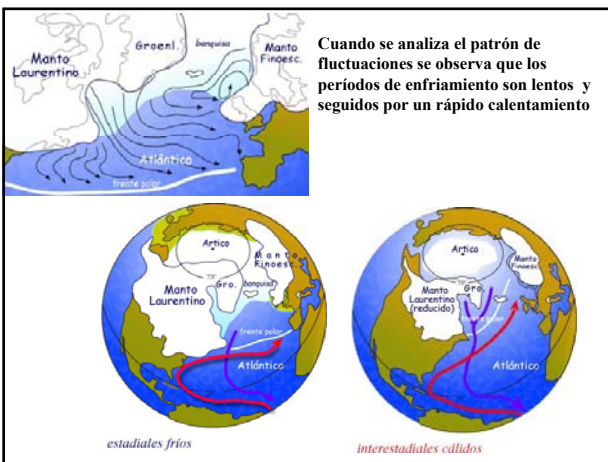
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### Importancia de las litofacies

El vocablo "facies" tiene un significado ambiguo y por ello ha sido motivo de dudas y confusión. La razón es que a lo largo del tiempo, y según sea el campo disciplinario, se lo ha empleado con muy distintas acepciones. La utilidad del concepto de facies radica en que constituye un elemento útil para escribir los atributos que poseen las rocas sedimentarias. De este modo, definir facies con criterio interpretativo es metodológicamente incorrecto. Lo apropiado es hacerlo sobre la base de criterios objetivos y descriptivos. A estas facies se las define como **facies sedimentarias**

#### LITOFACIES

Cuerpo de roca sedimentaria con características específicas. Se puede definir por su color, estructuras, composición, textura, fósiles y arquitectura sedimentaria. Normalmente por una combinación entre estos atributos.

Aún cuando su definición se efectúa con un criterio enteramente objetivo, se considera que este cuerpo de roca ha sido formado bajo determinadas condiciones físicas y químicas, y por lo tanto evidencia un proceso sedimentario en particular.



Tófolo *et al.*, 2009. Quaternary Internacional, 210: 6-17

---

---

---

---

---

---

---

---

## LITOFACIES

Cuerpo de roca sedimentaria con características específicas. Se puede definir por su color, estructuras, composición, textura, fósiles y arquitectura sedimentaria.

Normalmente por una combinación entre estos atributos.

Aún cuando su definición se efectúa con un criterio enteramente objetivo, se considera que este cuerpo de roca ha sido formado bajo determinadas condiciones físicas y químicas, y por lo tanto evidencia un proceso sedimentario en particular.



Tófaló et al., 2009. Quaternary Internacional, 210: 6-17

---

---

---

---

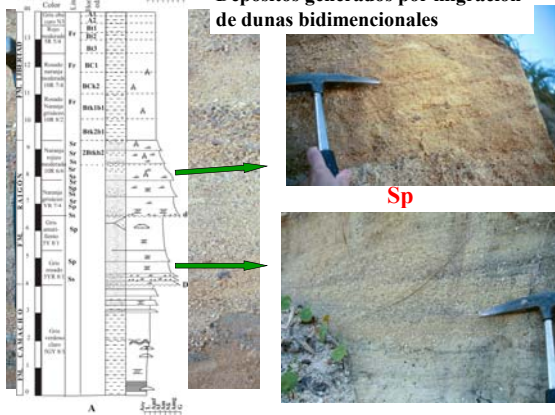
---

---

---

---

## Depósitos generados por migración de dunas bidimensionales




---

---

---

---

---

---

---

---

Asociación de litofacies Ss, Sp y Sr  
Sobre base cóncava, erosiva,  
indica:

Depósitos de relleno de canal

Litofacies Fm mantiforme

Indica:  
Depósitos de llanura de inundación

## ASOCIACIÓN DE FACIES

Grupo o conjunto de facies que guardan una clara relación física y genética entre sí. El concepto involucra tanto a las relaciones verticales como laterales entre las facies.

El concepto de asociación de facies es fundamental para definir mecanismos de formación de los depósitos sedimentarios, así como proponer modelos sobre sistemas de depositación y ambientes de acumulación.



