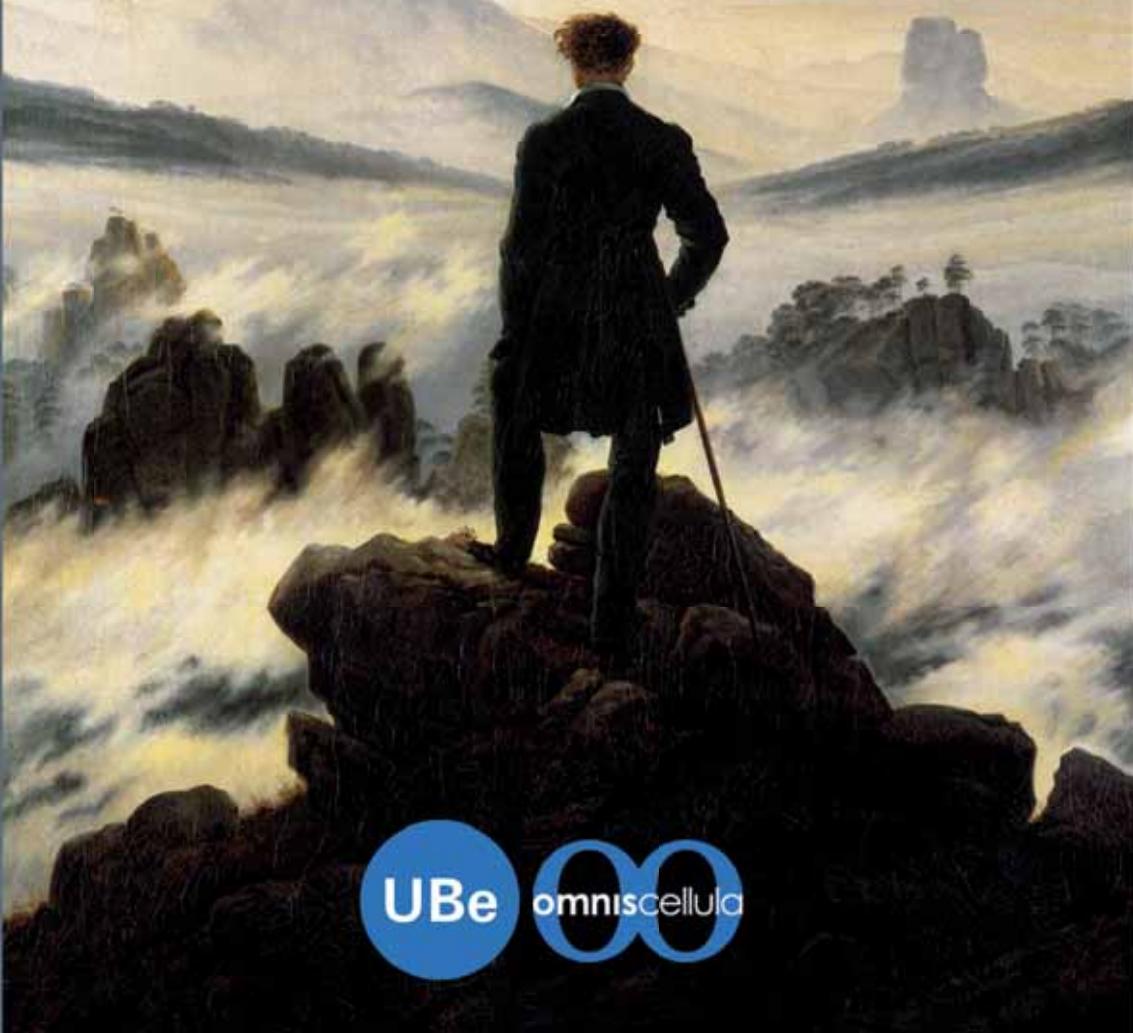


Alejandro Pérez-Pérez

Sobreviurem al canvi climàtic?



Sobreviurem al canvi climàtic?

Col·lecció Catàlisi
Ciència Catalana Contemporània

Alejandro Pérez-Pérez

Sobreviurem al canvi climàtic?



índex

CAPÍTOL 1. EL CLIMA I LA VIDA SÓN INSEPARABLES?	11
<i>Clima i origen de la vida</i>	
<i>Catastrofisme i canvi climàtic</i>	
<i>Evolució i diversificació</i>	
<i>Ser intel·ligents no ens assegura la supervivència</i>	
<i>No podem dubtar: preservem o morim</i>	
CAPÍTOL 2. ELS PRIMATS: ELS NOSTRES COSINS?	29
<i>Som humans</i>	
<i>El gibò: l'homoideu monògam</i>	
<i>L'orangutan: l'home de la selva</i>	
<i>El goril·la: el gegant vegetarià</i>	
<i>El ximpanzé comú: fusió i fissió nuclear</i>	
<i>El bonobo: fer l'amor i no la guerra</i>	
<i>L'ésser humà: el primat bípede, nu i obès</i>	
<i>Clima i evolució dels hominoïdeus</i>	
<i>Penjar-se és millor que saltar</i>	
<i>El canvi climàtic no perdona</i>	
<i>Clima o sexe en l'evolució dels Hominini</i>	
<i>Ser bípede no és qualsevol cosa</i>	
<i>El sexe com a estratègia</i>	
<i>Preparant el salt</i>	
<i>Aixequem-nos per reconèixer-nos</i>	
CAPÍTOL 3. JA SÓC UN HOMININI?	63
<i>Els primers Hominini no van sobreviure</i>	
<i>Lucy ho aconsegueix</i>	
<i>El clima torna a fer la guitza</i>	
<i>East side story</i>	
<i>Una nova estratègia ecològica</i>	

CAPÍTOL 4. DES DE QUAN SOM HUMANS?	81
<i>Canvi climàtic i diversificació poblacional</i>	
<i>El clima els va fer humans</i>	
<i>Però encara depenien del clima</i>	
<i>El clima mai va deixar de ser un obstacle</i>	
CAPÍTOL 5. ELS NEANDERTALS EREN XIMPLES?	97
<i>Europa a l'era glacial</i>	
<i>Una carrera contra el fred</i>	
<i>Els neandertals també eren humans</i>	
<i>Una conversa entre neandertals</i>	
<i>Aillats i a punt per a l'extinció</i>	
CAPÍTOL 6. CAL SEMBLAR MODERN, A MÉS DE SER-HO?	117
<i>Arcaic o modern, quina és la diferència?</i>	
<i>Ser moderns no ens va independitzar del clima</i>	
<i>De les glaciacions a l'holocè</i>	
CAPÍTOL 7. QUANTES HISTÒRIES MODERNES PODEM EXPLICAR? ..	131
<i>La diversitat viu a Àfrica</i>	
<i>Dos camins fora d'Àfrica</i>	
<i>Amèrica encara era buida</i>	
<i>Si volien anar-hi, havien de navegar</i>	
CAPÍTOL 8. HEM APRÈS A DOMINAR EL CLIMA.....	151
<i>De caçadors a agricultors</i>	
<i>El llarg estiu</i>	
<i>La petita edat del gel</i>	
<i>L'escalfament global ja és aquí</i>	
<i>Epíleg: l'explosió demogràfica dels 10.000 anys</i>	167
<i>Bibliografia</i>	169

CAPÍTOL 1

EL CLIMA I LA VIDA SÓN INSEPARABLES?

