

# PROBAS DA CHEGADA DO ANTROPOCENO

**ARMESTO, CONSTANTINO**  
**GONZÁLEZ CRESPO, SARA**  
*IES Illa de Tambo, Marín*

## 1. INTRODUCCIÓN

A consecuencia das actividades humanas o noso planeta está a cambiar a pasos xigantescos, e poucos decátanse diso. Os humanos malamente poderemos atopar solucións se antes non entendemos os problemas: e a crise ambiental é un grave problema que nos afecta a todos, chamémonos coruñeses, galegos, españois ou europeos. Este artigo quere contribuír á divulgación deste novo coñecemento científico, debido á súa importancia para o futuro da civilización.



Paul Crutzen e Eugene Stoermer acuñaron o termo Antropoceno no ano 2000 para denotar o intervalo de tempo presente, no que moitos dos procesos xeolóxicos están profundamente alterados polas actividades humanas (Cearreta, 2018; Foley, 2010). No ano 2016, o grupo de traballo do Antropoceno (38 especialistas coordinados por Jan Zalasiewicz), da Subcomisión de Estratigrafía do Cuaternario, órgano integrante da Comisión Internacional de Estratigrafía, organización científica englobada na Unión Internacional de Ciencias Xeolóxicas, decidiu que hai probas suficientes para concluír que se acabou o Holoceno, e que estamos no Antropoceno, unha nova época xeolóxica da Terra (Waters et al, 2016), dentro do período Cuaternario, era Cenozoica, eón Fanerozoico.



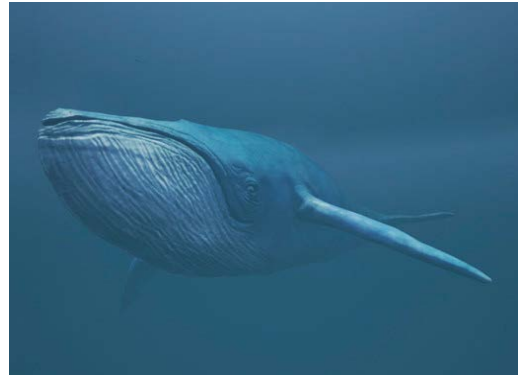
Calquera recoñecemento formal do Antropoceno como unha época xeolóxica depende de se os seres humanos cambiaron o planeta, o suficiente como para producir un rexistro estratigráfico nos sedimentos e no xeoloxía, distinto do Holoceno. A continuación revísanse os cambios antrópicos e os seus marcadores, noutras palabras, as probas globais e persistentes que a actividade humana está a deixar na Terra.

## 2. PROBAS BIOLÓXICAS

Antes de expoñer cifras vamos poñer nome a unha das posibles vítimas da extinción. Cada ano, preto de cen mil pangolíns -o mamífero que máis se comercializa de forma ilegal no mundo- son capturados e enviados a China e Vietnam, porque alí considéranos un exquisito manxar; aínda por riba, usan as súas escamas porque os supersticiosos cren que teñen propiedades medicinais máxicas. Resultado: as oito especies de pangolíns están ao bordo da extinción (Gibbs, 2002).

Para confirmar que a biota da Terra está a entrar nunha sexta extinción masiva un equipo de científicos encabezado por Gerardo Ceballos

(Ceballos et al, 2015) propúxose demostrar que as taxas actuais de extinción superan amplamente as taxas de fondo que prevalecen en ausencia de extincións. Centráronse nos vertebrados porque contan con máis datos; utilizaron como estimación da taxa de fondo de extinción (número de especies extintas cada dez mil especies e cada cen anos) o dobre das estimacións anteriores, e comparárona coa taxa actual de extinción de vertebrados. Mesmo baixo supostos que tenderían a minimizar a extinción, a taxa media de perda de especies de vertebrados durante o século pasado centuplica a taxa de fondo. Baixo este suposto, as especies que se extinguiron no século pasado tardarían, dependendo do taxón, entre oitocentos e dez mil anos en desaparecer, se o ritmo fose normal. Estas estimacións revelan unha perda excepcionalmente rápida de biodiversidade durante os últimos séculos, o que indica que unha



sexta extinción masiva está en marcha. En concreto, os investigadores atoparon que, desde o ano 1500, hai probas da desaparición de trescentas trinta e oito especies de vertebrados e outras duacentas setenta e nove xa só se poden atopar nos zooloxos ou, ante a falta de avistamentos, posiblemente extinguíronse; en total, seiscentas dezasete especies de vertebrados desapareceron da natureza; a maioría, no último século.

Un equipo de científicos encabezado por Anthony D. Barnosky fai as seguintes consideracións (Barnosky et al, 2011): Os paleontólogos caracterizan as extincións biolóxicas masivas como os momentos en que a Terra perde máis de tres cuartas partes das súas especies nun intervalo xeoloxicamente curto: ocorreu só cinco veces nos últimos cincocentos corenta millóns de anos. Dos catro mil millóns de especies que se estima evolucionaron na Terra, ao redor do noventa e nove por cento extinguíronse: isto demostra que as extincións son moi comúns; pero, normalmente, a taxa de extincións está equilibrada pola taxa de especiacións; o equilibrio oscila, de tal maneira que, en varias ocasións na historia da vida, as taxas de extinción aparecen algo elevadas, pero só cinco poden cualificarse de extinción masiva. A intensidade de cada extinción masiva por encima do nivel de fondo varía, pero todas teñen taxas de extinción superiores a calquera outro intervalo xeolóxico desde fai cincocentos corenta millóns de anos, e mostran unha perda de máis das tres cuartas partes das especies. Despois de cuantificar as perdas de especies durante os últimos séculos, os biólogos suxiren que, agora, unha sexta extinción masiva pode estar en marcha. Os autores tratan de avaliar a intensidade da crise en curso, establecendo unha cota para recoñecer a perda de biodiversidade

característica das cinco extincións masivas anteriores. Conclúen: os nosos resultados confirman que as taxas de extinción actuais superan o que se esperaríase dos rexistros fósiles; se as ameazas actuais non cesan a Terra podería alcanzar a cota extrema dentro de poucos séculos.

