

GLACIAÇÕES

Texto original: [Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

Julho/2011

Tradução, ampliação e ilustrações: [Iran Carlos Stalliviere Corrêa-IG/UFRGS](#)

Uma **glaciação**, ou **idade do gelo**, é um período de larga duração no qual a temperatura da Terra sofre um resfriamento, ocasionando a expansão do gelo continental, das calotas polares e dos glaciais. As glaciações se subdividem em **períodos glaciais**, sendo o Wisconsiniano a última idade do gelo que ocorreu.

De acordo com a definição dada pela Glaciologia, o termo **glaciação** se refere a um período com a ocorrência de calotas glaciais tanto no hemisfério norte como no sul; segundo esta definição, ainda nos encontramos em uma **glaciação** devido à existência ainda de calotas polares na Groenlândia e na Antártica.

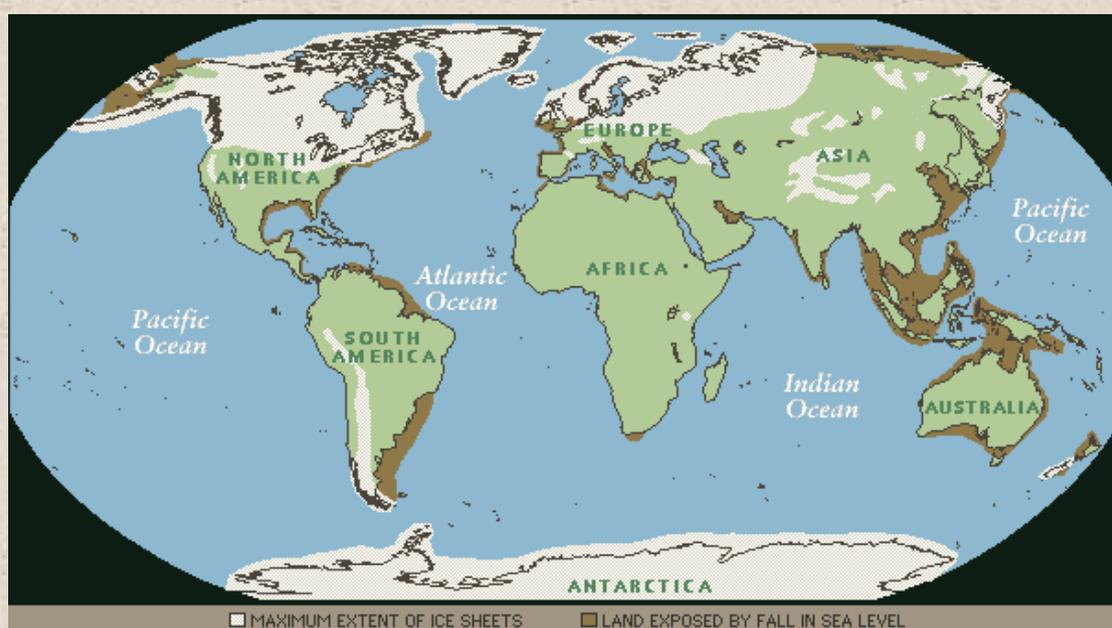


Mapa das vegetações durante o Último Máximo Glacial.

O **Último período glacial**, também referido como **Idade do Gelo**, **Glaciação Wisconsin**, **Glaciação Würms**, **Würmiano** ou **Laurenciano**, é a designação dada ao último episódio de glaciação da Terra registrado durante a presente idade geológica. Teve lugar durante a última parte do Pleistoceno, de aproximadamente 110.000 a 10.000 anos A.P. e é a mais conhecida das **glaciações antropológicas**.

Foi definida por A. Penck e E. Brückner (1901-1909), como **glaciações alpinas** (*Riss, Mindel, Günz, Donau*). Sua definição é baseada em observações geológicas consequentes da redução significativa das temperaturas médias durante um longo período (*gelo de água fluvial, morenas*) nos Alpes

Esta glaciação foi a última acontecida na Terra, e com ela se considera terminado o período Pleistoceno e as denominadas "**glaciações antropológicas**" por cientistas, devido ao fato de terem sido usadas para a travessia do homem para a América do Norte. As outras glaciações antropológicas, anteriores a **Würm**, foram a **Glaciação Donau**, há dois milhões de anos, a **Glaciação Günz**, há cerca de 700 mil anos, a **Glaciação Mindel**, há cerca de 400 mil anos e a **Glaciação Riss**, há 150 mil anos. Supõe-se, segundo as teorias enunciadas, que todas elas foram usadas pelo homem para chegar a América, em maior ou menor grau. Os cientistas as consideram "**glaciações recentes**".



Distribuição máxima de gelo

Normalmente, quando se fala dos últimos milhões de anos, se utiliza «**glaciação**» para se referir a períodos mais frios com extensas calotas glaciais na América do Norte e Eurásia. Este artigo usará o termo **glaciação** no primeiro sentido, o glaciológico; o termo **glaciais** para os períodos mais frios das glaciações; e **interglaciais** para os períodos mais quentes.



As calotas polares se expandem durante as glaciações.
A imagem mostra a calota Antártica, a esquerda e a calota Ártica, a direita.

HISTÓRIA



Louis Agassiz, naturalista que difundiu a teoria glacial.

A idéia de que no passado os **glaciais** foram mais extensos era conhecimento popular em algumas regiões alpinas da Europa: Imbrie & Imbrie (1979) obtém o testemunho de um lenhador que explicou a Jean de Charpentier a antiga extensão do glacial suíço do Grimselpass.

A teoria não foi proposta por uma única pessoa. Em 1821, o engenheiro suíço, Ignaz Venetz, apresentou um artigo no qual sugere a presença de **feições glaciais** a distâncias consideráveis dos glaciais existentes nos Alpes; isso era indicativo de que os glaciais foram maiores no passado e que ocuparam posições vale abaixo. Entre 1825 e 1833, Charpentier reuniu provas para apoiar esta idéia. Em 1836, Charpentier e Venetz convenceram a Louis Agassiz de sua teoria, e Agassiz a publicou em seu livro **Étude sur les glaciers** ("Estudo sobre os glaciais").



Glacial Suíço do Grimselpass

Na época de Agassiz, o que se estudava eram os **períodos glaciais** das últimas centenas de milhares de anos. Todavia não se suspeitava da existência de antigas idades glaciais. Não obstante, a princípios do século XX, se estabeleceu que a orografia terrestre mostrava características somente explicáveis pela sucessão de vários eventos glaciais; de fato, se dividiu o período **glacial Quaternário**, para a Europa e América do Norte, em quatro elementos, baseados fundamentalmente nos depósitos glaciais (*em ordem de ocorrência, Nebrasquiense, Kansaniense, Illinoiense e Wisconsinense*). Estas divisões tradicionais foram substituídas no final do século XX quando sondagens efetuadas no fundo marinho revelaram registros muito mais completos sobre o clima do período **glacial Quaternário**.

EFEITOS DAS GLACIAÇÕES

Existem três tipos principais de **efeitos das glaciações**, que têm sido empregados como provas de sua passada existência: geológicas, químicas e paleontológicas.

- **Geologia.** As provas geológicas são obtidas a partir de várias formas, como rochas erosionadas (*seja por arranque, nas fases iniciais, seja por abrasão e geração de estrias glaciais, seja por pulverização e formação de farinha de rocha*), pela presença de vales glaciais, arestas glaciais e horst, morainas glaciais, depósito de tills, blocos erráticos, trens de vale, lagos nas planícies e fiordes nas costas. Quer dizer, as condições do clima próprio de uma época **glacial** provocam o aparecimento das fisionomias anteriormente descritas na orografia. As **glaciações** sucessivas tendem a distorcer e eliminar as provas geológicas, ocasionando dificuldade na interpretação.



Estrias Glaciais



Vale Glacial



Blocos Erráticos

- **Química.** As provas químicas consistem principalmente nas variações da proporção de isótopos em rochas sedimentares, núcleos sedimentares oceânicos e, para os períodos glaciais mais recentes, núcleos de gelo (*comumente situados nas neves eternas*). Devido que a água com isótopos mais pesados tem uma temperatura de evaporação mais alta, sua quantidade se reduz quando as condições são mais frias; isto permitiu a elaboração de um registro térmico. Ainda assim, estas provas podem estar adulteradas por outros fatores que mudam a proporção de isótopos. Por exemplo, uma extinção em massa incrementa a proporção de isótopos nos sedimentos e no gelo devido que os processos biológicos tendem a preferir estes últimos; por tanto, uma redução nos processos biológicos libera mais isótopos, que podem se depositar nos sedimentos.
- **Paleontologia.** As provas paleontológicas se baseiam nas variações das distribuições geográfica dos fósseis; durante um período de **glaciação**, os organismos adaptados ao frio migram para latitudes mais baixas, e os organismos que preferem um clima mais quente se extinguem ou vivem em zonas mais equatoriais. Isto dá lugar a aparição de **refúgios glaciais** e movimentos biogeográficos de retorno. Também é difícil interpretar estes indícios devido que precisam de: sequências de sedimentos que representem um largo período, diferentes latitudes e que possam ser correlacionados facilmente; organismos primitivos presentes durante largos períodos com caracteres suficientemente homogêneos como para poder atribuir-los a um mesmo táxon, e dos quais se conhece o clima ideal (*isto é, que podem ser empregados como marcadores*); e descobrimento de fósseis adequados, coisa que depende muito da sorte.

Apesar das dificuldades, as análises de **núcleos de gelo** e de sedimentos oceânicos mostram claramente a alternância de **períodos glaciais** e **interglaciais** durante os últimos milhões de anos.

CRONOLOGIA

Ocorreram, no mínimo, quatro grandes **idades glaciais** no passado. Aparte destes períodos parece que a Terra sempre esteve livre de gelo inclusive em suas latitudes mais altas.

A glaciação hipotética mais antiga, a **Glaciação Huroniana**, teve lugar entre 2.700 e 2.300 milhões de anos, a princípios do eón Proterozóico.