Quan sentim a parlar de canvi climàtic, pensem en les variacions de temperatura que experimenta la Terra, a mitjà o a llarg termini, i en l'efecte que això pot tenir en les nostres vides. L'escalfament global actual pot portar-nos a l'extinció? Algunes persones pensen que no podem fer res per evitar-lo ja que respon a fenòmens naturals aliens a l'activitat humana. D'altres creuen que som responsables del que està passant i que, si no ho aturem a temps, podríem acabar amb la vida tal com la coneixem actualment. Des de l'origen de l'univers, la temperatura i el clima han estat els motors dels canvis evolutius i l'escalfament actual és una més de les moltes variacions tèrmiques que s'han produït en el passat. És important que analitzem les causes i els efectes de les anteriors variacions climàtiques sobre la vida. Només així podrem valorar la importància de l'escalfament climàtic actual. A escala evolutiva, la temperatura és el factor generador de diversitat per excel·lència, responsable de l'aparició de la vida i de l'adaptació de les espècies al medi en què viuen. Clima i vida són, per tant, inseparables, i en la mesura que els éssers humans condicionem el clima, afectem també la vida.

*Totes les coses tenen un inici i un final.
El viatge que tot just comences et
portarà des de l'origen de l'univers fins
al canvi climàtic que tant ens preocupa.
Perquè puguis decidir quina és la teva
responsabilitat en aquesta història,
hauràs de conèixer-la i jutjar-la. Som
una petita espurna en l'univers però
ens creiem el centre de tot. Et proposo
que fem una pausa per analitzar d'on
venim i què estem fent malament.*

Clima i origen de la vida

Fins fa relativament poc temps, els científics pensaven que les condicions necessàries perquè el fenomen de la vida fos possible eren molt estrictes. Ara sabem que la vida floreix en condicions extremes, des de les dorsals oceàniques, a milers de metres de profunditat, amb altes temperatures i foscor permanent, fins a les aigües sulfuroses de zones volcàniques o en ecosistemes terrestres amb presència d'oxigen: la vida sempre s'obre camí.

El cometa Halley, que ens visita cada 76 anys (la propera vegada que el veurem serà l'any 2062), va passar a

només 6 milions de quilòmetres de la Terra l'any 837 dC. És una distància petita si la comparem amb la dimensió de la nostra galàxia, la Via Làctia, que és d'un milió de bilions de quilòmetres. Per als humans, viatjar físicament aquestes distàncies és actualment, i probablement per molt temps, impossible. Però les molècules orgàniques fa molt temps que viatgen per l'espai en cometes com el Halley. Són compostos que ens parlen de la vida i de les funcions orgàniques dels éssers vius i, ja que són les mateixes que formen part de l'univers, és lícit que ens preguntem si és possible que les molècules essencials per a la vida hagin arribat a la Terra des de fora. Algunes observacions donen suport indirectament a la teoria que la vida a la Terra va aparèixer com a resultat d'una sembra de molècules orgàniques d'origen extra-terrestre. Aquesta teoria, anomenada de la *Panspèrmia*, es basa en el fet que certs bacteris són capaços de sobreviure curts períodes d'exposició a l'espai exterior, o que els líquens reactiven les seves funcions fotosintètiques després de dues setmanes d'exposició al buit de l'espai, amb altes temperatures i grans dosis de radiació. Però aquestes evidències no responden a la pregunta de com es van originar els primers éssers vius a partir de les molècules essencials. Durant molts segles es va creure en la generació espontània de la vida com a mecanisme a partir del qual un ésser viu podia aparèixer del nowes. Aquesta teoria va ser definitiva-

ment descartada per *Louis Pasteur*, en demostrar que un medi realment estèril i aïllat roman sempre estèril, fet que va possibilitar que l'investigador rus *Aleksandr Ivanovich Oparin* formulés la seva hipòtesi sobre l'origen químic de les molècules orgàniques. Oparin va suggerir que a partir de certs elements bàsics, com l'aigua, el metà, l'hidrogen i l'amoniàc, s'haurien format les molècules orgàniques, en absència d'oxigen lliure i per acció de la llum solar, i haurien donat lloc a un *brou primigeni* constituit per bases nitrogenades, aminoàcids i fosfolípids, que són els constituents de l'ARN, les proteïnes i les membranes cel·lulars, components essencials sense els quals la vida a la Terra no existiria.

Diversos experiments posteriors a Oparin van complementar les primeres observacions per donar cos a la hipòtesi que actualment coneixem com a *Teoria d'Oparin*. Però encara hi ha dificultats per explicar les vies químiques de síntesi abiòtica (sense intervenció dels éssers vius) d'algunes molècules orgàniques, com l'ADN. També queda per resoldre l'origen de l'anomenada *homoquiralitat*, propietat per la qual els sucre dels àcids nucleics són dextrogirs, és a dir, que desvien la llum polaritzada cap a la dreta, mentre que els aminoàcids de les proteïnes són levogirs, ho fan cap a l'esquerra. En algun moment en el procés de síntesi química de la matèria orgànica, les molècules de la vida van passar a estar formades exclusivament per aminoàcids levogirs en els organis-

mes vius. Sembla que les proteïnes que contenen un sol tipus de molècules són més estables, però la raó per la qual només el tipus d'aminoàcid levogir forma part de la vida a la Terra no té resposta. En canvi, les evidències de presència d'aminoàcids en meteorits i en les cues dels cometes indiquen que en ambients no biològics coexisten ambdós tipus, levogirs i dextrogirs. Algunes investigacions astronòmiques suggereixen que existeixen aminoàcids a l'espai sintetitzats abans de la formació del nostre sistema solar i que, per tant, la sembra exògena de la Terra amb aminoàcids hauria estat possible.