O equipo de expertos que encabeza Rodolfo Dirzo chega a conclusións similares: os impactos humanos sobre a biodiversidade animal son unha forma pouco recoñecida de cambio ambiental (Dirzo et al, 2014); vivimos no medio dunha onda global de perda de biodiversidade causada por actividades humanas. Trescentas vinte e dúas especies de vertebrados terrestres extinguíronse desde o ano 1500, e as poboacións das especies restantes diminuíron un vinte cinco por cento, en media. As pautas dos invertebrados son igualmente terribles: dous terzos das poboacións estudadas diminuíron un corenta e cinco por cento, de media. Moito se descoñece sobre esta perda de fauna, con todo, pode asegurarse que é un compoñente da sexta extinción masiva.

Un equipo de científicos, encabezado por William J. Ripple, fixo un chamamento para salvar a megafauna (Ripple et al, 2016). Estes son, resumidos, os seus argumentos: o cincuenta e nove por cento dos carnívoros máis grandes (vinte e sete especies pasan de quince quilos) e o sesenta por cento dos herbívoros máis voluminosos (setenta e catro exceden os cen quilos) están ameazados de extinción; animais tan emblemáticos como os gorilas, rinocerontes e grandes felinos incluíronse na Lista Vermella. As actividades humanas, a deforestación, a agricultura e gandería son responsables. Segundo a Organización das Nacións Unidas para a Agricultura e a Alimentación, en 2014, hai ao redor de tres mil novecentos millóns de exemplares de ruminantes domésticos na Terra; compárese a cifra cos oito millóns e medio de individuos de cincuenta e unha especies silvestres dos grandes herbívoros. A caza tamén é responsable: mátese megafauna pola carne ou por partes do corpo para a medicina tradicional e adornos, ou por ameazas reais ou ficticias: elefantes polo seu marfil, rinocerontes polos seus cornos e tigres por partes do corpo. Os zooloxos xa escribiron o obituario do rinoceronte negro occidental de África e pronto serán necesarios os epitafios para o rinoceronte branco do norte, o rinoceronte de Sumatra e o rinoceronte de Xava; o camelo Bactriano, o kouprey (*Bos sauveli*) e o asno salvaxe africano están en perigo crítico.

Un último artigo, encabezado por Jonathan L. Payne, predí nos océanos o que xa sucede nas terras emerxidas (Payne et al, 2016). Para dispoñer de datos máis fiables, analiza unicamente os moluscos e vertebrados mariños. Conclúe: sen un cambio na xestión, os océanos soportarán unha extinción de intensidade –só de moluscos e vertebrados extinguiranse entre vinte e corenta por cento dos xéneros– suficiente como para clasificarse entre as seis maiores dos últimos cincocentos corenta millóns de anos.

En resumo, a Lista Vermella da Unión para a Conservación da Natureza (IUCN) contén vinte e catro mil trescentas sete especies ameazadas de extinción no ano 2016: catro de cada dez especies de anfibios, unha de cada catro especies de mamíferos, e unha de cada oito especies de aves están ameazadas. Catalogáronse un millón novecentas mil especies e menos do dous por cento están en risco de extinción. Temos que preocuparnos? Mirando estas cifras, un estaría tentado de dicir que non: sería un erro. As causas destas extincións pretéritas varían, pero teñen en común que causan cambios rápidos no hábitat; e iso é xustamente o tipo de cousas que os humanos estamos a provocar na actualidade. A velocidade deses cambios pon os pelos de punta, pois é máis rápida que calquera cousa que vísemos, excepto o asteroide que borrou aos dinosauros. De manter o ritmo actual seríamos testemuñas, dentro dunhas décadas ou moi poucos séculos, dunha extinción similar á dos dinosauros. Esta, e afirmacións similares, non as fai un ecoloxista; poden lerse, como debe comprobar o escéptico lector, en *Science* e *Nature*, as revistas científicas máis prestixiosas do mundo.

### 3. PROBAS XEOLÓXICAS

A humanidade cambiou a paisaxe, o solo, a atmosfera, o océano e a biosfera. Agora ben, podemos cualificar o cambio de xeolóxico (Zalasiewicz, 2016)? A humanidade pode causar unha mutación tan radical como as transformacións acontecidas ao comezo do Holoceno? Poderán equipararse os efectos

da actividade humana, que teñen só séculos de antigüidade, coas grandes metamorfoses xeolóxicas que poden durar millóns de anos? Existen datos xeolóxicos suficientes para definir unha nova época – Antropoceno- que siga ao Holoceno? Para comparar os labores humanos coa creación e destrución de montañas, coa formación de vales ou cos impactos dos meteoritos, os xeólogos necesitan determinar se a transformación é tan profunda como para que as súas pegadas queden gravadas nos estratos, deben demostrar que a nosa actividade deixará pegadas no planeta, como sucede cos fósiles; rastros que poderán ser distinguidos con facilidade no futuro afastado -como os ósos dos dinosauros-.