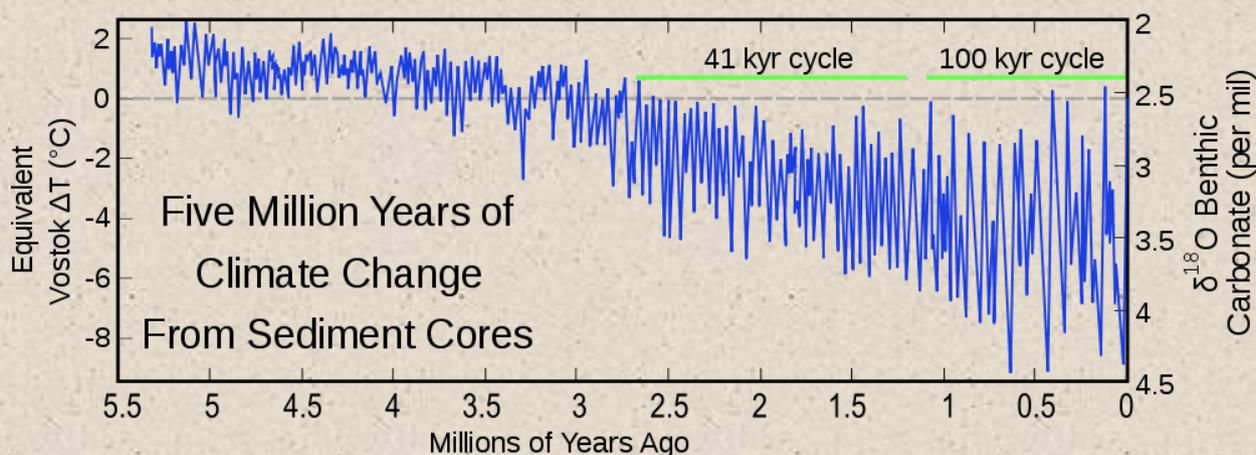
Glaciação Huroniana a mãe de todas as glaciações



Mapa da idade do gelo do norte da Europa central.

Em vermelho: limite máximo da glaciação Weichseliana; em amarelo: máximo da glaciação de Saala; em azul: glaciação máxima da idade do gelo de Elster.

A **glaciação mais antiga**, e provavelmente a mais severa dos últimos mil milhões de anos, teve lugar entre 850 e 630 milhões de anos (*período Criogênico*), e poderia ter produzido uma **glaciação global** (quer dizer, um período no qual o globo inteiro ficou coberto de gelo). Terminou muito rapidamente à medida que o vapor de água voltava a atmosfera terrestre e se incrementava o efeito estufa provocado pela acumulação de dióxido de carbono emitido pelos vulcões, já que os mares gelados não teriam capacidade de absorção do citado gás. Sugere-se que no final desta glaciação se desencadeou a explosão cambriana, ainda que esta teoria seja recente e controvertida.



Os registos sedimentares mostram as sequências alternadas de períodos glaciais e interglaciais nos últimos milhões de anos.

Uma glaciação menor, a **Andeana-Sahariana**, ocorrida entre 60 e 430 milhões de anos, durante o Ordoviciano superior e o Siluriano, teve intervalos com extensas calotas polares entre 350 e 260 milhões de anos, durante o Carbonífero e Cisuraliano, relacionados com a glaciação de Karoo.

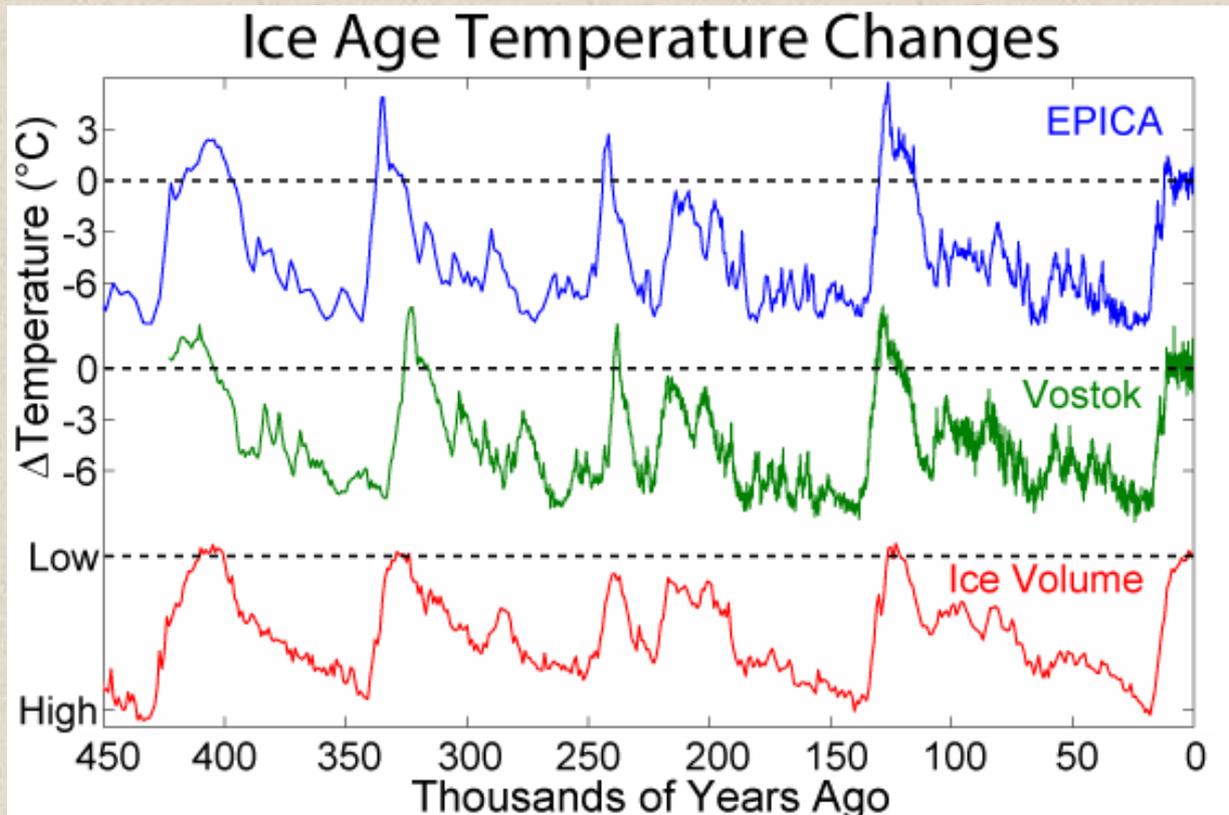
A glaciação atual teve início a 40 milhões de anos com a expansão de uma capa de gelo na Antártica. Intensificou-se no final do Plioceno, a três milhões de anos, com a extensão da capas de gelo no hemisfério norte, e continuou durante o Pleistoceno. Desde então, o mundo tem passado por ciclos de glaciação com o avanço e retrocesso das capas de gelo durante milhares de anos. O **período glacial** mais recente, no sentido amplo, acabou há uns dez mil anos, pelo que, dependendo do autor, poderíamos assegurar que nos situamos em um **período interglacial**. Existem, entretanto outras teorias que afirmam que estamos em uma era **posglacial**.

SUCESSÕES GLACIAIS

Na tabela abaixo é listada a sucessão das épocas glaciais e interglaciais:

Clima	Denominação	Antiguidade	Época
Pos-glacial	Atual	10.000	Holoceno
Glacial	Glaciação Würm ou Wisconsin	80.000	Pleistoceno
Interglacial	Riss-Würm	140.000	
Glacial	Glaciação Riss ou Illinois	200.000	
Interglacial	Mindel-Riss	390.000	
Glacial	Glaciação Mindel ou Kansas	580.000	
Interglacial	Günz-Mindel	750.000	
Glacial	Glaciação Günz ou Nebraska	1,1 m.a.	
Interglacial	Donau-Günz	1,4 m.a.	
Glacial	Donau	1,8 m.a.	
Interglacial	Biber-Donau	2 m.a.	
Glacial	Biber	2,5 m.a.	
Glacial	Oligoceno	37 m.a.	Cenozóico
Interglacial	Eoceno superior	40 m.a.	
Glacial	Paleogeno	80 m.a.	
Interglacial	Cretácico	144 m.a.	Mesozóico
Glacial	Permocarbonífero	295 m.a.	Paleozóico
Glacial	Carbonífero inferior	350 m.a.	
Glacial	Ordoviciano	440 m.a.	
Glacial	Pré-Cambriano	700 m.a.	Pré-Cambriano
Glacial	Primeira glaciação	2.000 m.a.	Proterozóico

GLACIAIS E INTERGLACIAIS

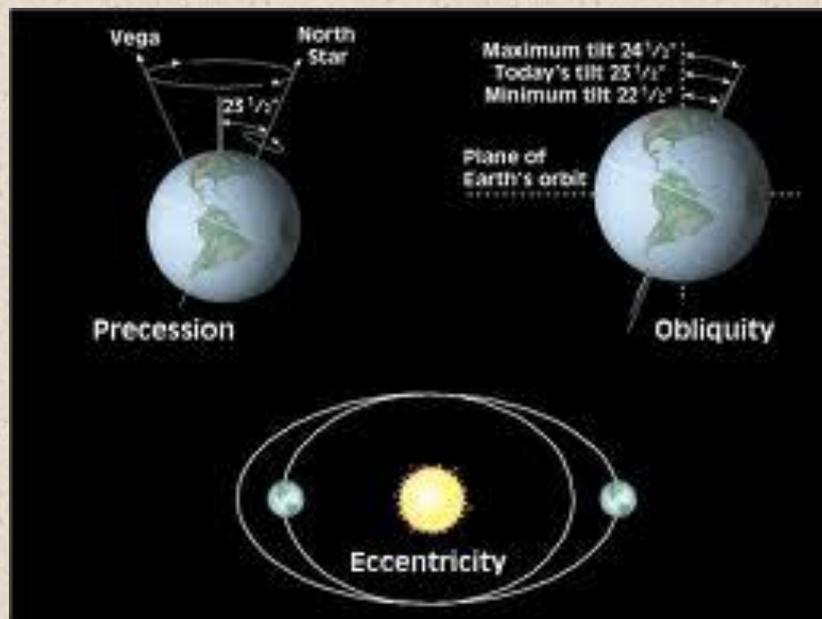


O padrão de mudança na temperatura e o volume de gelo relacionados com os glaciais e interglaciais recentes.

Os **glaciais** se caracterizam por climas mais frios e secos em grande parte da terra, assim como por grandes massas de gelo que se estendem desde os polos por terra e mar. Os **glaciais das montanhas** chegam a altitudes mais baixas por causa de uma cota de neve menor. O nível do mar baixa devido ao congelamento da água na forma de gelo. Existem provas de que as glaciações distorcem os padrões de circulação oceânica. Como a Terra tem grandes zonas geladas no Ártico e na Antártica, atualmente nos encontramos em um mínimo glacial. Estes períodos se denominam "**interglaciais**". O interglacial atual recebe o nome de **Holoceno**.