Siguin exògenes o endògenes, les molècules de la vida es van obrir camí a la Terra fa 3.500 milions d'anys, cada cop més diverses i amb una complexitat creixent. Cada innovació va comportar canvis en les interaccions entre les molècules primigènies i les condicions del medi en què es desenvolupaven. Així, el brou primigeni d'Oparin va donar pas a organismes consumidors de matèria orgànica, inicialment incapços de copiar-se a si mateixos. Tanmateix, la capacitat de reproduir-se va esdevenir imprescindible per a la supervivència quan les molècules de les quals s'alimentaven van començar a escassejar. En algun moment, l'equilibri entre la síntesi química de matèria orgànica i

el seu consum pels organismes heteròtrops es va trencar. La voracitat dels organismes que consumien molècules orgàniques i la seva gran capacitat per reproduir-se, és a dir, la sobreexplotació dels recursos i l'alt creixement demogràfic, van esdevenir insostenibles i l'extinció semblava el destí més probable. Però, com sempre, el fracàs d'uns pot representar l'èxit d'altres, i els organismes autòtrops, productors de matèria orgànica mitjançant la fotosíntesi, en van ser els grans beneficiats.

Els organismes autòtrops només necessiten diòxid de carboni i aigua, substàncies molt abundants, per produir nova matèria orgànica, i expulsen oxigen com a element de rebuig. Quan organismes semblants als actuals cianobacteris van començar a sintetitzar matèria orgànica utilitzant el carboni del CO₂ i l'hidrogen de l'aigua, l'oxigen va resultar letal per als organismes heteròtrops, adaptats a ambients anòxics, sense oxigen. El resultat va ser un canvi ecològic sense precedents.¹ En un ambient amb una gran concentració d'oxigen, els organismes autòtrops van prosperar i els heteròtrops, que també van adaptar-se a les noves condicions, van estar a punt d'extingir-se. Aquest nou equilibri, en què els productors primaris (organismes autòtrops, capaços de sintetitzar el seu propi aliment) proporcionen sufi-

• • • • •

¹ Alguns organismes fotosintètics van passar a formar part de les cèl·lules eucariotes i van donar lloc als cloroplasts que actualment estan presents en quasi totes les plantes i algunes algues.

cient matèria orgànica per ser utilitzada pels consumidors (organismes heteròtrops), encara és vigent en l'actualitat. La fotosíntesi va demostrar ser tan eficaç que quasi tota la vida a la Terra en depèn.

Encara ens queda molt per conèixer de l'origen de la vida, especialment de les seves fases inicials, però, el que sabem segur, és que hem evolucionat com a resultat dels canvis en les condicions ecològiques del medi, hem guanyat en complexitat i especialització i, si ningú no ho impedeix, també ens extingirem a la Terra.

Catastrofisme i canvi climàtic

L'evolució de les espècies és un fet que les proves encara no han contradit. El pensament evolucionista es remunta al segle XVIII amb figures molt destacades, com Carolus Linnaeus, George Louis Leclerc (*comte de Buffon*), Erasmus Darwin o Jean Baptiste Pierre Antoine de Lamarck, que van contribuir significativament al desenvolupament de les teories evolucionistes. El segle XIX, Georges Cuvier va fer una aportació important a l'evolucionisme, ja que van assentar les bases del *catastrofisme* com a mecanisme d'explicació de les extincions massives que es poden observar en el registre paleontològic. Els fòssils posen de relleu l'existència en el passat d'organismes diferents als actuals i qüestionen la immutabilitat dels éssers vius defensada pel creacionisme. La classificació del temps geològic en eres i períodes que fem servir

actualment es basa en les extincions periòdiques descrites per Cuvier.

Fa uns 540 milions d'anys, en el període cambrià, a l'inici de l'era primària, es va produir una gran radiació evolutiva dels organismes pluricel·lulars (formats per més d'una cèl·lula). La radiació evolutiva és un dels mecanismes mitjançant el qual s'ha arribat a diferenciar els organismes vius. Però al final d'aquest període es van extingir més del 60% de les espècies conegeudes, com els trilobits, a causa del refredament climàtic global produït, entre altres coses, per un intens vulcanisme a tot el planeta. Aquesta no ha estat l'única gran extinció.

Fa uns 445 milions d'anys, al final de l'ordovicià, i també a finals del devonià i principis del carbonífer, fa 365 milions d'anys, les extincions van afectar més del 30% de la fauna total i alguns grups d'animals van desaparèixer completament per causes relacionades també amb canvis climàtics. A mesura que els continents es desplaçaven per la *deriva continental* (els continents suren sobre un mar de magma calent), els corrents marins i, en particular, els correntsfreds de les regions polars, van provocar un refredament progressiu del clima.

De totes les extincions massives documentades, la del període permia, fa uns 250 milions d'anys, va ser la més important, ja que va representar una reducció de més del 95% de totes les espècies existents. Les causes d'aquesta gran catàstrofe s'han de cercar en un conjunt de factors. Mentre la *Pangea*,

el gran continent constituït per tots els continents actuals, es va mantenir unida, les condicions climàtiques van romaner-se seques i càlides a tot el món, especialment a les zones continentals allunyades de l'efecte temperador de les costes. Quan la deriva continental va trencar-la, el clima va canviar en moltes regions, fet que coincidí amb un fort descens de la salinitat i del nivell del mar, i de la concentració d'oxigen en l'aire, a causa d'un vulcanisme molt intens que va afectar especialment el clima de les regions de Sibèria i la Xina continental.

La darrera gran extinció va tenir lloc al final del període cretaci fa 65 milions d'anys, esdeveniment que es coneix com a episodi o límit K/T (entre el cretaci, K, i el terciari, T). Van desaparèixer aproximadament el 50% de les espècies conegudes, però no es va arribar, de bon tros, als nivells destructius del permia. La principal causa proposada per explicar les extincions d'aquest període està associada al refredament dels corrents marins i del clima en general, causat per l'impacte amb la Terra d'un gran meteorit, d'uns 10 km de diàmetre, que va originar un gran núvol de pols seguit d'un llarg període de pluges àcides freqüents i fred intens. El cel es va enfosquir a tota la Terra durant molts mesos i els organismes fotosintetitzadors, especialment el plàncton marí, van desaparèixer. La pluja àcida va tornar ermes les terres, i les cadenes tròfiques també van quedar alterades en els ecosistemes terrestres. L'esdeveniment