Fig. 2. A: perfil barranca de Maicito, B: perfil barranca Araní. Tófaló et al.

---

---

---

---

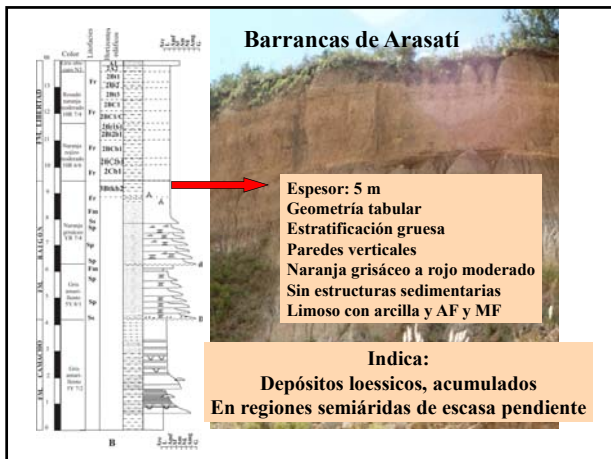
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---

**Problemas en la estratigrafía de Cuaternario**

*-Complejidad geológica inusual*  
 Genera problemas de clasificación, interpretación y correlación  
 Uno de los problemas son los límites

*Unidades cronoestratigráficas del Cuaternario*

Los principios básicos para la división cronoestratigráfica del Cuaternario son los mismos que los utilizados para el Fanerozoico, aunque varíe su importancia (climatológicos, magnéticos, isotópicos, etc), empleados en la cronocorrelación. En la parte superior del Cuaternario ha sido muy valiosa la determinación de edades por el método del C14.

Aunque resulte difícil o imposible establecer estratotipos de unidad locales completos o secciones tipo continuas, el mejor modo de definir las sería su caracterización como intervalos entre determinados estratotipos de límite adecuadamente designados

---

---

---

---

---

---

---

---

**Capítulo 4 de la International Stratigraphic Guide**

**Estratotipo:** es el tipo, original o designado posteriormente, de una unidad estratigráfica o de un límite estratigráfico, identificado como un intervalo específico o un punto específico en una secuencia específica de estratos y que constituye el patrón para la definición y reconocimiento de la unidad o límite estratigráfico

Se proponen 3 clases:

1. Estratotipo de unidad: es la sección tipo de los estratos que sirve como patrón para la definición y reconocimiento de la unidad estratigráfica. los límites inferior y superior son sus estratotipos límites
2. Estratotipo de límite: es el punto específico en una secuencia específica de estratos que sirve como el patrón para la definición y reconocimiento de un límite estratigráfico
3. Estratotipo compuesto: es un estratotipo de unidad formado por la combinación de varios intervalos especificados de estratos tipo conocidos como estratotipos-componentes. Una cierta unidad estratigráfica puede no estar expuesta en una sola sección y puede ser necesario designar una sección como el tipo de la parte baja de la unidad. En este caso, una de las dos secciones componentes se considerará como holoestratotipo y la otra como paraestratotipo

---

---

---

---

---

---

---

---

Un estratotipo de una unidad de rango superior formado por la combinación de los estratotipos de las unidades componentes de rango menor, esa también un estratotipo compuesto: el estratotipo de una Serie puede estar compuesto por los estratotipos de sus pisos. Si los componentes de un estratotipo compuesto son unidades formales, no es necesario distinguir una como holoestratotipo y otra como paraestratotipo

4. Localidad tipo y área tipo: la primera es la localidad geográfica en la cual está situado el estratotipo o donde fue definida o nombrada la unidad o límite. El área tipo es el territorio geográfico que rodea a la localidad tipo. Una localidad tipo es una localidad geográfica y un estratotipo es un perfil o sección estratigráfica



---

---

---

---

---

---

---

---

**Holoestratotipo:** el estratotipo originalmente designado en el momento de establecer una unidad o límite estratigráfica

**Paraestratotipo:** estratotipo suplementario, usado en la definición original para ayudar a la elucidación del holoestratotipo. O sea son 2 tipos primario originalmente designados

**Lectoestratotipo:** estratotipo seleccionado posteriormente en ausencia de un estratotipo original adecuadamente designado