É atribuído aos **períodos glaciais** uma duração de uns doze mil anos, porém as conclusões derivadas do estudo de núcleos de gelo parecem contradizê-lo. Por exemplo, um artigo na *Nature* sugere que o interglacial atual pode ser parecido a um interglacial anterior que teve uma duração de 28.000 anos.

As trocas devidas a **variação orbital da Terra** sugerem que a próxima glaciação iniciará daqui a cinquenta mil anos, devido ao aquecimento global provocado pelo ser humano. Ainda assim, as trocas provocadas pelos gases do efeito estufa deverão compensar a variação orbital se continuar usando combustível fóssil.



Variação orbital da Terra

REGULAÇÃO

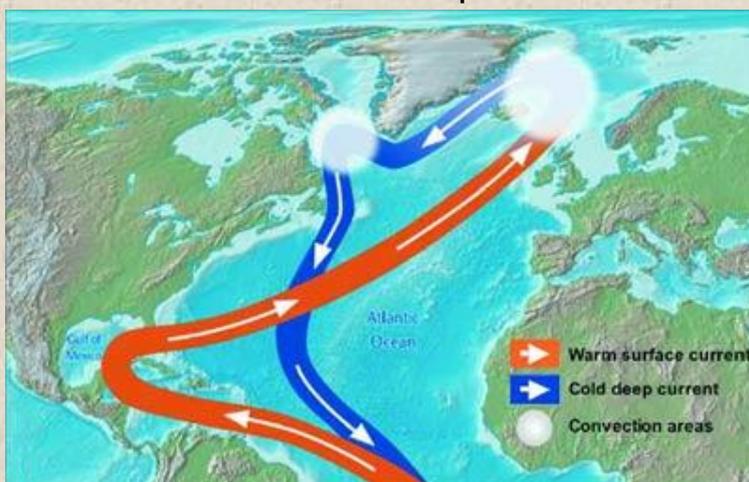
Cada período glacial está sujeito a uma retro-alimentação positiva que o faz mais severo e uma retro-alimentação negativa que suaviza os efeitos e que acaba por restabelecer o equilíbrio.

PROCESSOS QUE AUMENTAM A GLACIAÇÃO

O gelo e a neve aumentam o **albedo**, isto é, fazem com que se reflita mais luz solar e se absorva menos. Por tanto, quando a temperatura do ar abaixa, aumentam as capas de gelo e neve, e isto continua até que se obtenha um equilíbrio. A redução dos bosques, que provoca a expansão do gelo, também incrementa o **albedo**.

Outra teoria sugere que se o oceano Ártico ficasse sem gelo provocaria mais precipitações em forma de neve nas altas latitudes. Quando o oceano Ártico está coberto de gelo a baixa temperatura, ocorre pouca **evaporação** ou **sublimação**, e isto faz com que as

regiões polares sejam secas em relação a precipitações, isto seria mais ou menos como nos desertos. Estas escassas precipitações permitem que a neve se evapore durante o verão. Quando não há gelo, o oceano absorve energia solar durante os longos dias estivais e evapora mais água. Com mais precipitações, uma parte da neve não se evapora durante o verão, e o gelo glacial se forma a latitudes inferiores, reduzindo as temperaturas por via do aumento do albedo (*as previsões atuais indicam que o aquecimento global eliminará o gelo do oceano Ártico daqui a cinquenta anos*). A água doce adicional que chega a região norte do oceano Atlântico, durante um ciclo mais quente, também pode reduzir a circulação termohalina. Tal redução (*atenuando os efeitos da corrente do Golfo*) também esfriaria o norte da Europa, o que causaria mais neve. Também se tem sugerido que, durante uma longa glaciação, os glaciais podem atravessar o Golfo de São Lourenço, chegando até o norte do Atlântico e bloqueando a corrente do golfo.



Corrente do Golfo

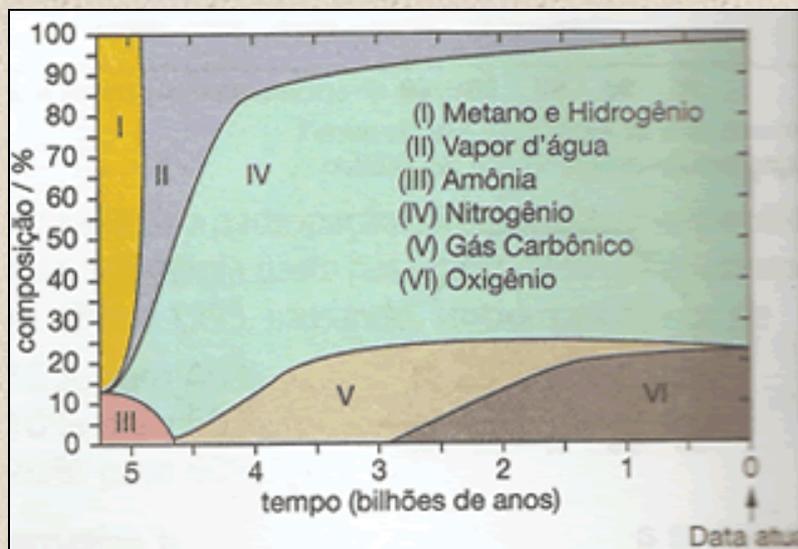
PROCESSOS QUE A ATENUAM

As **calotas glaciais** que se formam durante as glaciações erosionam a superfície terrestre. Depois de um tempo, isto produz um afundamento isostático da crosta terrestre por debaixo do nível do mar, reduzindo o espaço em que se podem formar **calotas de gelo**. Isto atenua a retro-alimentação do albedo, igual que a redução do nível do mar que acompanha a formação das calotas de gelo.

Outro fator é que a **aridez** provocada pelo **máximo glacial** reduz as precipitações, fazendo com que seja mais difícil manter a glaciação. O retrocesso glacial provocado por este ou qualquer outro processo pode ser amplificado por processos similares.

CAUSAS DAS GLACIAÇÕES

Qualquer teoria científica que pretenda explicar as **causas das glaciações** deve encarar duas questões fundamentais. O que causa o **início** das condições glaciais? E o que causou a alternância de etapas **glaciais** e **interglaciais**, documentadas no Pleistoceno? As causas das idades glaciais, todavia é um tema controvertido. Existe consenso em que vários fatores são importantes: a composição da atmosfera; as mudanças da órbita da Terra ao redor do Sol (*chamada ciclos de Milankovitch*); a dinâmica das placas tectônicas e seu efeito sobre a situação relativa e a quantidade de crosta oceânica e terrestre da superfície da Terra; as variações na atividade solar; a dinâmica orbital do sistema Terra-Lua; e o impacto de meteoritos de grandes dimensões ou as erupções vulcânicas.



As áreas numeradas no gráfico mostram a composição em volume, aproximada, dos gases na atmosfera terrestre, desde a sua formação até os dias atuais.

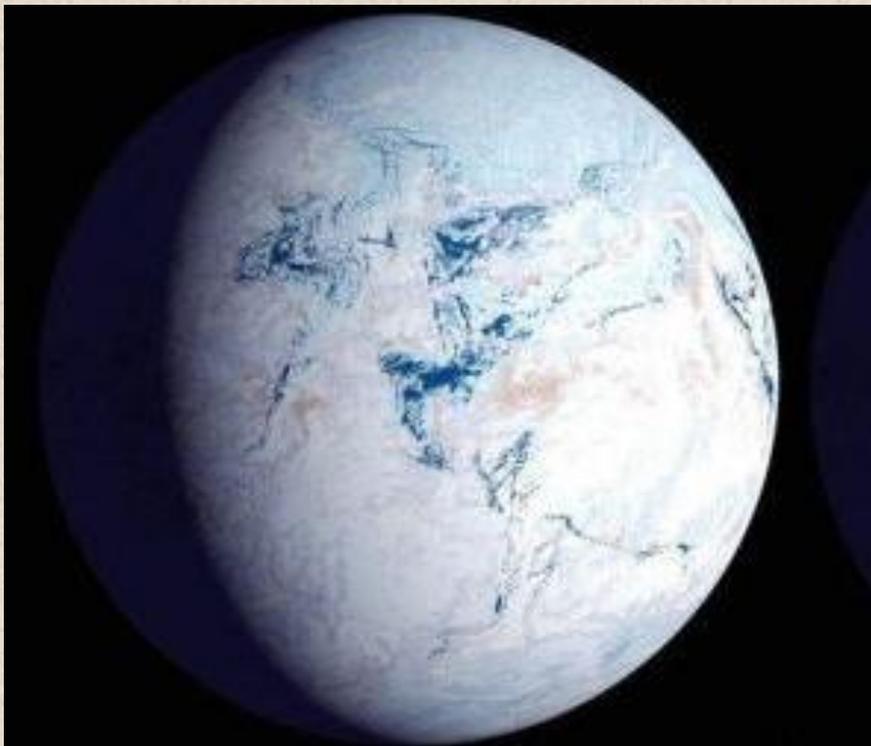
Alguns destes fatores têm uma relação de causa-efeito. Por exemplo, as mudanças na **composição da atmosfera da Terra** (especialmente a concentração de gases do efeito estufa) podem alterar o **clima**, enquanto que as **mudanças climáticas** podem mudar a **composição da atmosfera**.

William Ruddiman, Maureen Raymo e outras têm sugerido que as **mesetas** do Tibet e Colorado são imensos sumidouros de CO₂, com uma capacidade de eliminar suficiente dióxido de carbono da atmosfera como por ser um fator significativo da tendência de resfriamento dos últimos 40 milhões de anos.

MUDANÇAS NA ATMOSFERA TERRESTRE

A troca mais importante é na quantidade de gases do efeito estufa na atmosfera. O nível de gases do **efeito estufa** pode ter sido alterado por outros fatores propostos como causa das idades glaciais, como por exemplo, o movimento dos continentes ou o vulcanismo.