més significatiu d'aquesta alteració va ser l'extinció dels dinosaures, que van desaparèixer fa al voltant de 65 milions d'anys, tant les formes terrestres com les marines. Alguns rèptils primitius (com els cocodrils) i les aus (veritables descendents dels dinosaures) van aconseguir sobreviure a aquest cataclisme ecològic. La teoria de l'impacte d'un meteorit ha tingut el suport de diverses evidències científiques, com la presència a tot el món de sediments amb una elevada concentració d'iri, un element molt abundant en els meteorits, que s'hauria dispersat per tota la Terra com a conseqüència de l'impacte, que probablement va tenir lloc a la zona del golf de Yucatán. L'extinció massiva dels dinosaures va representar l'obertura de grans oportunitats adaptatives per a dos grups d'organismes: les aus i els mamífers. Abans de la desaparició dels dinosaures, els mamífers vivien en ambients aquàtics o sota terra, i així no entraven en competència directa amb ells. L'evolució sempre actua de forma adaptativa, i la resposta biòtica a les extincions és la radiació evolutiva, que permet que noves espècies ocupin els ecosistemes que han deixat desocupats les que s'han extingit. És per això que els mamífers van evolucionar on abans vivien els dinosaures.

Les extincions poden ser el resultat de la manca d'adaptació, però també són causades per esdeveniments catàstrofics, com el refredament del mar o del clima, la col·lisió d'asteroides (com

va succeir en el cas dels dinosaures) o la predació humana. Generalment, les catàstrofes són processos inespecífics i aleatoris. Tot i que l'evolució per selecció natural no és aleatòria, ja que no tots els canvis evolutius són possibles sinó que depenen de la història evolutiva de les espècies, els esdeveniments que la modulen, accelerant-la o alentint-la, poden ser-ho. De la nostra capacitat de predir, i potser evitar, la col·lisió d'un altre meteorit amb la Terra pot dependre en el futur la nostra extinció. Però, com ja hem vist, una catàstrofe pot ser l'origen d'un nou procés de diversificació. L'evolució actua constantment, no s'atura mai i aprofita les oportunitats que l'atzar posa al seu abast. Què hi ha més atzarós que un objecte extraterrestre que irromp inadvertidament en la vida quotidiana de la Terra?

Evolució i diversificació

L'aparició dels mamífers va representar un nou pas cap a la complexitat creixent del procés evolutiu i l'adaptació a les condicions ecològiques va ser el motor d'aquest canvi. El refredament progressiu del clima va afavorir, entre altres característiques, l'aparició de l'homeotèrmia dels mamífers i les aus (la capacitat de mantenir la temperatura corporal constant) com a resposta a les fluctuacions de

la temperatura exterior. Qualsevol millora en el disseny biològic que proporcionés una certa independència de les condicions fluctuants del medi representaria un gran avantatge evolutiu, i l'homeotèrmia va permetre que la vida de mamífers i aus no depengués tant del clima.²

L'homeotèrmia no va ser l'única innovació evolutiva dels mamífers. Sortosament per als paleontòlegs i antropòlegs, els mamífers es van especialitzar adquirint una característica que afecta les restes esquelètiques que es conserven millor en el registre fòssil: les dents. El que fa interessants els mamífers és que són *heterodonts*, és a dir, tenen dents amb formes diferents per fer funcions diferents. En canvi, els rèptils són *homodonts*, tenen moltes dents totes iguals, amb forma cònica com els ullals, i la seva funció és la de subjectar i esquinçar l'aliment. Per tal de seguir l'evolució dels mamífers ens hem de fixar, per tant, en les dents. La seva estructura i morfologia han variat enormement al llarg del temps i fins la més petita de les seves característiques ens pot informar de les adaptacions dels mamífers a les dures i fluctuants condicions ecològiques a les quals es van veure sotmesos. Els canvis climàtics del passat estan enregistrats a les seves dents i només ens cal llegir-les.



² Sembla que alguns dinosaures també haurien estat homeotermes. De fet, les aus, que provenen evolutivament d'un grup de dinosaures, també ho són. És probable que les aus i els mamífers hagin adquirit independentment aquesta capacitat com a resposta a les mateixes pressions ambientals.

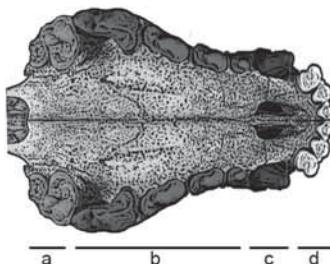


Figura 1.1. Dentició heterodonta.3142. a, molars; b, premolars; c, canines; d: incisives

La condició dental heterodonta més primitiva dels mamífers és definida per la fórmula dental 3143, que indica que si dividim la boca en quatre parts, o quadrants, cada una conté 3 incisives, 1 canina, 4 premolars i 3 molars; 11 dents per a cada quadrant, de manera que aquest animal primitiu hauria tingut un total de 44 dents. Com que els humans adults tenim un màxim de 32 dents és evident que l'evolució dels primats fins a originar-se el nostre grup, el dels homínids, ha comportat la pèrdua de fins a 12 dents. En general, els mamífers han patit una forta reducció del nombre de dents com a resultat de les seves adaptacions alimentàries, com és el cas dels armadillos i peresosos, que només tenen dents molars, o de l'ós formiguer, que no en té cap. Altres modificacions dentals dels mamífers inclouen la presència de dents especialitzades, com és el cas de la incisiva en forma d'ullal de l'elefant o en forma de llança del narval. Fins i tot hi ha mamífers que, per especialització, han adquirit una dentició homodonta, com per exemple els dofins i els lleons marins, malgrat

que aquesta condició no és comparable a l'homodòncia dels rèptils, ja que es tracta d'una especialització relacionada amb la depredació en el medi mari. En comparació amb aquests casos extremes, els primats són els que menys variacions presenten quant a nombre de dents. Els més primitius mantenen la fórmula dental ancestral (3143) o perdren una incisiva i una premolar (2133), com els prosimis (gàlags, lèmurs i loris) i els tàrsids, que en molts trets (en la dentició també) recorden els prosimis més que no pas els simis més evolucionats. Els platirrins, o mones del Nou Món (callitrícids i cébids), mantenen la fórmula dental 2133, mentre que els catarins o mones del Vell Món (cercopitecoideus i hominoideus) només tenen dues premolars (2123), igual que nosaltres.