**Neoestratotipo:** nuevo estratotipo seleccionado para reemplazar a otro que ha sido destruido o nulificado

**Hipoestratotipo:** designado para extender el conocimiento de la unidad o límite estratigráfico de un estratotipo a otras áreas. Está subordinado al holoestratotipo. Al igual que el neoestratotipo puede ubicarse fuera del área tipo. NO ASÍ LOS DOS PRIMEROS

Hay quienes no aprueban usar el concepto de estratotipo, porque implica equivalencias entre la nomenclatura biológica y estratigráfica. En el primer caso se agrupan individuos y en otro se subdivide los cuerpos de rocas en unidades práctica de trabajo. Por eso prefieren el concepto de Sección tipo, que tipifica el concepto de cuerpo de roca como unidad estratigráfica formal obtenida a través del examen de varias secciones

---

---

---

---

---

---

---

---

### ***Datación de materiales y procesos cuaternarios***

**Datación:** situar un fenómeno geológico en un sistema de representación del tiempo.

**Datación relativa:** ordenar cronológicamente los acontecimientos geológicos unos con respecto a otros. Principios fundamentales de la Estratigrafía.

Superposición  
Sucesión faunística  
Relaciones de corte  
Inclusiones

**Datación numérica:** cálculo de la fecha (date) o del intervalo de tiempo (age) que hace que ocurrió un fenómeno geológico con respecto a un año de referencia (año 0 = 1950).

---

---

---

---

---

---

---

---

### Clasificación de los métodos de datación:

- a. Métodos de datación históricos
- b. Métodos radiactivos
- c. Métodos físicos
- d. Métodos incrementales
- e. Métodos químicos
- f. Métodos estratigráficos

Denominación	Fundamento
<b>Métodos estratigráficos</b>	
Tefrocronología	Análisis estratigráfico de depósitos de tefra
Paleomagnetismo	Estudio de las inversiones del campo geomagnético a partir del análisis de rocas
Palinología	Estudio del contenido polínico de sedimentos continentales
Bioestratigrafía	Principio de la sucesión faunística
Cronología de varvas	Análisis de la ritmicidad a partir de varvas lacustres
<b>Métodos químicos</b>	
Aminoestratigrafía	Racemización de aminoácidos: transformación de aminoácidos L en aminoácidos D tras la muerte
Hidratación de la obsidiana	Medida del tamaño de las costras de hidratación
Isótopos estables ( $\delta^{18}O$ , $\delta^{13}C$ ; $^{87}Sr/^{86}Sr$ )	Variaciones del contenido isotópico en los sedimentos y rocas sedimentarias
<b>Métodos incrementales</b>	
Líquenometría	Relación directa entre el tamaño de los líquenes y la edad de la superficie que colonizan
Dendrocronología	Crecimiento anual de los anillos de los árboles
Crecimiento de organismos (corales, lamelibranquios, etc)	Estudio de la tasa de crecimiento de organismos a partir del análisis de las estrías de crecimiento

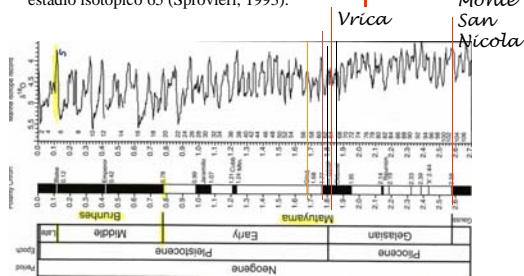
DENOMINACIÓN	FUNDAMENTO	RANGO DE EDAD
<b>Métodos radioactivos</b>		
$C^{14}/Ar^{38}$	Desintegración radiactiva natural por pérdida o ganancia de partículas $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$	$301 \times 10^3$ años
$C^{14}$		Hasta 50.000 años
$Ar^{39}/K^{39}$		+ de 100.000 años
$H^3/He^3$		12,43 años
<b>Métodos físicos</b>		
Huellas de fisión	Nº de huellas/superficie. Desintegración espontánea de $U^{238}$	De 1 a $10^9$ años. Materiales arqueológicos
Termoluminiscencia	Emisión de luz debido a calentamiento	De algunos siglos a varios miles de años
Luminiscencia simulada óptimamente	Emisión de luz debido a una amplia exposición a la luz solar	$500 \times 10^3$ años
Resonancia de spin electrónico (RSE)	La radiación natural altera el comportamiento de electrones que, a su vez, modifican el campo magnético del mineral	No menos de 20000 años
Exposición a rayos cósmicos	Huellas debidas a exposición de rayos cósmicos por unidad de superficie y tiempo	De 1 a $10^6$ años.
<b>Métodos históricos</b>		
Análisis de documentos históricos	Estudio de documentos realizados por el hombre (escritos, pintados, tallados...)	Al menos desde hace 10000 años
Registro arqueológico	Estudio de restos de culturas preterritas, enterrados o no	