A teoria da "**Terra Bola de Neve**" afirma que a grande glaciação ocorrida no final do Proterozóico chegou a seu fim devido ao aumento do nível de CO₂ da atmosfera, e alguns dos que apóiam a teoria, argumentam que a **Terra Bola de Neve** foi causada por uma redução do CO₂. Esta hipótese prevê a futura repetição deste evento. William Ruddiman propôs a hipótese do **Antropoceno antigo** (*nome dado por alguns ao período mais recente da história da Terra*), segundo a qual os humanos começaram a ter um impacto global significativo no clima e nos ecossistemas da Terra, não só no século XVIII com a Revolução industrial, se não já há oito mil anos, devido as intensas atividades agrícolas dos humanos antigos. Ruddiman afirma que os gases do efeito estufa **gerados pela agricultura** impediram o início de uma **nova glaciação**.



Terra Bola de Neve

POSIÇÃO DOS CONTINENTES

O registro geológico parece indicar que as **idades glaciais** tiveram início quando os continentes se encontravam em uma posição que bloqueava ou reduzia o fluxo de água quente do equador aos polos, permitindo a formação de **calotas glaciais**. As capas de gelo aumentam o albedo da Terra, reduzindo a absorção de radiação solar. Esta redução da absorção de radiação ocasiona o resfriamento da atmosfera; este resfriamento faz crescer as **calotas de gelo**, aumentando o albedo todavia mais.

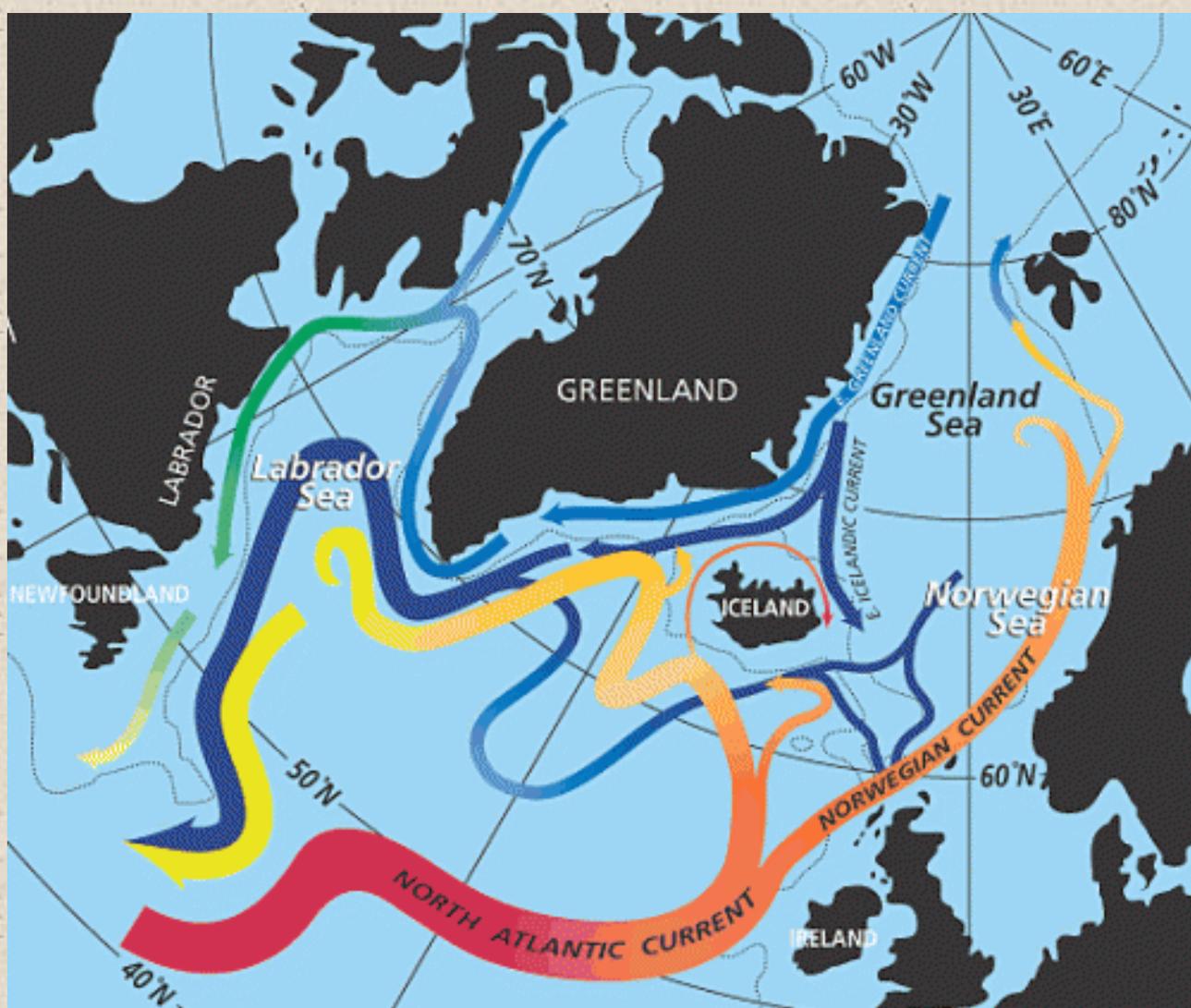
Conhecem-se três configurações na posição dos continentes que bloqueiam ou **reduzem o fluxo de água quente** do equador aos polos:

- quando um continente se encontra no polo, como a Antártica atualmente;
- quando um mar polar se encontra quase totalmente rodeado de massas de terra, como o oceano Ártico;
- quando um supercontinente cobre a maior parte do equador, como Rodinia durante o período Criogênico.

Posto que a Terra tenha atualmente um continente em seu polo sul e um oceano no polo norte, os geólogos inferem que a Terra continuará sofrendo **períodos glaciais no futuro** (*geologicamente*) próximo.

Alguns pesquisadores opinam que o Himalaia é um fator chave na glaciação atual, pois estas montanhas incrementam as precipitações totais da Terra, e por tanto o ritmo ao qual o CO₂ é eliminado da atmosfera, reduzindo o **efeito estufa**. A formação do Himalaia iniciou há uns setenta milhões de anos, quando a placa indiana colidiu com a placa euro-asiática (*todavia este continua elevando-se uns cinco milímetros por ano devido que a placa indiana se move a um ritmo de 67 mm por ano*). A história do Himalaia encaixa geralmente com a redução a longo termo da temperatura média global desde o Eoceno, há quarenta milhões de anos.

Outros aspectos importantes que contribuíram na configuração climática de períodos anteriores são as **correntes oceânicas**, que variam segundo a posição dos continentes e outros fatores. Têm a capacidade de esfriar (*por exemplo, contribuindo na formação de gelo da Antártica*) e de esquentar (*outorgando as ilhas Britânicas um clima temperado em lugar de boreal*) o clima global. O fechamento do istmo de Panamá há aproximadamente três milhões de anos poderia ter dado base ao período atual de forte glaciação na América do Norte, pondo fim ao intercâmbio de água entre as regiões tropicais do Atlântico e o Pacífico.



A figura mostra em mais detalhes a corrente quente do Atlântico Norte (em vermelho) responsável pelo clima da Islândia e da Noruega que no seu resfriamento passa pelas cores laranja e amarelo. São mostradas as correntes frias em azul e verde.

CICLOS ASTRONÔMICOS DE MILANKOVITCH

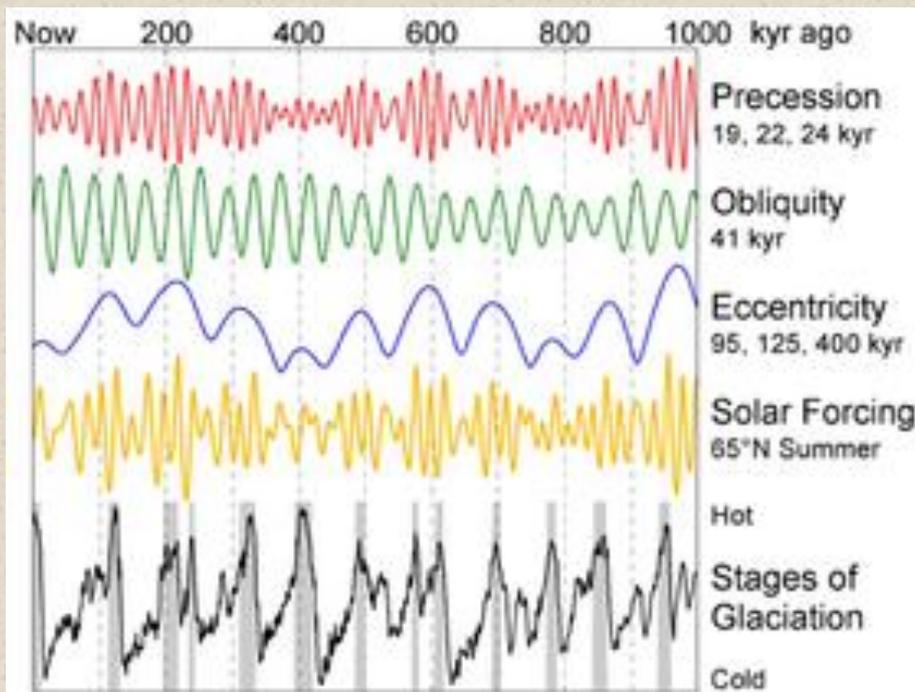


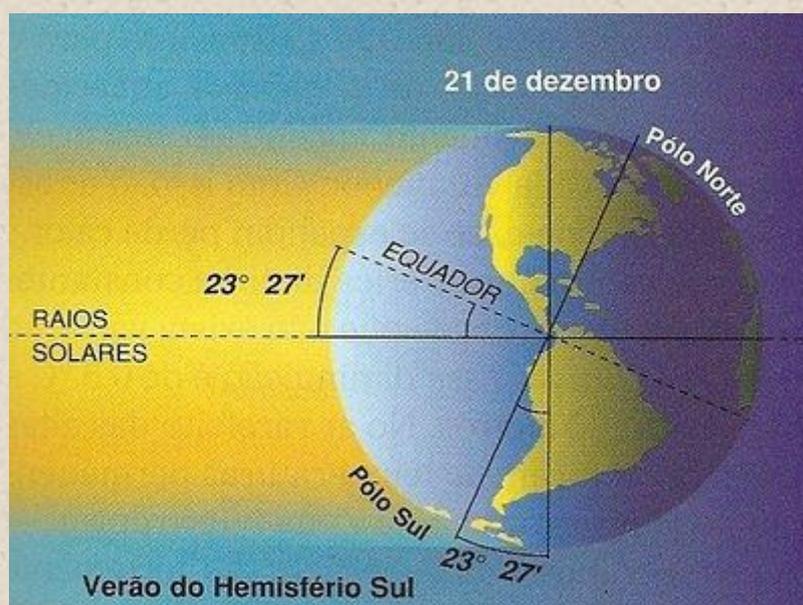
Diagrama dos ciclos de Milankovitch ao longo do último milhão de anos.