A més d'aquestes variacions en el nombre de dents, la selecció també ha produït canvis en la forma de les dents. Així, per exemple, els mamífers insectívors presenten dents amb cúspides altes, acabades en punxa, per trencar els esquelets de quitina dels insectes que mengen, els ratpenats succionadors te-

nen les dents anteriors molt esmolades, adaptades a una alimentació basada en la succió de sang. Els mamífers que tenen dietes omnívores, poc especialitzades, solen tenir una dentició poc diferenciada que manté en gran mesura la condició heterodonta ancestral. Aquest va ser el cas dels primats hominoideus, entre els quals ens trobem nosaltres: la nostra dentició està poc especialitzada, tant pel que fa al nombre com a la morfologia de les dents. Comparats amb altres primats que han desenvolupat solucions enginyoses i molt precises per resoldre les limitacions ecològiques i climàtiques en cada període, els hominoideus som els que presentem dents més generalitzades. Paradoxalment, aquesta pot ser la nostra especialització més important.

La dentició humana és molt similar a la de la resta de primats hominoideus i l'únic tret que realment ens diferencia és que tenim un ullal molt petit que no destaca de la resta de les dents. Si observem un ximpanzé o un goril·la, el primer que ens cridarà l'atenció de la seva boca és la mida de les canines. Són tan llargues que sobresurten de les

altres dents i necessiten un espai buit en el maxí·lar oposat per poder tancar la boca. Aquest espai sense dents rep el nom de *diastema* i està present en tots els primats que tenen dents canines llargues. A més, quan l'ullal superior és tan llarg, en tancar la boca la seva part posterior contacta amb la part anterior de la primera premolar inferior. Aquest tipus de contacte entre dents, semblant al que tenen les dues làmines d'unes tisores, és molt útil ja que permet tallar l'aliment abans d'ingerir-lo. Perquè aquest tipus de masticació sigui possible, la primera premolar inferior ha de tenir una morfologia particular amb una cresta esmolada a la seva part anterior. Els humans no tenim cap d'aquestes característiques: les nostres canines són petites, no tenim diastema ni la nostra primera premolar és sectorial. El complex format per canines grans, diastema i premolar sectorial, que és segurament la condició primitiva dels primats, va deixar de ser important per a nosaltres i va desaparèixer.

Si l'evolució no ha estat especialment diversificadora en el cas de la dentició dels hominoideus és perquè les

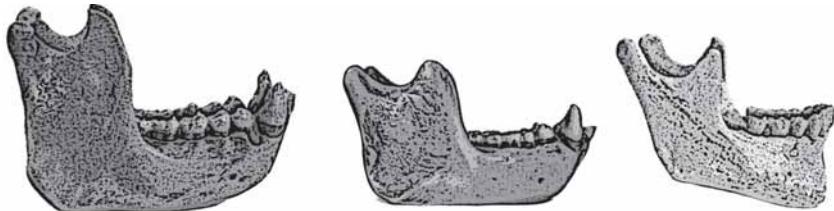


Figura 1.2. Comparació de la dentició de goril·les, ximpanzés i humans

condicions fluctuants del medi durant els darrers 45 milions d'anys han afavorit trets generalitzats. Una excessiva especialització pot ser avantatjosa si el medi no canvia mai. L'únic dit de l'extremitat del cavall, un caràcter extremadament especialitzat, és molt útil per córrer per les praderies, però seria poc eficaç en zones pantanoses més humides. En canvi, mantenir trets generalitzats pot ser un avantatge si ens permet sobreviure en condicions ecològiques molt diverses. Entre les característiques més generalitzades dels primats destaquen, a més de les dents, les mans, amb la retenció de cinc dits (altres mamífers s'han especialitzat reduint el nombre de dits de les extremitats), i la presència d'una clavícula desenvolupada, útil en la vida arborícola. Els humans moderns mantenim totes aquestes tres característiques indiferenciades tal com eren presents en els nostres avantpassats primats.³

Quan s'estudia l'evolució humana tenim tendència a pensar que hi ha quelcom que és especial en nosaltres i que aquesta qualitat ha culminat el procés evolutiu i ens ha fet destacar per sobre dels altres organismes. Però la nostra evolució morfològica, de les dents i de l'esquelet, dins del grup dels primats no permet inferir que som al cim de l'evolució. Un primat amb caràcters

derivats i, per tant, més especialitzat que nosaltres, pot ser molt més eficient en determinades tasques. Un babuí de sabana pot desplaçar-se llargues distàncies, un gibó pot pujar a les branques més fines de les copes dels arbres, un goril·la pot enfrentar-se als depredadors més temibles. En canvi, nosaltres no tenim adaptacions morfològiques que ens permetin fer totes aquestes coses ni tan sols amb la meitat d'eficàcia que ells. Hi ha, però, una característica dels humans que és especialment significativa: som intel·ligents i basem la nostra supervivència als canvis climàtics en les capacitats cognitives, més que en l'adaptació morfològica. La nostra intel·ligència ens ha permès, per exemple, desenvolupar la tecnologia. Però no sabem del cert si la tecnologia que hem desenvolupat ens salvarà dels efectes adversos de l'escalfament global (fins i tot sembla que els està accelerant) ni quin serà el preu que haurem de pagar pel seu ús. A la fi, ser intel·ligents podria no ser adaptatiu.

Ser intel·ligents no ens assegura la supervivència

La intel·ligència consisteix en un conjunt de capacitats cognitives que permeten a un organisme modificar l'ambient en què viu en funció de les adaptacions que el caracteritzen, en

• • • • • • • • • • •

³ Comparats amb els mamífers insectívors, dels quals deriven, aquests trets van representar veritables especialitzacions dels primats, però un cop assolits no es van modificar.

lloc d'adaptar-se a les seves fluctuacions. Es tracta, per tant, d'un concepte ecològic que relaciona el medi amb la capacitat dels organismes de satisfer en ell les seves necessitats bàsiques. En el nostre cas, com a espècie que ha fet de la intel·ligència la principal estratègia adaptativa, la modificació de l'entorn en què vivim ha estat extrema, ja que l'hem conformat perquè sigui més habitable, hem absorbit l'excedent demogràfic que generem i hem mantingut la qualitat de vida. Gran part de la nostra intel·ligència està dedicada a les funcions orgàniques bàsiques (respirar, alimentar-nos, reproduir-nos o desplaçar-nos) i la resta al manteniment de xarxes socials complexes, que són la base del nostre èxit com a espècie, i a la realització de tasques culturals de tipus simbòlic o artístic. En conjunt, totes aquestes habilitats cognitives han evolucionat perquè ens confereixin avantatges reproductives i de supervivència respecte a altres espècies. Si no fos així, no les tindríem. La qüestió que cal resoldre és si les modificacions que causem en el medi poden arribar a ser tan grans que la nostra tecnologia deixe de ser adaptativa. Això pot succeir si, per exemple, causéssim l'extinció massiva de totes les espècies de les quals ens alimentem o originéssim un hivern nuclear.