### 3.1. Probas xeolóxicas: tecnofósiles

A transformación de máis da metade da superficie terrestre para uso humano xerou materiais modificados que se estenden por todo o orbe. Xa coñecemos a suma da produción material de todas as actividades humanas contemporáneas: a cantidade de tecnosfera rolda os 30 billóns de toneladas, o que significa que hai ao redor de 50 quilos de material humano por cada metro cadrado do planeta (Zalasiewicz et al, 2017). A rápida transformación de parte da superficie terrestre en tecnosfera subliña a novidade da actual transformación planetaria; a tecnosfera inclúe unha gran diversidade de obxectos que constitúen unha capa de residuos en rápido crecemento e son potenciais fósiles (tecnofósiles). Todos os materiais artificiais, desde edificios a ferramentas, vehículos, avións, teléfonos móbiles, computadores, moedas ou bolígrafos algún día quedarán sepultados no solo, como un estrato máis. Analogamente aos fósiles biolóxicos, estes materiais sintéticos, chamados tecnofósiles, preservaranse en estratos que serán futuros depósitos xeolóxicos. Os recentes xacementos antrópicos -minería, vertedoiros e urbanización- acompañados de novas rochas supoñen a maior achega de novos minerais á superficie do planeta desde que o osíxeno pasou a ser un compoñente maioritario da atmosfera, hai dous mil catrocentos millóns de anos. Durante milenios, fabricamos materiais descoñecidos na Terra, cerámicas, vidros, ladrillos e aliaxes, os restos destes materiais están presentes como un sinal xeolóxico persistente. O aluminio elemental era case descoñecido antes do século XIX, con todo, desde a segunda guerra mundial obtivemos medio billón de quilogramos de aluminio puro, metal que pasará a formar parte das capas sedimentarias contemporáneas. No que ao ferro se refire, consumíronse 60 billóns de quilogramos de mineral de ferro desde a segunda guerra mundial; e só no ano 2010 a produción anual alcanzou 1800 millóns de toneladas. Por todas partes atópanse rochas fabricadas polos humanos; o formigón, inventado polos romanos e amplamente difundido en contornas urbanas, non só ten a primacía, senón que xa é a rocha característica do Antropoceno; e, desde a metade do século XX, converteuse no material de construción principal: os humanos fabricamos medio billón de toneladas coas cales poderíamos colocar un quilo de formigón en cada metro cadrado da superficie terrestre, a metade só nos dous últimos decenios.

### 3.2. Probas xeolóxicas: mares sucios e plásticos



O océano considerouse un pozo sen fondo capaz de cargar con todos os refugallo da humanidade, todo canto lixo lle chega desde terra polos ríos e glaciares o incorpora aos sedimentos ou á auga. No Ártico ruso arroxáronse residuos radioactivos, máis dun millón de toneladas de residuos vértense cada ano no Mediterráneo; verteduras de hidrocarburos no Atlántico debido ás refineries, á limpeza dos petroleiros e ás mareas negras. Un millón catrocentos mil quilómetros cadrados, case tres veces a superficie de España, ocupa a Gran illa de lixo no Pacífico, unha zona superficial do océano cuberta con cen millóns de toneladas de

refugallos humanos. Este vertedoiro oceánico, formado no século pasado, ten unha concentración excepcionalmente alta de plásticos suspendidos na auga. Como algúns refugallos plásticos flotantes se converten, por foto-degradación, en anacos cada vez máis pequenos, e concéntranse na parte superior do océano ata que se desintegran; ao alcanzar tan pequeno tamaño son comidos polos organismos mariños e, polo tanto, entran na cadea alimenticia: acháronse nos estómagos de tartarugas e albatros. As medusas comen as partículas de plástico porque se asemellan ao zooplankton; os peixes comen ás medusas; nós comemos aos peixes, polo que, inevitablemente, inxeriremos tamén os plásticos. Antes da Segunda Guerra Mundial a produción mundial de plásticos reducíase a uns poucos produtos como a bakelita ou o raión; despois, a produción disparouse ata alcanzar a increíble cifra de 300 millóns de toneladas anuais, unha cantidade semellante á masa de toda a humanidade. A resistencia á desintegración química dos plásticos suxírenos que perdurarán o suficiente na cortiza terrestre como para deixar rexistros fósiles; pero se os refugallos de plástico deixan pegada no solo –as montañas de plástico se observan en moitos lugares-, déixana maior no océano, pois boa parte do plástico inxerido polas criaturas mariñas termina no barro do fondo oceánico cando os animais morren, primeiro paso cara á súa fosilización.

### 3.3. Probas xeolóxicas: deforestación, erosión e desertificación

Aínda que sabemos que nos últimos tres séculos aumentou a deforestación, tamén sabemos que non se trata dun fenómeno novo, pois se facía desde a antigüidade; deforestación que se produciu no hemisferio norte durante os séculos XVIII e XIX, e comezou a realizarse tamén no hemisferio sur



ao longo do século XX. As tallas e queimas arrasan os bosques e selvas da Terra: a industria madeireira, a agricultura, a gandería, a minería ou o crecemento urbano aprópiáanse do solo que outrora pertencía ás árbores. Os expertos da FAO (VV.AA., 2015a) diagnostican que os bosques do mundo diminúen a medida que a poboación humana aumenta e as áreas forestais reconvértense en terreos agrícolas, pasteiros ou se urbanizan. Os datos demostrano: mentres que no ano 1990 os bosques cubrían o 31,6% das zonas terrestres -4128 millóns de hectáreas-, en 2015 pasouse ao 30,6% -3999 millóns de hectáreas-, unha superficie case equivalente á de Sudáfrica. Que decreza a superficie boscosa mundial global non significa que mingüe en todas as rexións do planeta; nunhas aumenta e noutras diminúe: lamentablemente o decrecemento dunhas supera o crecemento das outras. Europa, na actualidade, atópase entre as afortunadas: a superficie forestal do noso país aumentou considerablemente; concretamente, no ano 2015 ten un terzo máis de bosques que un século atrás. Non sucede o mesmo en África e América do Sur, rexións que, durante o quinquenio 2010-2015, experimentaron a perda anual de bosques máis elevada. Sen a protección da cuberta arbórea, os solos dos bosques húmidos sécanse, erosionan e degradan a terra erma: sen árbores, as selvas convértense rapidamente en áridos desertos.