Os **ciclos de Milankovitch** são uma série de variações cíclicas nas características da órbita da Terra ao redor do Sol. Cada ciclo tem uma duração diferente, de forma que as vezes seus efeitos se compensam e as vezes até se cancelam mutuamente.

Os pesquisadores duvidam de que os **ciclos de Milankovitch** possam iniciar ou terminar uma **glaciação**: pois até quando seus efeitos se combinam, estes não são suficientes; e porque as ocasiões em que os efeitos se compensam ou se anulam são muito mais regulares e frequentes que as **idades glaciais**. Não obstante, existem modelos climáticos que os incluem e que predizem a resposta climática.

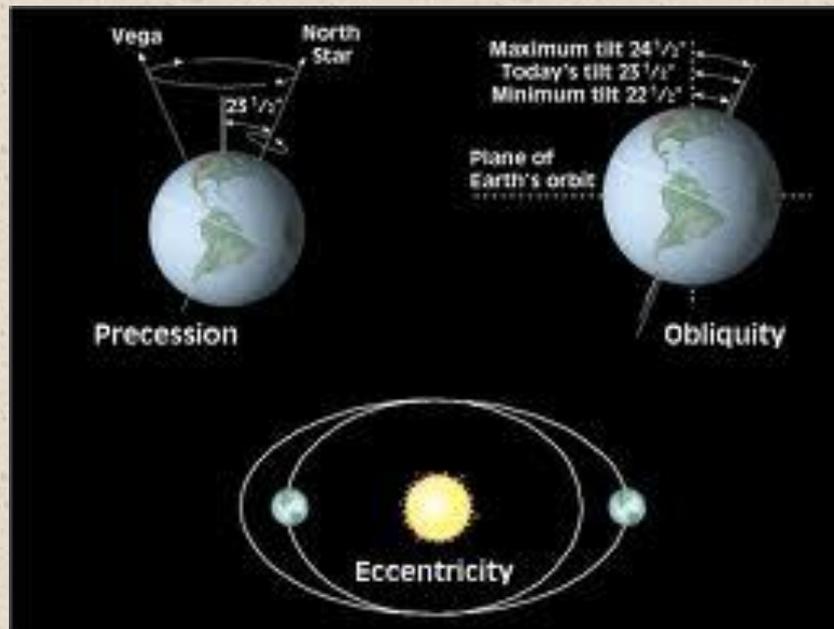
Em troca, há indícios importantes que os **ciclos de Milankovitch** afetam a alternância de períodos **glaciais** e **interglaciais** dentro de cada idade do gelo. A **glaciação atual** é a mais investigada e a melhor compreendida, especialmente os últimos 400.000 anos, pois este é o período que cobre os núcleos de gelo, que mostram a composição atmosférica, a temperatura e o volume de gelo. Neste período, a correspondência dos períodos glaciais e interglaciais com os períodos de variação orbital é tão clara que se permite aceitar o papel que joga a variação da órbita. Os efeitos combinados da distância variável ao Sol e

as variações no eixo da Terra e em sua inclinação, redistribuem a luz solar que recebe a Terra. Os mais importantes são as mudanças na **inclinação do eixo da Terra**, que afetam a intensidade das estações. Por exemplo, a insolação a 65° de latitude norte em julho pode variar até uns 25% (de 400 W/m^2 a 500 W/m^2). Acredita-se que as **calotas de gelo** avançam quando os verões são demasiados frios para derreter toda a neve acumulada durante o inverno anterior. Alguns acreditam que as **variações orbitais** não são suficientes para desencadear uma glaciação, porém há outros fatores que podem contribuir.



Inclinação do Eixo da Terra

Entretanto a **teoria de Milankovitch** prediz que as trocas cíclicas da órbita solar podem ficar gravadas no registro glacial, faltam explicações para estabelecer que ciclos jogam o papel mais importante na alternância glacial-interglacial. De fato, durante os últimos 800.000 anos, o **período de alternância glacial-interglacial** tem sido de 100.000 anos, o que corresponde com as mudanças na **excentricidade** e na **inclinação orbitais**. Porém este é de longe a frequência mais reduzida das três estabelecidas por Milankovitch. Durante o período entre 3 e 0,8 milhões de anos, o padrão dominante de glaciação correspondia com o período de 41.000 anos das mudanças na **obliquidade da Terra** (a inclinação de seu eixo). As razões do domínio de uma frequência sobre outra, todavia não é bem compreendida e estão sendo investigadas, porém é provável que a resposta esteja relacionada com algum tipo de resposta complexa do sistema climático terrestre.



Precessão, Excentricidade e Obliquidade da Terra

A teoria "**tradicional**" não chega a explicar o domínio do ciclo de 100 mil anos durante os últimos oito ciclos. Richard A. Muller, Gordon J. MacDonald e outros têm indicado que estes cálculos são aptos para um modelo bidimensional da órbita terrestre, porém a órbita tridimensional também tem um ciclo de variação da obliquidade que dura 100 mil anos. Propõem que estas variações da obliquidade podem conduzir a variações na insolação. Ainda quando se põe em jogo um mecanismo diferente ao do **conceito tradicional**, os períodos previstos ao longo dos últimos 400.000 anos são praticamente os mesmos. A validade da teoria de Muller e MacDonald tem sido questionada por sua vez por Rial.

William Ruddiman sugere um modelo que explica o ciclo de 100 mil anos modulando a **excentricidade** sobre a **precessão**, combinado com o efeito dos gases de efeito estufa. Peter Huybers propõe, todavia outra teoria, argumentando que o ciclo dominante sempre tem sido o de 41.000 anos, mas a Terra tem atualmente um comportamento climático em que só tem lugar uma **idade glacial** a cada dois ou três ciclos. Isto implicaria que o período de 100 mil anos não é mais que uma ilusão criada por ciclos com duração média de 80.000 e 120.000 anos. Esta teoria corresponde a incerteza das datações, porém não recebeu muito apoio.

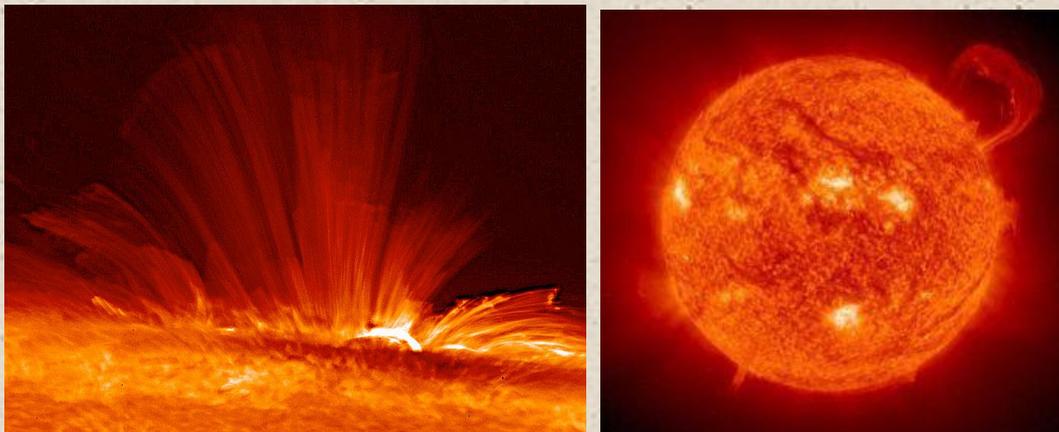
VARIAÇÕES NA ATIVIDADE SOLAR

Pelo menos existem dois tipos de variação na **atividade solar**:

- Há muito tempo, os astrofísicos estimam que o Sol libera 10% a mais de energia a cada 10^9 anos. Daqui a mil milhões de anos, os 10% adicionado serão suficientes para causar um **efeito estufa** irreversível na Terra - o aumento da temperatura produz mais vapor, o vapor age como um gás de **efeito estufa** mais potente que o CO_2 , a temperatura aumenta, mais vapor é produzido, e assim por diante.
- Variações em curto prazo. Uma vez que o Sol possui um grande tamanho, os efeitos de seus desequilíbrios internos e os processos de retro-alimentação negativa demoram muito tempo para se propagar, de forma que estes processos são reforçados e produzem, todavia mais desequilíbrios. Neste contexto, "**muito tempo**" significa milhares ou milhões de anos.

O aumento, em longo prazo, da emissão de energia do Sol não pode ser a causa das idades glaciais.

As variações em curto prazo, melhor conhecidas, são os ciclos das **manchas solares**, especialmente o **mínimo de Maunder**, que está relacionado com a parte mais fria da pequena idade do gelo. Como nos ciclos de Milankovitch, os efeitos dos ciclos das **manchas solares** são, muitas vezes, demasiado fracos e frequentes para explicar o início e o fim das idades glaciais, mas é muito provável que seja a razão das variações de temperatura dentro das idades glaciais.



Manchas Solares

VULCANISMO

Os maiores episódios vulcânicos conhecidos, as erupções que criaram os **traps siberianos** e o **Decán** e que jogaram um papel importante durante as extinções em massa, não tem nada a ver com as idades glaciais. A primeira vista, parece que isto pode implicar em que o **vulcanismo** não pode produzir glaciações.