Per mesurar la intel·ligència s'han desenvolupat tècniques de quantificació basades en la relació entre el pes corporal i el pes del cervell. En els vertebrats hi ha una relació directa de

proporcionalitat entre ambdues variables, de manera que els organismes de més pes també tenen el cervell més gran. En l'extrem inferior de la dispersió en relació a aquestes variables es troben els ratolins i els ratpenats, i en el superior les balenes i els elefants. En els mamífers aquesta relació de proporcionalitat és més elevada que en els rèptils, que per al mateix pes corporal tindrien un cervell més petit. Sembla evident que la mida del cervell està directament relacionada amb la fisiologia dels organismes: una massa corporal gran requereix un cervell gran per controlar totes les funcions. El cervell és, doncs, tan gran com cal perquè l'organisme funcioni correctament, ni més ni menys (si no féssim servir part del cervell no el tindríem).

Per saber si som especialment intel·ligents hem de considerar si el nostre cervell és més gran del que ens correspon per al nostre pes corporal. El coeficient d'encefalització (CE) es calcula mitjançant el quotient entre el pes mitjà real del cervell d'una espècie i el pes del cervell que li correspondria en relació al seu pes corporal mitjà. Així, una espècie amb $CE=1$ té el cervell que li pertoca per al seu pes corporal. Els gossos presenten un CE d'aproximadament 1; els primats antropoïdeus, un CE de 4; i els humans moderns de 7,5. És evident que en un cervell molt més gran del que ens caluria per a les funcions orgàniques bàsiques i no és arriscat dir que aquest excés l'utilitzem per realitzar

funcions intel·lectuals i cognitives que ens caracteritzen com a humans.⁴

No sempre hem estat tan intel·ligents. Al llarg de la nostra evolució, l'increment de volum del cervell ha estat proporcional a l'augment de pes, però el ritme d'increment ha estat unes vint vegades superior en el nostre llinatge que en el dels hominoïdeus més propers a nosaltres, com el ximpanzé i el goril·la. L'increment més significatiu de volum del nostre cervell s'ha produït els darrers 200.000 anys, fet que coincideix amb l'aparició dels humans moderns. En les poblacions humanes actuals el volum del cervell pot variar entre 1.000 i 1.400 centímetres cúbics (cc) en les dones i entre 1.100 i 1.600 cc en els homes.⁵

Aquestes diferències, tant a nivell poblacional com entre sexes, no poden utilitzar-se per justificar actituds discriminatòries de superioritat intel·lectual. S'ha demostrat que la intel·ligència no és una qüestió de volum, sinó d'organització neuronal i de quantitat, i de distribució de la *matèria gris* i la *matèria blanca* del cervell. Les neurones, que són les cèl·lules que formen el cervell, tenen dues parts ben diferenciades: el cos neuronal (la matèria gris)

i els axons i les dendrites (la matèria blanca), que són ramificacions del cos neuronal que serveixen per connectar les neurones entre si. En certes regions del cervell, les dones tenen més matèria blanca dedicada a les capacitats cognitives (mesurades pel coeficient d'intel·ligència) que els homes, que tenen més matèria gris dedicada a la mateixa funció. Però les diferències en la quantitat de matèria gris sembla que no expliquen més del 6% de les variacions sexuals en les capacitats intel·lectuals.

Les funcions cerebrals relacionades amb la intel·ligència es poden situar en diverses zones del còrtex cerebral. El còrtex, la part més externa del cervell, s'organitza en sis àrees o lòbul, que podem associar a determinades funcions. Una de les principals funcions cognitives humanes és el llenguatge articulat. Els estímuls visuals i auditius que rebem constantment són processats inicialment per les àrees del còrtex visual, situat en el lòbul occipital a la part posterior del crani, que capta els estímuls visuals, i l'uditiu, en el lòbul temporal al costat esquerre del crani, que capta els estímuls sonors. Aquests senyals primaris són transmesos des

• • • • • • • • • •

⁴ Si ens comparem amb els mamífers que tenen un coeficient d'encefalització elevat, com els primats hominoïdeus i els dofins, continuem sent l'espècie amb un CE més alt, seguits dels dofins i els hominoïdeus, en aquest ordre. Tot i que el coeficient d'encefalització és un valor relatiu que depèn respecte a qui ens comparem, està clar que els humans som l'espècie més encefalitzada.

⁵ Aquests amplis rangs de dispersió se superposen amb els dels humans arcaics de fa entre 200.000 i 400.000 anys, i amb els dels neandertals, que fins i tot tenien un volum cerebral mitjà superior al nostre, per sobre de 1.400 cc.

d'aquestes zones fins a l'anomenada àrea de Wernicke, on es processa la informació abans de transmetre-la directament a l'àrea de Broca, encarregada de l'estructuració sintàctica del que serà una resposta vocal adequada als estímuls rebuts. A continuació, la informació es transmet al còrtex motor primari, que s'encarrega de traduir el missatge en ordres motores als llavis, la mandíbula, la llengua, la laringe i els pulmons, per tal de produir els sons concatenats que anomenem llenguatge. El desenvolupament anatómic d'aquestes regions del còrtex cerebral i, en particular, de l'àrea de Broca, es consideren un clar indicador de les capacitats cerebrals relacionades amb la comunicació.

Una altra característica associada a la intel·ligència és la lateralitat del cervell. Moltes funcions cerebrals estan lateralitzades, en particular les relacionades amb el llenguatge. Sabem que en el 92-96% dels dretans és l'hemisferi esquerre el que controla el llenguatge, mentre que en els esquerrans només el 15% té les funcions del llenguatge en l'hemisferi dret i la resta varia molt entre l'hemisferi esquerre o distribuït entre tots dos hemisferis. La lateralització afecta especialment l'àrea de Wernicke, que és la regió integradora dels estímuls visuals i auditius i que forma a sota del còrtex l'anomenat *planum temporale*, molt més desenvolupat en l'hemisferi esquerre que en el dret. Aquesta asimetria del cervell no és exclusiva

dels humans: s'ha demostrat que també està present en el ximpanzé.