Máis da metade de Tunes está cuberta polo deserto. No Sahel aumentaron as zonas desérticas entre cincuenta e cen quilómetros cara ao norte e algo menos cara ao sur. O 93% do bosque tropical de Madagascar, o país máis erosionado do mundo, e dous terzos da súa selva chuviosa foron tallados. A degradación do solo afecta o 90% da Patagonia arxentina. Máis das dúas terceiras partes da superficie de España - presenta o maior índice de desertificación da Unión Europea- áchanse exposta á desertificación. A desertificación ameaza á cuarta parte do planeta, segundo os expertos do Programa das Nacións Unidas para o Medio Ambiente (PNUMA). Por desertificación (ou desertización se non hai intervención humana) enténdese o proceso polo que un territorio, que non ten o clima dos desertos, acaba adquirindo as características deles; non se refire tanto á expansión dos desertos existentes, como á degradación das terras áridas e semiáridas. Máis que culpabilizar ás secas, cabe responsabilizar ás actividades humanas -a deforestación, o cultivo intensivo e o pastoreo excesivo- como principais axentes da desertificación.



A maior parte dos solos atópase en condición mala ou moi mala, segundo a conclusión do informe que elaborou o grupo técnico intergubernamental sobre os solos da FAO ((VV.AA., 2015b). En particular, a terceira parte atópase moderada ou altamente degradada. A erosión -de 25000 millóns a 40000 millóns de toneladas de solo- cada ano é o efecto máis visible da degradación do solo. Só as perdas anuais na produción mundial de cereais debido á erosión calcúlase en 7,6 millóns de toneladas. O crecemento demográfico e económico ameazan a saúde do solo por tres razóns. Primeira: máis da terceira parte da superficie terrestre libre de xeo do planeta destinouse á agricultura e os solos, despois de vexetación, sofren fortes aumentos de erosión. Segunda: a urbanización contaminou os solos con exceso de sal, acidez e metais pesados, compactounos con maquinaria pesada, e selounos baixo asfalto e cemento. Terceira: o cambio climático contribúe pois ás temperaturas máis altas e o aumento dos fenómenos meteorolóxicos extremos - inundacións e secas-, diminúe a cantidade e fertilidade dos solos.

A intervención antrópica nos procesos sedimentarios é indubidable. Os fluxos de sedimentos nos ríos aumentaron debido á maior deforestación, pastoreo e cantidade de solos cultivados: os humanos contemporáneos xa transportamos máis sedimentos que os ríos e o vento xuntos. A queima e talla de bosques para dedicalos á agricultura, que comezou na primeira metade do Holoceno, especialmente nos bosques tépedos, deixou rastros xeolóxicos: restos de plantas e animais, carbón e depósitos de sedimentos procedentes da erosión do solo; e hai que engadir a intensa erosión que está a ocorrer agora nas rexións tropicais.

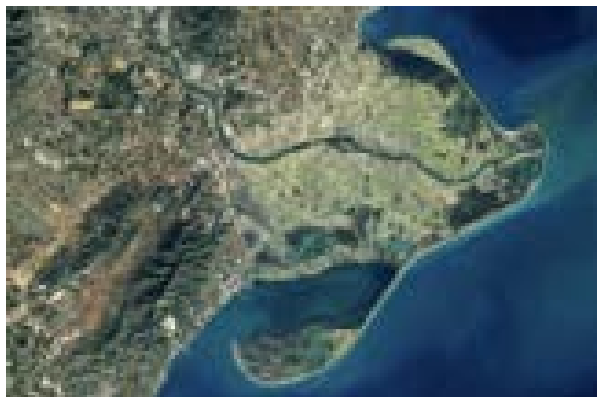
### 3.4. Probas xeolóxicas: afundimento dos deltas

En moitos grandes ríos os materiais finos deposítanse na desembocadura, e forman extensos e fértiles deltas, por onde a auga alcanza o mar. En 2009, os científicos demostraron que vinte e catro deltas, entre os que se atopan o delta do Nilo, Ródano e Yangtzé, dos trinta e tres estudados, sufriron inundacións: os deltas están a afundirse (Syvitski et al, 2009). Ao delta do Danubio chega, no século

XXI, a terceira parte do sedimento que chegaba ao principio do século XX. Antes da construción da presa de Assuan (ano 1965), a cantidade de sedimentos que chegaba ao delta do Nilo alcanzaba os 55 millóns de toneladas anuais, actualmente apenas chega sedimento algún. Setenta ou oitenta quilómetros cadrados das marismas do Mississippi desvanécense cada ano. O delta do Mekong enfróntase a unha perda catastrófica de terras cultivables debido á elevación do nivel do mar. Os deltas do Rin, Ródano, Po e Ebro perden terreo; en resumo, a maioría dos principais deltas do mundo están en perigo de desaparición. As causas? Os fluxos sedimentarios antrópicos intensificáronse, os encoros reteñen os sedimentos que non chegan á desembocadura dos ríos e, en consecuencia, os deltas afúndense. Ademais, se o nivel do mar sobe como consecuencia do quecemento global, que lle sucederá ás numerosas cidades costeiras?, e aos cultivos? Os problemas das cidades edificadas sobre deltas, Alexandría, Amsterdam, Róterdam, Xangai, Marsella ou Nova Orleans non fixeron máis que empezar. A retención de sedimentos detrás dos grandes encoros construídos nos principais ríos do mundo, abrupta nunha escala de tempo xeolóxica, amplificará o afundimento dos deltas e constitúe unha nova pegada global. Consideremos que a maioría das grandes presas construíronse no últimos sesenta anos, e que cada unha interromperá o transporte de sedimentos ao océano de medio século a dous séculos. A diminución ou desaparición de grandes deltas, un proceso que comezou no século XX, ten como consecuencia inevitable a retirada da costa: outra pegada xeolóxica máis.