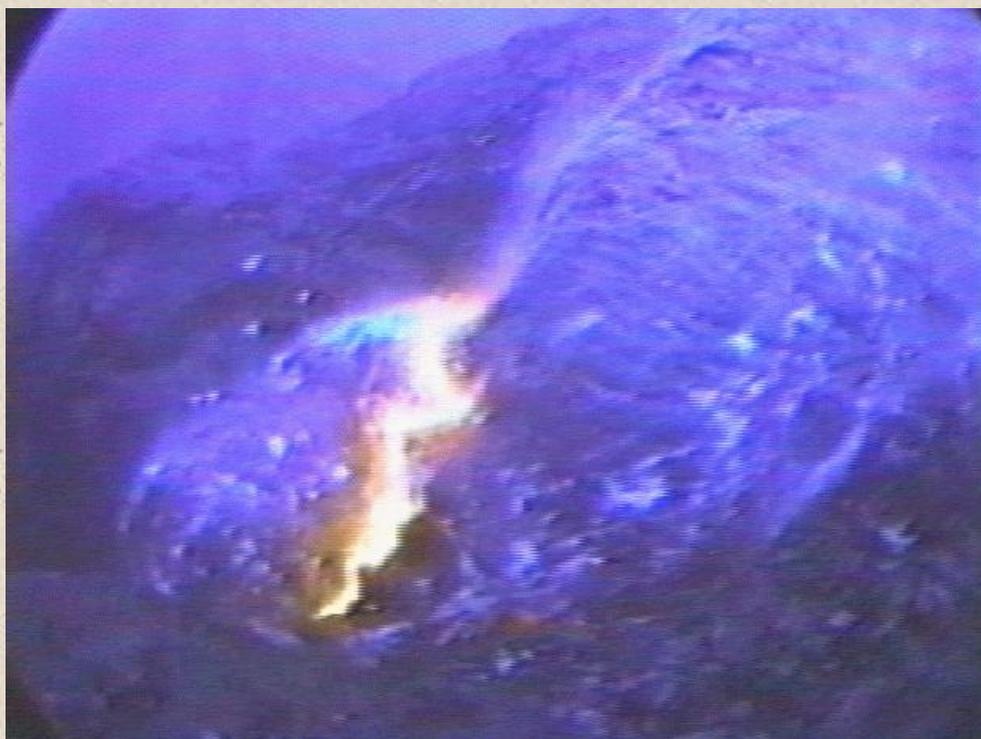


Afloramento da parte inferior dos traps siberianos, a província basáltica que se formou após longas erupções no final do Pérmiano - Fonte: Siberian Traps Expedition 2009 (<http://siberia2009.wordpress.com/>)

Ainda assim, 70% da superfície terrestre está coberto de água, e a teoria das placas tectônicas prediz que a crosta oceânica da Terra se renova completamente a cada 200 milhões de anos. Por tanto, é impossível encontrar indícios de planícies submarinas ou de outros grandes episódios vulcânicos de mais de 200 milhões de anos, e os indícios de episódios vulcânicos mais antigos possivelmente já tenham sido erosionados. Em outras palavras, não se ter encontrado provas de outros acontecimentos vulcânicos a grande escala, não significa que não tenham ocorrido.

Em teoria, é possível que os **vulcões submarinos** tenham posto fim a uma **idade glacial**, criando um aquecimento global. Uma explicação proposta do máximo térmico do Paleoceno-Eoceno é que os vulcões submarinos liberaram metano preso em **clatratos**, causando um grande e rápido aumento do efeito estufa.

É difícil de imaginar que papel poderia ter o **vulcanismo** em iniciar uma **idade glacial**, devido ao fato de que os efeitos para pará-lo deverão ser mais fracos e em mais curto tempo que os efeitos que o produziram. Isto exigiria poeiras e nuvens de aerossóis que permaneceriam na atmosfera superior, bloqueariam a luz solar durante milhares de anos, coisa que parece ser improvável. Os **vulcões submarinos** não poderiam produzir este efeito devido que a poeira e os aerossóis seriam absorvidos pelo mar antes que chegassem a atmosfera. Não obstante, esta hipótese se baseia como plausível no caso da **Pequena Idade do Gelo**.



Vulcanismo Submarino

GLACIAÇÕES NOTÁVEIS

Duas glaciações têm sido especialmente dramáticas na história da Terra: a **Terra Bola de Neve**, que teve início no final do Proterozóico, a aproximadamente uns 700 milhões de anos, e a glaciação **Wisconsiniana** ou **Würm**, ocorrida no final do Pleistoceno. Outra idade glacial de especial impacto na história recente foi a **Pequena Idade do Gelo**, que teve início nos primeiros anos do século XIV até meados do século XIX.

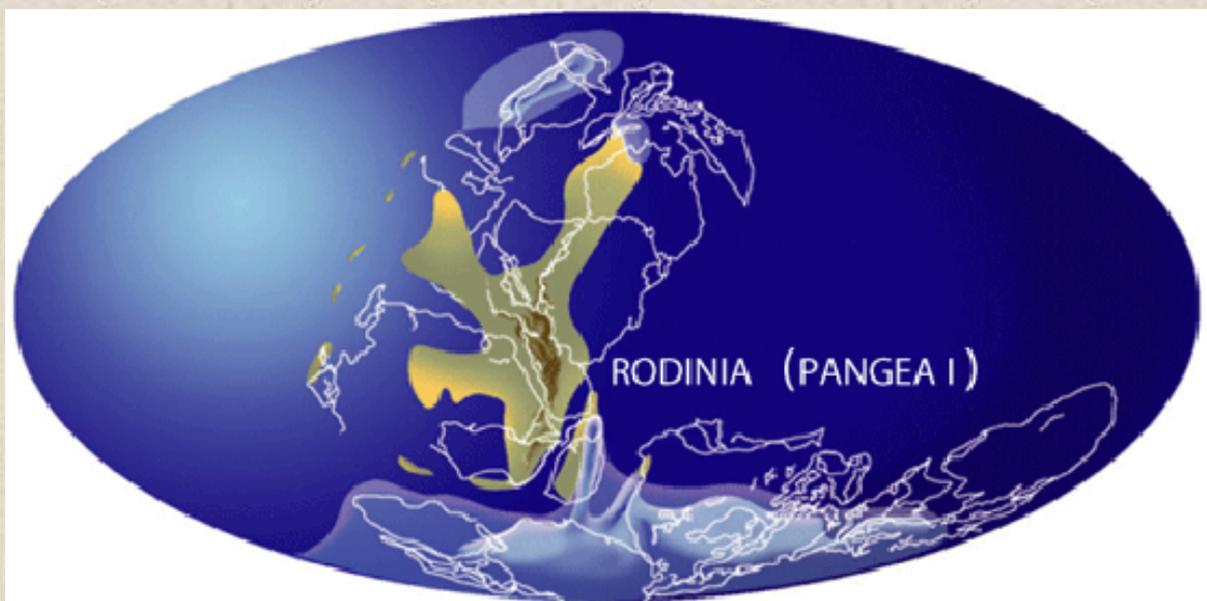
TERRA BOLA DE NEVE



A superfície terrestre devia ter uma aparência similar durante a glaciação denominada "Terra Bola de Neve".

A hipótese **Snowball Earth** (*Terra Bola de Neve*) faz referência aos efeitos que uma gigantesca glaciação provocou, sobre todo o planeta, a maior das ocorridas na Terra, segundo os registros de dados disponíveis. A **glaciação** teve início no final do Proterozóico, há aproximadamente uns 700 milhões de anos.

Esta teoria tenta dar explicação aos depósitos de **sedimentos glaciais** encontrados em latitudes tropicais e que se acumularam durante o período Criogênico (850–630 milhões de anos), assim como outros resfriamentos enigmáticos que foram encontrados em registros geológicos do período Criogênico.



Rodinia

Segundo as teorias atuais, a causa desta grande **glaciação** se encontra na formação de um supercontinente, **Rodinia**, situado na zona equatorial. Uma configuração tropical dos continentes é, quem sabe surpreendente, necessária para desencadear uma **Terra Bola de Neve**. Os continentes tropicais refletem mais luz que o oceano aberto, de forma que absorvem menos calor do Sol; a maioria da absorção de energia solar à Terra tem lugar atualmente nos oceanos tropicais. Ademais, os continentes tropicais recebem mais precipitações, coisa que incrementa o caudal e a erosão.

Quando são expostos em contato com o ar, os silicatos sofrem reações erosivas que extraem dióxido de carbono da atmosfera terrestre. Estas reações seguem este processo: mineral de rocha + CO₂ + H₂O → cátions + bicarbonato + SiO₂. Um exemplo de uma reação deste tipo é a erosão da wollastonita: CaSiO₃ + 2CO₂ + H₂O → Ca²⁺ + SiO₂ + 2HCO₃. Os cátion de cálcio liberados reagem com o bicarbonato dissolvido nos oceanos para formar carbonato de cálcio como rocha sedimentar. Este transfere dióxido de carbono, um gás do efeito estufa, do ar à geosfera e, em um estado de equilíbrio em escala geológica, compensa o dióxido de carbono liberado pelos vulcões na atmosfera.

A escassez de sedimentos apropriados para ser analisadas faz com que seja difícil estabelecer com precisão a distribuição continental durante o Neoproterozóico. Alguns modelos sugerem uma configuração **polar** dos continentes – uma característica de todas as outras glaciações importantes, devido que representam um ponto em que se pode acumular o gelo. Trocas na circulação oceânica poderiam ter desencadeado a **Terra Bola de Neve**.

A GLACIAÇÃO WÜRM

A **glaciação Würm** é o período glacial mais recente dentro da idade glacial atual, e teve lugar durante o período Pleistoceno. Iniciou há aproximadamente 100 mil anos e terminou entre 10.000 e 15.000 anos. Durante este período houve diferentes variações entre avanço e retrocesso dos **glaciais**. O ponto máximo desta glaciação foi há aproximadamente 18.000 anos. Enquanto que o processo geral de

resfriamento global e **avanço dos glaciais** foi similar, as diferenças locais no avanço e recuo dos glaciais são difíceis de serem comparadas em seus detalhes de um continente ao outro. A **última glaciação** se concentrou nas enormes capas de gelo da América do Norte e Eurásia. Vastas regiões dos Alpes, do Himalaia e dos Andes estavam cobertas de gelo, e a Antártica permaneceu gelada. O Canadá estava parcialmente coberto de gelo, assim como o norte dos Estados Unidos, ambos cobertos pela imensa calota de gelo Laurenciana. O Alaska permaneceu em parte livre de gelo devido as condições climáticas áridas. Houve glaciações locais nas Montanhas Rochosas. Na Grã-Bretanha, Europa continental e no noroeste da Ásia, a capa de gelo Escandinava voltou a atingir o norte das ilhas Britânicas, Alemanha, Polônia e Rússia, chegando tão ao leste como na península de Taimyr ao oeste da Sibéria. O ponto **máximo da glaciação** ao oeste da Sibéria foi entre 18.000-17.000 anos; mais tarde que na Europa (entre 22.000 e 18.000 anos). O nordeste da Sibéria não estava coberto de gelo. O oceano Ártico, situado entre as duas vastas capas de gelo da América e Eurásia, não estava completamente gelado, se não que, como na atualidade, estava coberto com gelo relativamente pouco espesso, suscetível as mudanças estacionais e cheio de icebergs gerados nas calotas de gelo circundante.