Les capacitats cognitives no depenen només de la mida de les àrees del còrtex cerebral o de la seva lateralització. Alguns primats són capaços de fer tasques que es consideren exclusivament humans, com ara l'habilitat de jutjar una determinada situació i prendre determinacions arriscades, fet que es coneix com a *metacognició*. Així, s'ha comprovat que alguns macacos són capaços de prendre decisions basades en l'experiència de l'èxit o el fracàs previ, de forma que una taxa creixent d'encerts successius afavoreix la presa de decisions de risc, mentre que un fracàs comporta decisions poc arriscades. Aquests tipus d'estudis es basen en experiments en els quals una elecció errònia pot privar d'aliment, mentre que una decisió arriscada pot representar un aportament extraordinari. Si els macacos disposen de poc menjar tenen tendència a escollir opcions poc arriscades que, tot i proporcionar-los poc menjar, són segures. En canvi, després de successives decisions correctes, havent acumulat alguns excessos, solen arriscar-se per obtenir un premi més important, tot i que existeixi el risc de no obtenir res. Per tant, la metacognició tampoc és una capacitat exclusivament humana.

Acabem de veure que ni la lateralització ni la metacognició són capacitats exclusives dels humans. Què ens queda? Què és el que ens pot fer únics i especials? Pera molts, la resposta serial l'auto-

consciència. Com a indicador indirecte d'autoconsciència s'utilitza l'autoreconeixement davant el mirall. Per determinar si un animal es reconeix a si mateix i no un congènere, se li fan marques sobre el cos que només pot veure en el mirall. Els animals que es reconeixen a si mateixos utilitzen el mirall per explorar les marques que duen sobre el cos. Els humans passen aquesta prova a partir d'1,5 o 2 anys d'edat. També els ximpanzés, els bonobos, els orangutans, els dofins i els elefants adults es reconeixen positivament al mirall. Altres primats, com els caputxins o els gibons, mostren una gran variació entre individus, des del ple reconeixement fins a la confrontació amb la imatge. Existeix un debat important sobre la utilitat del test d'autoreconeixement al mirall i la seva importància com a indicador de capacitats cognitives. Els gossos probablement no s'hi reconeixen a causa de la seva limitada capacitat visual, en particular dels colors, en comparació amb el seu desenvolupat sentit de l'olfacte, que els permet, en canvi, reconèixer la seva pròpia olor sense dubtar. Els elefants, per contra, han demostrat un gran nivell d'autoconsciència davant el mirall, atribuïble a les seves aptituds socials. No està clar, per tant, si aquest és un bon referent per determinar les capacitats cognitives, en particular si el que pretenem és comparar-les amb les habilitats intel·lectuals humanes.

Una altra forma de mesurar les capacitats cognitives són els tests d'intel·

ligència, que proporcionen un coeficient d'intel·ligència (CI) que s'utilitza àmpliament com a indicador de problemes del desenvolupament intel·lectual i del cervell. El valor obtingut en un test d'intel·ligència es defineix per referència a la població d'origen amb un valor mitjà de 100 i una desviació estàndard de 10 a 15 unitats. Es consideren superdotats aquells individus que obtenen puntuacions superiors al 98% (aproximadament una puntuació de 135 a 140). Les taules de referència han de corregir-se periòdicament atès que el coeficient d'intel·ligència tendeix a augmentar en la majoria de les societats humanes entorn de 3 punts per dècada, tot i que en alguns països desenvolupats, com Finlàndia, Noruega o Gran Bretanya, no augmenta o, fins i tot, disminueix per a alguns tipus de tests cognitius. A més, s'ha demonstrat que els tests d'intel·ligència només es poden utilitzar per mesurar les habilitats intel·lectuals d'un individu respecte a la seva població d'origen, amb la qual comparteix un mateix model cultural i una mateixa llengua. El resultat depèn en gran mesura del nivell cultural, de l'educació, dels valors socials i de les capacitats lingüístiques i de comunicació. Per tant, el coeficient d'intel·ligència no és una mesura universal de les capacitats cognitives d'una espècie, ni es pot utilitzar per justificar diferències poblacionals, racials o sexuals⁶. En la mesura que els coeficients d'intel·ligència depenen de l'educació

i l'accés a la informació, les comparacions entre grups poblacionals asimètrics, amb diferències culturals o socials, només pot servir per posar de manifest aquestes diferències.

La intel·ligència no es pot mesurar amb indicadors subjectius. En realitat, no podem afirmar que un ximpanzé és menys intel·ligent que un humà, de la mateixa manera que no té sentit dir que un afroamericà és menys intel·ligent que un americà caucàsic en respondre un test predissenyat per a població blanca. El volum del cervell, el coeficient d'encefalització, les asimetries, l'autoconsciència o els tests d'intel·ligència són mesures relatives que sempre s'han de situar en referència a un estàndard de comparació. Si aquest estàndard fos un ximpanzé o un lleó, els humans puntuariem molt baix en supervivència en el bosc o en defensa d'un territori a la savana africana. En biologia, la intel·ligència no és més que un mecanisme adaptatiu per assegurar la supervivència diferencial i l'èxit reproductor d'una espècie. Davant els reptes ambientals, com un canvi climàtic, i els factors limitants, com la competència pels recursos, els humans hem fet de les capacitats cognitives la nostra forma d'adaptar-nos. Aquesta ma-

nera de resoldre els problemes és una especialització humana extrema, de manera que si no poguéssim fer servir la cultura per protegir-nos del fred, de la calor, de la manca d'aliments o de les malalties, no aconseguírem sobreviure: la nostra extinció seria una més de les que ja s'han donat en el passat.

No podem dubtar: preservem o morim

Si ens preguntem per la possibilitat de tornar enrere per viure en harmonia amb la naturalesa, la resposta molt probablement serà negativa, atès que hem fet de la transformació dels ecosistemes la nostra forma de sobreviure. La tecnologia és l'eina que fem servir per modificar el medi des de fa més de dos milions d'anys. Les evidències més antigues d'indústria lítica, exponent màxim de la tecnologia humana primitiva, es troben als jaciments de Gona (Etiòpia) i Bouri i Localelei (Kenya), datats en més de 2,3-2,5 milions d'anys. Probablement, la cultura va aparèixer molt abans. La pedra no és l'únic material amb què es poden fabricar eines, però és el que millor es conserva en el registre fòssil. Excepcionalment, en alguns jaciments sud-africans s'han trobat eines de fusta associades a l'espècie *Austra-*



⁶En relació al sexe, s'aprecien certes desviacions en els tests: les dones tendeixen a obtenir valors superiors en tests de tipus verbal o de memòria, mentre que els homes puntuen més alt en tests de relacions espacials. Els homes també mostren una major dispersió en els resultats que les dones. Però no hi ha cap evidència que indiqui l'existència de diferències sexuals significatives en els valors mitjans. A més, molts investigadors ja han alertat de la facilitat de dissenyar tests on un o altre sexe puntuï millor.

lopithecus robustus, un cosí llunyà nostre de fa més d'un milió d'anys, que van ser utilitzades per foradar termits. Tot i que no es pot descartar que la capacitat dels humans per fabricar eines s'hagi adquirit independentment de la dels australopitecins, l'evidència contrastada que els ximpanzés també tenen tradicions culturals suggereix, més aviat, que es tracta d'un tret que compartim des de temps molt remots, com a mínim des de fa sis o set milions d'anys, quan vivia l'avantpassat comú entre el nostre llinatge i el dels ximpanzés.