### 3.5. Probas xeolóxicas: icnofósiles

A alteración do planeta tamén chegou ao mundo subterráneo, pois se perfora a cortiza terrestre para extraer minerais, almacenar refugallo ou aloxar servizos públicos. A humanidade produce unha enorme cantidade de icnofósiles, termo que usan os paleontólogos para referirse ás marcas deixadas polos seres vivos, como as pegadas fósiles que deixaron os dinosauros ou os buracos dos vermes mariños pretéritos. Desde o ano 2008 a metade da poboación humana é urbana; as cidades, que invadiron a superficie terrestre, teñen un dobre nos seus cimentos, tubaxes e transportes



subterráneos que deixarán un rastro perenne na superficie do planeta. As minas e perforacións tamén deixarán unha cicatriz permanente na paisaxe. A extracción de minerais, por si soa, explica o desprazamento anual de 57 billóns de quilogramos de sedimentos, cifra que triplica a cantidade de sedimentos que transportan os ríos. Lembramos as inabarcables áreas bituminosas de Athabasca (Canadá) que, baixo cento corenta e un mil quilómetros cadrados de pantanos de turba, ocupan a mesma superficie que Galicia, Asturias, Cantabria e Castela-León unidas. E aínda non chegamos ás canteiras, como as de granito en Porriño ou de lousa en Valdeorras; esquecemos que cada galego, como bo europeo, consome unha media anual de entre cinco e dez toneladas de produtos minerais, exceptuados os enerxéticos. Certo, as canteiras adoitan ser explotacións de pequeno tamaño, pero o conxunto representa o maior volume da minería mundial. Non nos esquecemos dos máis de corenta mil campos petrolíferos que existen tanto na terra como no mar; pozos de varios quilómetros de profundidade -entre un e seis- que permiten extraer petróleo.

## 4. PROBAS QUÍMICAS

Aínda que sabemos que a humanidade alterou a composición da atmosfera, océanos e solos, preguntámonos se o cambio foi tan grande como para deixar evidencias que poidan detectarse no futuro. O desenvolvemento tecnolóxico da humanidade durante o século XX non pode compararse con ningún período histórico anterior; no século pasado sintetizamos unha enorme cantidade e variedade

de compostos químicos; tan só na Unión Europea, comercialízanse máis de cen mil substancias e, continuamente, sintetízanse novas; desgraciadamente non se valorou o risco para a saúde humana e ambiental de máis do noventa por cento delas. Só no último medio século o número de humanos duplicouse, o consumo mundial de alimentos e auga doce triplicouse, o de combustibles fósiles multiplicouse por catro. Os humanos gastamos agora entre a terceira parte e a metade de toda a enerxía producida no planeta pola fotosíntese. O crecemento desaforado xeneralizou a contaminación; custa crer que a especie humana descargou sobre a Terra unha onda de substancias químicas sintéticas de dimensións xeolóxicas; con todo, case ningunha existía antes da segunda guerra mundial.

#### **4.1. Probas químicas: compostos orgánicos permanentes (COPs), praguicidas, metais pesados, aerosois, ozono e compostos orgánicos volátiles (COV)**

Os compostos orgánicos permanentes (COPs) son substancias sintéticas, que permanecen longo tempo no ambiente por ser resistentes á degradación; son bioacumulables, aumentando a súa concentración nos seres vivos ao longo da cadea trófica; e son tóxicos, xa que poden causar cancro e defectos conxénitos; a iso súmase a súa capacidade para ser transportados a longas distancias. No ano 2001 os químicos identificaron doce (bifenilos policlorados, DDT, dioxinas e outros nove compostos organoclorados). O número aumentou, no ano 2015, incluíronse outros compostos organoclorados, organobromados e organofluorados. Desgraciadamente, aínda quedan candidatos para esta relación como os hidrocarburos aromáticos policíclicos, ftalatos e alquilfenois. Os xeoquímicos comprobaron que algúns xa forman parte dos sedimentos; en resumo, que os COPs deixarán pegadas químicas no noso planeta (Zalasiewicz, 2016).

O uso de calquera produto químico sempre presenta beneficios e prexuízos, sinalémolos para que o lector poida xulgar. Os praguicidas aforran diñeiro aos agricultores; sabemos que en ausencia de praguicidas perderíase (a causa preferentemente dos insectos) o dez por cento das colleitas. A Asociación Médica dos Estados Unidos apunta os posibles perigos para a saúde humana: “Existe incerteza acerca dos efectos da exposición prolongada de doses baixas de praguicidas... Tendo en conta esta falta de datos, é prudente... limitar a exposición a praguicidas... e usar os praguicidas químicos menos tóxicos ou recorrer a alternativas non químicas.” Os praguicidas danan o solo, contaminan a auga e reducen a biodiversidade: non pode estrañarnos, porque o noventa e oito por cento dos insecticidas e o noventa e cinco por cento dos herbicidas chegan a un destino diferente do buscado. Son tan perniciosos? Dos primeiros doce COPs máis perigosos, nove son praguicidas.