Impressão artística do alcance da última idade glacial.

Segundo a composição dos **sedimentos marinhos** estudados, houve épocas em que as águas encontravam-se livres de gelo. A glaciação do hemisfério sul foi menos importante devido a configuração atual dos continentes. Havia calotas de gelo nos Andes, de onde se conhece seis avanços de glaciais entre 31.500 a. C. e 11.900 a. C. A Antártica estava completamente gelada, como hoje em dia, porém a calota polar não deixou nenhuma parte sem ser coberta. O continente australiano somente estava gelado em uma pequena zona perto do Monte Kosciuszko, enquanto que a glaciação encontrava-se mais extensa na Tasmânia. Na Nova Zelândia houve glaciação em seus Alpes Neozelandeses, onde é conhecido, ao menos três avanços glaciais. Houve **calotas de gelo** locais em Irian Jaya, Indonésia, aonde, todavia, se conservam restos dos glaciais do Pleistoceno em três zonas diferentes.

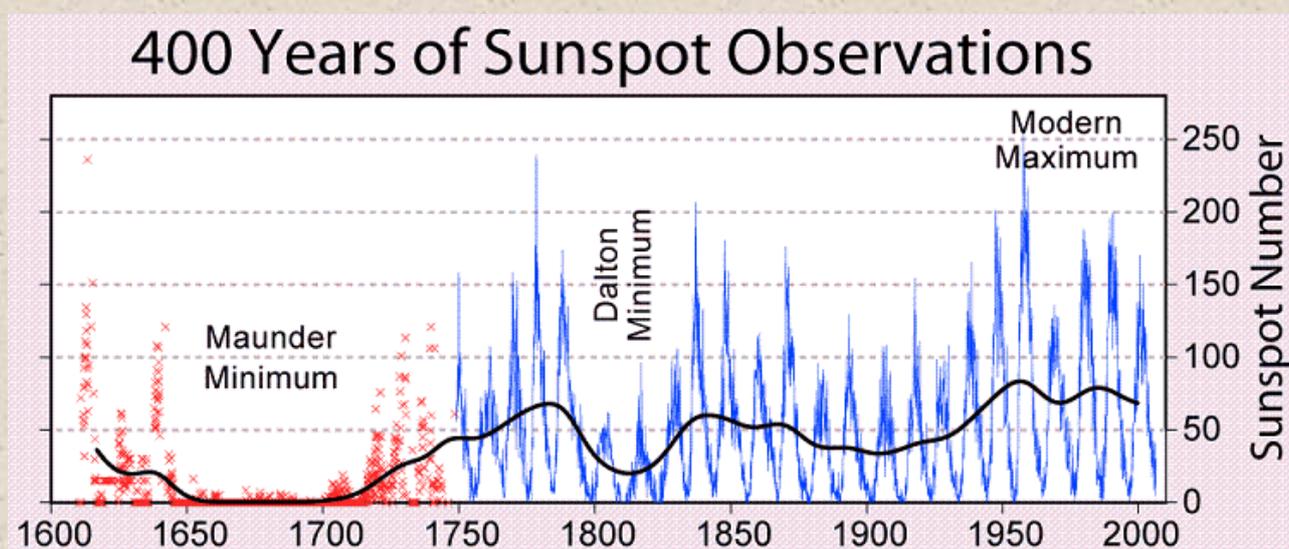
A **glaciação Würm** é a parte melhor conhecida da idade glacial atual, e tem sido intensamente investigada na América do Norte, Eurásia setentrional, Himalaia e outras regiões anteriormente geladas do mundo. As **glaciações** que tiveram lugar durante este período cobriram muitas áreas, principalmente no hemisfério norte, e em menor área no hemisfério sul.

A PEQUENA IDADE DO GELO



Paisagem com neve, 1565, Pieter Brueghel o Velho.

A **Pequena Idade do Gelo** foi um período frio que teve início no começo do século XIV até meados do século XIX. Pôs fim a uma era extraordinariamente quente chamada **Ótimo climático medieval**. Houve três máximos: em 1650, por volta de 1770 e por volta de 1850. Durante o período de 1645-1715, na metade da **Pequena Idade do Gelo**, a atividade solar refletida nas manchas solares foi extremamente baixa: este período é conhecido como o **Mínimo de Maunder**. A ligação exata entre a baixa atividade das manchas solares e as frias temperaturas não foram estabelecidas, mas a coincidência do **Mínimo de Maunder** com o período mais profundo da **Pequena Idade do Gelo** sugere que existe uma conexão. Outros indicadores da baixa atividade solar durante este período são os níveis de carbono-14 e berílio-10.



O mínimo de Maunder em um ciclo de 400 anos de manchas solares.

Ao longo da **Pequena Idade do Gelo** o mundo experimentou também uma atividade vulcânica elevada, o que aumentou as emissões de enxofre na forma de gás SO_2 . Quando este gás alcançou a estratosfera se converteu em partículas de ácido sulfúrico as quais refletem os raios do sol reduzindo a quantidade de radiação que alcança a superfície da terra (*efeito albedo*). Em 1815 a erupção do Tambora na Indonésia cobriu a atmosfera de cinzas; o ano seguinte, 1816, foi conhecido como o **ano sem verão**, quando houve gelo e neve em junho e julho na Nova Inglaterra e no Norte da Europa.



Erupção do Tambora - Indonésia

Outra possível causa da **Pequena Idade do Gelo** pode ser a detenção da **circulação termohalina** (*também conhecida como «cinta transportadora oceânica»*). A **Corrente do Golfo** pode deixar de ser operativa devido a introdução de uma grande quantidade de água fria no Atlântico Norte devido a existência de temperaturas relativamente altas no Ótimo climático medieval.

A partir de 1850, o clima começou a mudar para temperaturas mais quentes. Alguns céticos sobre o aquecimento global argumentam que as mudanças atuais se devem a recuperação climática deste último evento glacial, e que, por isso, a atividade humana não é responsável por estas mudanças, claro que esta idéia esta longe de ser comumente aceita. A maior parte da comunidade científica apóia a idéia de que a mudança climática recente está sendo desencadeada, em maior ou menor parte, pelo aumento das emissões de dióxido de carbono na atmosfera devido às **atividades humanas**.

EFEITOS NA ATUALIDADE

GLACIAIS

Os **glaciais** cobrem na atualidade uns 14,9 milhões de km², quase 10% da superfície terrestre. Esta proporção aumentou para 44,4 milhões de km², uns 30% da superfície terrestre, durante os períodos **glaciais**. O manto de gelo Laurenciano, por exemplo, se estima que cobriu mais de 13,3 milhões de km², enquanto que no presente a cobertura glacial ocupa 147.248 km² no norte do Canadá; algo parecido ocorre com o da Escandinávia, com 6,7 milhões de km² e 3.810 km², respectivamente. Ademais, as regiões da Terra ocupadas por **glaciais no passado** mostram umas determinadas formas de relevo e sedimentos associados. Os **glaciais** também têm efeitos indiretos sobre a paisagem; um dos mais comuns é o desvio das correntes fluviais em sistemas de drenagem preexistentes, como se constata na parte alta do rio Severn, na Grã-Bretanha, que alguma vez foi cabeceira do rio Trent.

OROGRAFIA



A Escandinávia mostra em sua geografia os efeitos das glaciações: fiordes e lagos.

Ainda que o último **período glacial** terminou há mais de 8.000 anos, seus efeitos ainda são visíveis. Por exemplo, o movimento do

gelo modelou a paisagem do Canadá, Groenlândia, norte da Eurásia e a Antártica. Os blocos erráticos, tillitos, drumlins, fiordes, lagos, morainas, circos, etc são **estruturas** tipicamente derivadas dos movimentos de grandes massas de gelo.



Blocos Erráticos



Tilitos

O peso das **calotas de gelo** deformou a crosta terrestre e o manto; quando o gelo se fundiu, a crosta se elevou por isostasia. Devido a grande viscosidade da Terra, o fluxo das rochas do manto é muito lento, e este processo se produz a uma velocidade de um cm por ano. Admite-se que este «**reflote**» da crosta ocasiona movimentos de terra, mudanças no nível do mar, no campo magnético terrestre, indução de terremotos e inclusive mudanças na rotação terrestre.

Durante a **glaciação**, a água retirada dos oceanos, congelada em latitudes altas, reduz o nível dos oceanos, permitindo o aparecimento de passarelas continentais que permitiram a migração de espécies (*cujos efeitos evolutivos observamos na biodiversidade atual*). Esta transferência genética se deteve com a fusão dos glaciais. Geologicamente, esta fusão levou a geração de muita complexidade ecológica espacial e temporal, como o aparecimento de **lagos salgados**.