Cronostratigrafía isotópica: sondeos utilizados: V28-239 (Pacífico ecuatorial), ODP-659 (Atlántico ecuatorial), ODP-846 y 677 (Pacífico ecuatorial). Escala isotópica obtenida en Vrica.

Límite P/P:

estadio isotópico 61 (Shckleton, 1989)  
estadio isotópico 63 (Shackleton et al., 1990)  
estadio isotópico 57 (Carobene y Dai Para, 1990)  
estadio isotópico 65 (Sprovieri, 1993).

Propuestas en concordancia con Vrica



Métodos geocronológicos del Cuaternario (Colman and Pierce, 1998)

Los métodos geocronológicos son clasificados según el tipo de resultado o de acuerdo con el tipo de método

#### TIPO DE RESULTADO

- edades numéricas
- edades calibradas
- edades relativas
- edad correlacionada

#### TIPO DE MÉTODO

- sideral
- isotópico
- radiogénico
- químico
- biológico
- geomorfológico
- correlación

Los autores recomiendan no utilizar la palabra ABSOLUTO , ya que todos los métodos llevan implícitamente incertidumbres

#### **BIOESTRATIGRAFÍA**

Es la rama de la estratigrafía que se focaliza en relacionar y asignar edades relativas a las rocas usando asociaciones de fósiles contenidos en ellas.

Generalmente se usa para correlacionar, es decir demostrar que un horizonte en particular en una determinada sección representa el mismo período que otro horizonte en otra sección

#### **Biozona de asociación (*assemblage biozone*)**

Es un cuerpo de roca caracterizado por una asociación única de tres o más taxones (taxón: es un grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados), que la distingue bioestratigráficamente de los estratos adyacentes. Puede basarse en un solo grupo taxonómico o en más de uno

Las asociaciones fosilíferas fueron tradicionalmente usadas para designar la duración de los períodos. dado que se requiere un gran cambio en la fauna para cambiar de un período a otro, la terminación de la mayoría de ellos se reconoce por un evento de extinción.

### MORFOESTRATIGRAFÍA

Aquella parte del registro litoestratigráfico representado por un rasgo morfológico específico

Implica la organización de rocas o sedimentos en unidades basadas en su forma (relieve), generalmente se hace su análisis junto al sedimentológico y pedológico



---

---

---

---

---

---

---

---

### TEFROCRONOLOGÍA

Es una técnica geocronológica que se basa en el estudio de capas discretas de cenizas u otros productos piroclásticos, para establecer correlaciones estratigráficas. Se basa en que cada evento volcánico produce material con una impronta química particular, que permite identificarla.

Las principales ventajas son:

- . Fáciles de identificar
- . Se depositan de manera casi instantánea en toda el área
- . Actúan como marcadores que permiten convalidar otras técnicas y
- . Permite unir secuencias muy distantes
- . Proporcionan un control sincrónico para correlacionar reconstrucciones paleoclimáticas continentales como estudios de varves lacustres, polen o testigos de fondo marino o de hielo
- . Amplía los límites de datación por C14



---

---

---

---

---

---

---

---

Requiere precisos ensayos geoquímicos (generalmente micropruebas con ME)

Las capas de ceniza volcánica o *estratos tefra* ha sido usada con éxito como estratos guía en USA, Alemania y Japón