Os metais industriais como o cadmio, mercurio e chumbo dispersáronse amplamente polo planeta desde mediados do século XX. Son tóxicos, non se degradan, contaminan o solo, a auga e o aire, perduran no ambiente durante séculos e acumúlanse nos vexetais e animais: o seu perigo é máximo. Un deles válenos como exemplo. A fundición de chumbo durante a época romana deixou un tenue sinal químico da presenza do metal na cortiza terrestre; que se fixo moi marcada en todo o mundo, desde principios do século XX, como resultado do uso da gasolina con chumbo nos vehículos. O chumbo dana o cerebro, os riles e o sistema reprodutor humano. Rick Nevin (ano 2000), achou que se deben ao chumbo entre o sesenta e cinco e o noventa por cento dos crimes violentos en Estados Unidos; tamén demostrou que este metal, nos nenos e adolescentes, se correlaciona cun baixo coeficiente intelectual e un carácter agresivo e antisocial con tendencias criminais. Os xeólogos do futuro acharán que a cantidade de chumbo no ambiente aumentou máis de





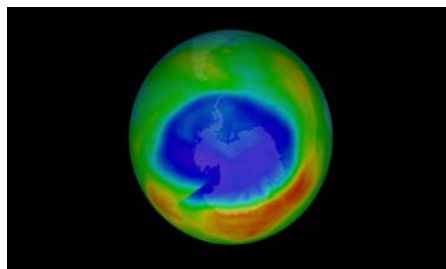
mil veces durante os tres últimos séculos, e o maior aumento comeza entre 1945 e 1950.

Faga o lector unha inspiración, xa? Acaba de inhalar partículas sólidas e pingas líquidas, estas partículas de materia (PM2.5 ou PM10, o número refírese ao tamaño) coñécense como aerosois, e áchanse na atmosfera, onde permanecen suspendidos entre catro días e unha semana, tempo durante o que



poden viaxar miles de quilómetros; habitualmente aludimos a eles como fume, cinzas e feluxe, con todo, a súa composición química inclúe os sulfatos, nitratos, po mineral, sal mariño, compostos orgánicos e carbono. O noventa por cento dos aerosois atmosféricos ten unha orixe natural: os volcáns expulsan cinzas, o vento e as ondas arrojan sal mariño cara ao aire, as tormentas de area lanzan o po mineral dos desertos á atmosfera. As actividades humanas -a queima de combustibles (a maior fonte), a deforestación, o pastoreo excesivo e a utilización indebida de terras xeran o dez por cento dos aerosois atmosféricos restantes. A pesar do seu pequeno tamaño, varían desde uns poucos nanómetros a varias decenas de micrómetros, os aerosois afectan ao clima. Non toda a radiación solar que chega á atmosfera alcanza a superficie: os aerosois -e as nubes formadas debido a eles- reflicten a cuarta parte. O aire contaminado contén máis partículas que o aire prístino, máis núcleos de condensación, máis pingas de auga e máis pequenas, o que significa nubes máis brillantes e maior reflexión de luz; en resumo, os aerosois provocan arrefriado. A queima de combustibles fósiles e biomasa difunde por todo o mundo, cun aumento global case sincrónico ao redor de 1950, o carbono negro (residuo da combustión incompleta), as cinzas inorgánicas e as partículas carbonosas (feluxe); tres clases de partículas -suspendidas no aire- que deixarán unha pegada química permanente, tanto nos sedimentos como no xeo dos glaciares.

Mario Molina, Frank Sherwood Rowland e Paul J. Crutzen recibiron o Nobel de Química, en 1995, por descubrir que algunhas moléculas sintéticas, que soben á estratosfera, afectan ao equilibrio do ozono; efectivamente, os clorofluorocarbonados (CFCs) e os óxidos de nitróxeno destrúen o ozono máis rapidamente do que se rexenera. Nas rexións tépedas, a cantidade de ozono oscila entre trescentas e catrocentas setenta e cinco unidades Dobson ao longo do ano; na Antártida, cando o buraco na capa de ozono é máximo, soamente mídense cen. O oitenta e cinco por cento da destrución débese a substancias producidas por actividades humanas. Prestóuselle bastante menos atención ao ozono troposférico, daniño para a saúde humana e para a vexetación, e un dos principais compoñentes da prexudicial brétema marrón (smog) das cidades. Observado por vez primeira a mediados do século pasado, o ozono troposférico procede de fontes naturais, aínda que as fontes antrópicas multiplicaron a súa concentración decenas de veces. O ozono xérase a partir de precursores; como os óxidos de nitróxeno e os compostos orgánicos volátiles (COV), un conxunto de varios centenaes de produtos que a actividade humana, sobre todo desde a metade do século pasado, emite á atmosfera; como o benceno, tolueno, xileno, formaldehído ou percloroetileno; COV que, ademais de precursores do ozono troposférico, destrúen o ozono estratosférico.



#### 4.2. Probas químicas: ciclo do nitróxeno e ciclo do fósforo

O abono sintético, alicerce da revolución verde, permitiu aos agricultores transformar terreos estériles en cultivables e repetir colleitas na mesma terra sen esperar a que se produza a rexeneración natural dos nutrientes. En consecuencia, a poboación mundial cuadruplicouse desde o invento. Pagamos un alto prezo polos beneficios: a maior parte do nitróxeno que producimos –deliberadamente para abonar a terra e, en menor contía, como residuo dos combustibles fósiles–, non vai parar aos alimentos, espállase cara á atmosfera, ríos e océanos, onde se transforma de benfeitor en contaminante: os científicos atribúen ao nitróxeno as nocivas floracións de algas, as zonas mortas en augas costeiras e o exceso de ozono troposférico.