La cultura del ximpanzé és molt complexa, depèn de tradicions socials i es transmet per aprenentatge de generació en generació. Els ximpanzés, habitants de les selves tropicals a l'Àfrica equatorial, han desenvolupat cultures útils per solucionar els reptes diaris d'obtenir i processar l'aliment. Excavacions a la selva tropical de Taï, a Costa d'Ivori, han posat de relleu indústries lítiques, sobretot percutors (instruments usats per fabricar eines de pedra mitjançant cops), datades en 4.300 anys i atribuïdes als ximpanzés. S'ha demostrat que aquestes eines van ser utilitzades per obrir les closques de fruites seques que formaven part de la dieta d'aquests animals i no de la dels humans que vivien en aquella zona. Aquestes indústries demostren que la cultura és un tret que compartim amb els ximpanzés des de molt antic, des del mateix moment de la divergència entre els nostres llinatges.

En els humans, la dependència de la cultura ha crescut exponencialment en els darrers dos milions d'anys. És indubtable que som animals eminentment culturals i és això el que ens fa humans, la cultura és el nostre hàbitat. Una altra cosa és la tecnologia; no podem saber si la tecnologia ens farà evolucionar biològicament. Recordem que l'evolució no té una meta i que, tot i que no és aleatòria, és imprèdictible. L'*Homo technologicus*, que alguns preconitzen, ja és aquí i som nosaltres, els *Homo sapiens*, i no necessitem nous noms per referir-nos-hi. Tot i que no sabem com serem en el futur, del que sí podem estar segurs és que l'ambient cultural que ens hem construït és el nostre nínxol ecològic i no hi ha marxa enrere.

Tampoc ens diferenciem dels altres éssers vius en la capacitat de modificar l'ambient. Els elefants que travessen la sabana marquen els camins sobre la terra que trepitgen des de fa moltes generacions i, menjant, condicionen la distribució dels recursos en el seu medi. El clima, juntament amb alguns agents atzarosos, determina l'èxit evolutiu de les espècies i la composició dels conjunts faunístics en cada moment, on cada organisme té un paper per representar. El que ens distingeix és la magnitud de la nostra capacitat de transformació i la velocitat amb la qual ho fem. Hem estat caçadors recollidors durant dos milions i mig d'anys, i agricultors només durant 10.000 anys. Vam desenvolupar les primeres civilitzacions fa 6.000 anys

i vam crear els estats fa 4.000 anys. La revolució industrial només té 200 anys i la tecnologia espacial tan sols 50, internet 20 i el telèfon mòbil 10; coneixem el genoma humà des de fa 3 anys i la teràpia gènica és a punt d'arribar. I ara que tot semblava perfecte, almenys a l'anomenat “primer món”, ens adonem que ho estem fent tot malbé: el canvi climàtic és aquí.

En realitat desconeixem les conseqüències a llarg termini d'aquest escalfament global i encara ens preguntem si som a temps d'aturar-lo o si és millor adaptar-s'hi. Les previsions de l'*International Panel on Climate Change* no són optimistes. Des de l'any 1900 la temperatura de la Terra ha augmentat de l'ordre d'1 a 2°C. Les previsions més optimistes xifren l'increment de temperatura per als propers 20 anys en uns 2°C. Però l'efecte no serà igual a tot el món, sinó que les zones continentals i de latituds elevades seran les més afectades. Un dels efectes més significatius del canvi climàtic serà l'augment dels nivells dels oceans a causa del desglaç dels gels polars i continentals. Els darrers 100 anys l'increment mitjà del nivell de les marees ha estat de 20 cm i els propers 100 anys pot variar entre 10 i 90 cm segons els diferents models. Les conseqüències més directes es faran notar a les zones de costa, on es concentra més del 80% de la població mundial, especialment a algunes illes del Pacífic, que poden desaparèixer sota les aigües.

A més, no sabem com pot afectar el canvi climàtic a la fauna marina i terrestre, a la disponibilitat de recursos, als règims de pluja, a les estacions, al clima en general i a la diversitat biològica. El debat més controvertit se centra en l'efecte que el canvi climàtic tindrà sobre els corrents oceànics, en particular sobre el corrent de l'Atlàntic Nord que, com veurem més endavant, té una gran repercussió sobre el clima global. Sabem que en el passat hi ha hagut canvis en els règims d'aquests corrents, sempre amb variacions climàtiques molt marques. La història climàtica d'Europa els darrers 800.000 anys ha estat una llarga successió de períodesfreds i càlids amb una periodicitat de 100.000 anys, on les èpoques fredes han tingut una durada d'uns 80.000 anys, i d'uns 20.000 les càlides. En conjunt, els períodesfreds van ocupar 4/5 parts del temps total, durant els quals el nivell del mar va baixar uns 120 metres de mitjana, cosa que va donar lloc a grans regressions marines que es veien compensades amb transgressions equivalents durant les fases càlides. Els humans arcaics van aconseguir sobreviure a aquestes fluctuacions adaptant-se anatòmicament a través de processos evolutius i millorant la seva tecnologia. Però el preu que van pagar va ser molt alt, en vides humanes i en condicions i qualitat de vida.

Alguns investigadors suggereixen que, atès que el període d'escalfament actual va començar fa 10.000 anys, potser encara tenim per davant 10.000

anys més d'escalfament abans de l'inici d'una altra època freda. Assumeixen que la nostra activitat dels darrers 100 anys no ha accelerat el procés i veuen en l'escalfament climàtic un esdeveniment que segueix el seu curs en funció de les fluctuacions de la radiació solar. Per a ells, l'escalfament global no és quelcom que ens hagi de preocupar. La qüestió de fons és si volem aprendre alguna cosa de les vegades que la Terra ha patit canvis climàtics i dels seus efectes sobre la vida. No hi ha dubte que som responsables del ritme accelerat dels canvis que es produeixen en els ecosistemes, i defugir la nostra responsabilitat no solucionarà el problema. En els propers capítols d'aquest llibre analitzarem si aquesta situació en la qual ens trobem té algun precedent o és única, i si el passat ens pot ensenyar alguna cosa abans que no hi hagi remei.