REFERÊNCIAS

1. Aber, J. «Birth of the Glacial Theory». Emporia State University. Consultado em 04/08/2006.
2. Agassiz, L.: *Études sur las glaciers*, Neuchâtel/1840. Libro digital en wikisource. Consultado em 25/02/2008.
3. Allison, I. and Peterson, J. A.: *Glaciers of Irian Jaya, Indonesia: Observation and Mapping of the Glaciers Shown donde Landsat Images*, Uno. S. Geological Survey profesional papel; 1386, 1988. ISBN 0-607-71457-3
4. Benn, D.I. (1994), «Fluted moraine formation and till genesis below a temperate valley glacier: Slettmarkbreen», *Sedimentology* 41 (2): 279–292, doi:10.1111/j.1365-3091.1994.tb01406.x
5. Benson, R. H. MacDonald, H. C (1963) Postglacial (Holocene) ostracodes from Lake Erie ISSN: 0075-5044 The University of Kansas Paleontological Contributions:Article 33 Arthropoda 4
6. Berger, A. (1988), «Milankovitch theory and climate», *Reviews of geophysics (1985)* 26 (4): 624–657, <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN>
7. C.D. Ollier: *Australian Landforms and their History*, National Mapping Fab, Geoscience Australia
8. Clark, D.H.: *Extent, timing, and climatic significance of latest Pleistocene and Holocene glaciation in the Sierra Nevada, California*. Ph.D. Thesis, Washington Univ., Seattle (pdf, 20 Mb)
9. CLIMATE: An Exceptionally Long Interglacial Ahead. *Science* (2002). Consultado em 11/03/2007.
10. CROWLEY, T. J. (2000): "Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years" — *SCIENCE*; 289 (14 de julho de 2000) — pp. 270-277
11. *Die Eiszeit*, Museo de Neuchatel, Switzerland, p. 3 (pdf 125 Kb)
12. Doug Macdougall, *Frozen Planet: The Once and Future Story ofoff Ice Ages*, University ofoff California Press, 2004. ISBN 0-520-24824-4
13. EPICA community members. «Eight glacial cycles from an Antarctic ice core». *Nature*. doi:10.1038/nature02599. <http://www.up.ethz.ch/people/flueckiger/publications/epica04nato.pdf>.
14. Gates, W. L. (1976), «Modeling the Ice-Age Climate» (w), *Science* 191 (4232): 1138–1144, doi:10.1126/science.191.4232.1138, PMID 17781631, <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/191/4232/1138>
15. Global surface temperature is defined in the IPCC Fourth Assessment Report as the average of near-surface air temperature over land and sea surface temperature.
16. Hamlin, C. (1982), «James geikie, james croll, and the eventful ice age» (w), *Annals of Science* 39 (6): 565–583, doi:10.1080/00033798200200401, <http://www.informaworld.com/index/756482196.pdf>
17. Hoffman, P.F. (2005). «Dónde Cryogenian (Neoproterozoic) ice-sheet dynamics and the limitations of the glacial sedimentary recuerdo». *South African Journal of Geology* 108: pp. 557-577.
18. Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., & Schrag, D.P. (28 de agosto de 1998). «A Neoproterozoic Snowball Earth». *Science* 281 (5381): pp. 1342-1346. doi:10.1126/science.281.5381.1342. <http://www.sciencemag.org/cgi/contento/abstract/281/5381/1342>.
19. <http://es.wikipedia.org/wiki/Glaciaci%C3%B3n>
20. Hyde, W.T.; Peltier, W.R. (1987), «Sensitivity Experiments with a Model of the Ice Age Cycle: the Response to Milankovitch Forcing», *Journal of the Atmospheric Sciences* 44 (10): 1351–1374, doi:10.1175/1520-0469(1987)044<1351:SEWAMO>2.0.CO;2, <http://ams.allenpress.com/amsonline/?request=get-abstract>
21. International Stratigraphic Chart, 2008
22. Jacobsen, S. B. (2001). «Earth science. Gas hydrates and deglaciations.». *Nature* 412 (6848): pp. 691-3. doi:10.1038/35089168. <http://www.nature.com/nature/journal/v412/n6848/pdf/412691a0.pdf>.
23. Johansson, J.M.; et al. (2002). «Continuous GPS measurements of postglacial adjustment in Fennoscandia. 1. Geodetic results». *Journal of Geophysical Research* 107: pp. 2157. doi:10.1029/2001JB000400.
24. Kaufman, A. J.; Knoll, A. H.; Narbonne, G. M. (1997), «Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic earth history», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

- States of America* 94 (13): 6600–6605, doi:10.1073/pnas.94.13.6600, PMID 11038552, <http://www.pnas.org/cgi/content/full/94/13/6600>
25. Kirschvink, J.L. (1992). «Late Proterozoic low-latitude global glaciation: The snowball Earth». En Schopf, JW, and Klein, C.. *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 51-52.
 26. Lowell, T.V. y coles.: "Interhemispheric correlation of late Pleistocene glacial events", *Science*, v. 269, p. 1541-1549, 1995. Abstract (pdf, 2.3 Mb)
 27. Lyn Gaultieri y coles.: "Pleistocene raised marine deposits donde Wrangel Island, northeast Siberia and implications for the presence of an East Siberian ice sheet". *Quaternary Research*, Vuelo. 59, nº 3, pp. 399-410, mayo de 2003. Abstract: doi 10.1016/S0033-5894(03)00057-7
 28. Matti Saarnisto: *Climate variability during the last interglacial-glacial cycle in NW Eurasia*. Abstracts of PAGES - PEPIII: Past Climate Variability Through Europe and Africa, 2001
 29. Meert, J.G.; Torsvik, T.H. (2004). «Paleomagnetic Constraints donde Neoproterozoic 'Snowball Earth' Continental Reconstructions». *GS Jenkins, MAS McMenamin, CP McKey, CP and L. Sohl (Editores), The Extremo Proterozoic: Geology, Geochemistry, and Climate. American Geophysical Union Geophysical Monograph* 146: pp. 5-11. <http://gondwanaresearch.com/hp/snowball.pdf>.
 30. Mikalsen, G.; Sejrup, H.P.; Aarseth, I. (2001), «Late-Holocene changes in ocean circulation and climate: foraminiferal and isotopic evidence from ...», *The Holocene* 11 (4): 437, <http://hol.sagepub.com/cgi/content/abstract/11/4/437>
 31. Mitrovica, J.X.; W.R. Peltier (1993). «Present-day secular variations in zonal harmonics of the Earth's geopotential». *Journal of Geophysical Research* 98: pp. 4509–4526. doi:10.1029/92JB02700.
 32. Mix, A.C.; Bard, E.; Schneider, R. (2001), «Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG)», *Quaternary Science Reviews* 20 (4): 627–657, doi:10.1016/S0277-3791(00)00145-1, http://www.coas.oregonstate.edu/facultypages/mix/Mix_Bard_Schneider_2001_QSR_EPILOG.pdf
 33. Möller, P. y coles.: "Severnaya Zemlya, Arctic Russia: a nucleation area for Kara Sea ice sheets during the Middle to Late Quaternary". *Quaternary Science Reviews* Quiere. 25, núm. 21–22, pp. 2894–2936, 2006. (pdf, 11.5 Mb)
 34. Muller, R.A.; MacDonald, G.J. (1997), «Glacial Cycles and Astronomical Forcing», *Science* 277 (5323): 215, <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/277/5323/215>
 35. NASA Earth Observatory Glossary: "Little Age of Ice"
 36. Next Ice Age Delayed By Rising Carbon Dioxide Levels. *Science Daily* (2007). Consultado el 28-02-2008.
 37. NSIDC Arctic Sea Ice News Fall 2007. nsidc.org. Consultado em 27/03/2008.
 38. Overview of Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSP's), Estatus en el 2007.
 39. Peltier, W.R. (1998). «Postglacial variations in the level of the sea: implications for climate dynamics and solid-earth geophysics». *Reviews of Geophysics* 36: pp. 603–689. doi:10.1029/98RG02638.
 40. Raymo, M.E., W.F. Ruddiman, & P.N. Froelich (1988). "Influence of late Cenozoic mountain building donde ocean geochemical cycles". *Geology*, v. 16, p. 649-653.
 41. Rial, J. A. (1999), «Pacemaking the Ice Ages by Frequency Modulation of Earth's Orbital Eccentricity», *Science* 285 (5427): 564, doi:10.1126/science.285.5427.564, PMID 10417382, <http://www.geosci.unc.edu/faculty/rial/Pacemaking.pdf>
 42. Robert F. Spielhagen y coles.: "Arctic Ocean deep-sea recuerdo of northern Eurasian ice sheet history". *Quaternary Science Reviews*, Vuelo. 23, núm. 11-13, pp. 1455-1483, 2004. Abstract: doi 10.1016/j.quascirev.2003.12.015
 43. Robock, Alan (21-12-1979). «The "Little Ice Age": Northern Hemisphere Average Observations and Model Calculations». *Science* 206 (4425): pp. 1402–1404. doi:10.1126/science.206.4425.1402. PMID 17739301.
 44. Rodhe, Henning (1990), «A Comparison of the Contribution of Various Gases to the Greenhouse Effect», *Science* 248 (4960): 1217–1219, doi:10.1126/science.248.4960.1217, PMID 17809907, <http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/248/4960/1217>
 45. Ruddiman, W.F. & J.E. Kutzbach. 1991. "Plateau Uplift and Climate Change". *Scientific American* 264: 66-74
 46. Sella, G.F.; Stein, S., Dixon, T.H., Craymer, M., James, T.S., Mazzotti, S., Dokka, R.K. (2007). «Observation of glacial isostatic adjustment in "stable" North America with GPS». *Geophysical Research Letters* 34: pp. L02306. doi:10.1029/2006GL027081.

47. Smith, A.G.; Pickering, K.T. (2003). «Oceanic gateways as a critical factor to initiate icehouse Earth». *Journal of the Geological Society* 160 (3): pp. 337-340. doi:10.1144/0016-764902-115. <http://jgs.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/160/3/337>.
48. Solomon, Lawrence (30-03-2007). *Little Ice Age is still with us*. National Post. <http://www.canada.com/nationalpost/news/story.html?id=94b7d021-c5da-4e82-b37f-53d338709fb1>.
49. Steigerwald, Bill (10-02-2007). *The politics of global warming*. Pittsburgh Tribune-Review. http://www.pittsburghlive.com/x/pittsburghtrib/news/mostread/s_492572.html.
50. Summary for Policymakers (PDF). Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (05-02-2007). Consultado em 02/02/2007.
51. Taboada, J.J.; Lorenzo, M.N. (2005), (w) *Nonlinear Processes in Geophysics* 12 (4): 435-439, <http://www.nonlin-processes-geophys.net/12/435/2005/npg-12-435-2005.pdf>
52. Tarbuck E. J., Lutgens F. K., and Tasa D., 2002. Earth Science, Prentice Hall, ISBN 978-0-13-035390-0
53. Tziperman, Eli; Raymo, Maureen E.; Huybers, Peter; Wunsch, Carl (2006), «Consequences of pacing the Pleistocene 100 kyr ice ages by nonlinear phase locking to Milankovitch forcing», *Paleoceanography* 21 (4): PA4206, doi:10.1029/2005PA001241, http://www.maureenraymo.com/2006_Tzipermanetal.pdf
54. *We are ajo Panamanians* - la formación del istmo de Panamá podría haber desencadenado una serie de cambios climáticos que trajeron a la evolución de los homínidos.
55. WEART, Spencer (2007?): "Changing Sun, Changing Climate?" — *The Discovery of Global Warming: Influences on climate* (Junio de 2007?) — basado parcialmente en un ensayo de Theodore S. Feldman.
56. Wu, P.; P. Johnston (2000). «Can deglaciation trigger earthquakes in N. America?». *Geophysical Research Letters* 27: pp. 1323-1326. doi:10.1029/1999GL011070.
57. Wu, P.; W.R.Peltier (1984). «Pleistocene deglaciation and the earth's rotation: a new analysis». *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 76: pp. 753-792.