Antes de que a humanidade explotase a técnica de fixación do nitróxeno atmosférico, a cantidade de nitróxeno fixado naturalmente polas bacterias, compensábase coa actividade doutras, que devolvía o nitróxeno ao seu estado gaseoso. Bastou un século para alterar este equilibrio: no século



XXI as actividades humanas xeran o dobre de nitróxeno ao ano que a suma de todas as fontes naturais. Para nosa desgraza o problema de nitróxeno é máis insalvable que o problema do carbono; pois, como alimentamos a sete mil millóns de persoas sen abonos sintéticos? A pesar de todo, podemos facelo mellor; en EE. UU. aprovéitase só a décima parte do abono aplicado cada ano na agricultura; o resto acaba na contorna.

A actividade humana ocasionou o maior impacto no ciclo do nitróxeno dos últimos dous mil cincocentos millóns de anos; en particular, o proceso que transforma o nitróxeno atmosférico en nitróxeno mineral, acompañado do aumento dos óxidos de nitróxeno procedentes da combustión dos combustibles fósiles, aumentou a cantidade de nitróxeno, respecto ao nivel do Holoceno, nun cento vinte por cento, desde o ano 1913. A humanidade empezou a cultivar plantas fai uns dez mil anos; pero só desde hai un século os agricultores botaron nos seus sementados enormes cantidades de abonos con nitróxeno extraído do aire. Abonos que chegan aos ríos, e destes aos lagos ou ao mar, onde estimulan a produción de plancto; desgraciadamente, cando tales proliferacións biolóxicas morren e descomponse a súa biomasa, fórmanse zonas mortas que sufocan a vida no fondo mariño ou lacustre. Os fósiles que conteñan os futuros estratos contarannos a historia dunha bioloxía devastada: a agricultura deixará un rastro duradeiro.

Praias repletas de algas: os biólogos coñecen o fenómeno, trátase da eutrofización, unha proliferación masiva de algas, en mares, lagos e ríos. As augas perden transparencia e adquiren a característica cor verde; os peixes foxen da zona, e morren os organismos que viven fixos sobre o fondo, debido a que a descomposición das algas mortas consome o osíxeno disolto na auga; en consecuencia, empobrécese a biodiversidade, aínda que aumenta a biomasa do ecosistema. O fenómeno débese a unha sobrecarga de nutrientes: de nitróxeno e fósforo. No ano 2008, algo máis da metade dos lagos asiáticos e europeos, case a metade dos lagos americanos e un pouco máis da cuarta parte dos lagos africanos tiñan exceso

de nutrientes nas súas augas. Coñecemos a causa, a contaminación antrópica: agropecuaria (con fertilizantes e excrementos animais), forestal (por abandono de residuos), atmosférica (por óxidos de nitróxeno producidos pola queima de combustibles fósiles), e a ocasionada polos efluentes urbanos e industriais.

O nitróxeno (e o fósforo) áchase ora no solo, ora nas rocas, ora na auga ou no aire (o fósforo non), talvez forme parte da biosfera; en resumo, experimenta un movemento, un ciclo bioxeoquímico que alteraron as actividades humanas. Concretamente, sabemos que o nitróxeno e o fósforo do solo duplicáronse no último século, como proban os estratos dos lagos e o xeo de Groenlandia, cuxa cantidade de nitróxeno é a máis alta dos cen mil últimos anos. Outro dato máis: a produción de fósforo actual, 23500 millóns de quilogramos anuais, duplica a velocidade coa que o fósforo se liberou de forma natural durante o Holoceno. Non debe estrañarnos, polo tanto, que o Grupo Técnico Intergobernamental sobre os solos da FAO afirmase que reducir o consumo de fertilizantes con nitróxeno e fósforo constitúe unha prioridade mundial (Montanarella, Pennock, McKenzie, 2015). En resumo, existen pegadas xeoquímicas detectables nos sedimentos e no xeo dos cambios contemporáneos.

### **4.3. Probas químicas: desosixenación e acidificación dos océanos**

Os océanos desosixenáanse; sabemos que a concentración de osíxeno oceánico, vital para a vida, diminuíu un dous por cento desde os anos sesenta, e que parte da diminución parece ligada ao quecemento das augas superficiais, que mingua a súa solubilidade. Prevese que un quecemento dun grao no océano traducirase no aumento do dez por cento das augas hipósicas (prexudiciais para a maioría dos organismos) e unha triplicación do volume das augas subósicas (a maior parte da vida non pode ser sostida). O quecemento afecta tamén ao océano doutra maneira: as augas superficiais, quentes e osixenadas, mestúranse peor coas augas profundas, frías e pobres en osíxeno (debido á respiración dos organismos que viven na auga), transportando menos osíxeno ás profundidades. A desosixenación, entón, afecta á produtividade dos océanos -non podemos esquecer que a metade da produción de osíxeno débese ao plancto oceánico (Gilbert, 2017)-. Xa coñecemos varias zonas nas que o osíxeno disolto está esgotado (chámaselles concas anósicas): o mar Negro, por baixo de cincuenta metros, o mar Caspio, por baixo de cen metros, no Mediterráneo (dúas), no Báltico (dúas), no golfo de México (unha), en Venezuela (unha), en Canadá (unha); e hai indicios de que aumentou a extensión das zonas anósicas no mar Báltico e no golfo de México. Varias veces, no pasado, partes dos océanos esgotaron o osíxeno: o rexistro xeolóxico móstranolo; tamén nos informa que os sucesos anósicos coincidiron con extincións biolóxicas masivas e, quizais, contribuísen a elas.