La ceniza Mazama, procedente del Cráter Lago (Oregón), datada en 6600 aap cubrió parte del NW de USA y Canadá, permitiendo hacer correlaciones muy precisas

En Islandia se iniciaron los estudios de tefrocronología



---

---

---

---

---

---

---

---

# Fugloyarbanki tephra (Iceland)



## **Fugloyarbanki tephra**

Ice-core age:  
26,740 ± 390 yr before 2000 AD

(from Siwan Davies et al. 2008 JQS)

Identification of the fugloyarbanki tephra in the NGRIP ice core: a key tie-point for marine and ice-core sequences during the last glacial period

---

---

---

---

---

---

---

---

## **CLIMATOESTRATIGRAFIA**

En contraste con el resto del Fanerozoico, el cuaternario tiene una larga tradición en que las sucesiones sedimentarias sean divididas en base a cambios climáticos, particularmente en secuencias de depósitos glaciales en Europa central y latitudes medias de America del Norte. Esto fue adoptado en las sucesiones continentales diferenciando depósitos glaciales e interglaciales. Las divisiones son fundamentalmente litológicas




---

---

---

---

---

---

---

---

La influencia de los cambios climáticos sobre la sedimentación y erosión ha hecho que pese a los grandes avances, la clasificación basada en el clima se haya mantenido. Incluso las subdivisiones modernas utilizando isótopos están basadas en el mismo concepto básico.

Esto a su vez ha traído confusión pues se han tratado de correlacionar secuencias de muy diferentes zonas y distintos ambientes. Esto se debe a la gran complejidad de los cambios climáticos y a los variados efectos que producen estos cambios en los sistemas naturales




---

---

---

---

---

---

---

---

los sedimentos no son indicadores inequívocos del clima, por lo tanto deben utilizarse otras evidencias como asociaciones de fósiles, estructuras sedimentarias, texturas, desarrollo de paleosuelos.

La variabilidad climática local o regional complica el esquema, no obstante sigue existiendo la premisa de equiparar a escala global. Durante la primera mitad del siglo XX la escala preferida fue la desarrollada en los Alpes por Penck & Brückner (1909-11).

Würm	Glacial	(Würmian)
Riss/Würm	Interglacial	
Riss	Glacial	(Rissian)
Mindel/Riss	Interglacial	
Mindel	Glacial	(Mindelian)
Günz/Mindel	Interglacial	
Günz	Glacial	
Donau/Günz	Interglacial	
Donau	Glacial	
?Biber	Glacial	

Últimamente ha sido reemplazada por el registro isotópico de los testigos marinos y de hielo

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Las sucesiones estratigráficas cuaternarias continúan siendo divididas en unidades geoclimáticas basadas en *proxys* (indicadores climáticos).

*El Código Americano* (1961) define estas unidades geoclimáticas:

1. Glaciación: es un episodio climático durante el cual se desarrollan los glaciales, alcanzando su punto máximo.
2. Estadial. es un episodio climático que representa una subdivisión de la glaciación, durante el cual hay un avance secundario.
3. Interstadial: es un episodio climático durante la glaciación, en el cual hay una recesión de los glaciales
4. Interglacial: es un episodio durante el cual el clima es incompatible con la amplia extensión de los glaciales que caracterizan la glaciación

En la segunda mitad del siglo XX se reconoció que el Cuaternario debería subdividirse como el resto de la columna geológica usando tiempo o cronoestratigrafía como criterio básico (e.g. van der Vlerk 1959; Gibbard & West 2000). Como los pisos (stages) son las unidades de trabajo fundamentales en cronoestratigrafía se consideraron apropiadas para clasificaciones intraregionales (Hedberg, 1976). Sin embargo, la definición de pisos, con límites de tiempo paralelos es problemático sobre todo en sucesiones continentales. los límites en una región pueden ser paralelos, pero en grandes distancias son diacrónicos

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

En el sur de Sudamérica las reconstrucciones paleoclimáticas cubren especialmente desde el máximo de la última glaciación hace 20000 años hasta la actualidad; los registros paleoclimáticos anteriores son fragmentarios. La génesis y evolución de suelos actuales se relaciona con los episodios de acumulación de materiales eólicos vinculados con las fluctuaciones climáticas

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---