A acidificación oceánica, nome dado ao descenso do pH da auga, aumenta a medida que se emite dióxido de carbono á atmosfera, e este disólvese nos océanos producindo ácido carbónico. Os océanos suavizan os efectos climáticos porque absorben ao redor da terceira parte do dióxido de carbono antrópico emitido; se os océanos non absorbesen trinta millóns de toneladas diarias do gas carbónico, a súa concentración atmosférica aínda sería maior; pero o sumidoiro ten un custo: reduce o quecemento global á conta de acidificar o mar. Os oceanógrafos observaron que, desde o inicio da revolución industrial, a acidez da capa superficial do océano aumentou un trinta por cento (o pH descendeu doce centésimas): a vida mariña non experimentou un cambio tan rápido en millóns de anos. E os estudos paleontolóxicos demostran a gravidade dun descenso da acidez da auga tan veloz: fai 250 millóns de anos desapareceron nove de cada dez especies mariñas. Un pH modificado dana aos organismos: os corais e moluscos, como os mexillóns e ameixas, teñen dificultades para construír a súa cuncha. A acidificación tamén obriga aos animais para investir máis enerxía no mantemento do equilibrio interno, enerxía que subtraen a outros procesos vitais, como a reprodución; por conseguinte, a acidificación pon en perigo mesmo a súa supervivencia: con só a redución do un por cento dos individuos en cada xeración extinguíríase a especie ao cabo dun século.

## 5. PROBAS FÍSICAS: CLIMA

Moitos cambios climáticos ocorridos desde 1950 carecen de precedentes nos últimos milenios: a atmosfera e o océano queñáronse, a cantidade de xeo diminuíu e o nivel do mar aumentou; aumentou tamén a intensidade e frecuencia dos fenómenos meteorolóxicos extremos, incluíndo a diminución de temperaturas frías extremas, a acentuación das temperaturas cálidas extremas e o crecemento do número de precipitacións intensas (IPCC, 2013). O Ártico experimentou un quecemento moi rápido. A temperatura media da superficie terrestre creceu oitenta e cinco centésimas de grao durante o período



1880 a 2012: non parece moito, con todo, cada un dos tres últimos decenios foi sucesivamente máis cálido que calquera decenio anterior desde 1850.

### 5.1. Probas físicas: gases de efecto invernadoiro e aerosois

A concentración de dióxido de carbono atmosférico aumentou desde un valor preindustrial de 280 ppm no ano 1750 a 400 ppm no 2015; compárese este crecemento co aumento de 20 ppm durante os oito mil anos previos á industrialización; e na última década o incremento prodúcese a razón de 1,9 ppm cada ano. O balance global cuantitativo durante o decenio 2004-2013 permítenos apreciar o tamaño (medido en xigatoneladas de carbono anuais) dos diferentes depósitos do carbono: os combustibles fósiles extraídos das reservas xeolóxicas emiten á atmosfera 8,9; os incendios de bosques e pasteiros emiten 0,9; a terra absorbe 2,9; o océano absorbe 2,6; réstanse as absorcións das emisións e resulta un crecemento do dióxido de carbono na atmosfera de 4,3. Resulta obvio sinalar que o uso de combustibles fósiles é a causa principal do aumento do dióxido de carbono atmosférico.

Aínda que o dióxido de carbono é o máis importante gas invernadoiro non debemos desdeñar os outros, pois a suma do efecto do metano, os halocarburos, os óxidos de nitróxeno e o ozono troposférico ten unha magnitude comparable. Ademais dos gases, os aerosois presentes na atmosfera tamén alteran o clima. A natureza encárgase de xerar o noventa por cento dos aerosois; a actividade humana, ao queimar combustibles fósiles ou modificar a superficie terrestre, produce o dez por cento restante. O efecto que producen é equívoco: algúns reducen o quecemento terrestre; outros, adulteran as propiedades das nubes e causan arrefriado. Ante tales ambigüidades, os expertos recoñecen que a magnitude da perturbación climática provocada polos aerosois é incerta. Outros factores que afectan ao clima, como o cambio na cuberta do solo, as erupcións volcánicas ou as fluctuacións do brillo solar ou ben inflúen menos ou non presentan patróns regulares.

Hoxe sabemos que o aumento de gases invernadoiro orixinados pola actividade humana é o principal impulsor do cambio climático; gases invernadoiro que absorben a radiación infravermella que doutra maneira escaparía da superficie terrestre ao espazo e que, por tanto, perturban o equilibrio enerxético do planeta. En consecuencia, a Terra absorbe máis radiación do Sol da que radia ao exterior: este desequilibrio enerxético quenta o planeta. Os gases de efecto invernadoiro antrópicos quantan a superficie da Terra a razón de 2,3 watts cada metro cadrado (valor medido no ano 2011); se comparamos este valor cos obtidos nos anos 1950 e 1980, respectivamente, 0,6 e 1,3, coliximos que case se cuadruplicou a cantidade de calor engadida ao globo en menos dun século.



## 5.2. Probas físicas: inundacións e secas, excesos de frío e de calor

A corrente de chorro do hemisferio norte aseméllase a un fluxo de aire que circunvala o planeta de oeste a leste a grandes altitudes; adoita presentar lixeiras ondulacións cara ao norte e o sur, que se parecen ao sinal sinusoidal dun osciloscopio; gran parte da meteoroloxía cotiá depende de tales curvas -coñecidas como ondas de Rossby-. En 2013 e 2014 a corrente de chorro experimentou unhas ondulacións moi acusadas e persistentes en Europa e América do Norte, que ocasionaron que o aire polar se desprazase cara ao sur. Tales contorsións provocaron intensas tormentas: Inglaterra padeceu o inverno máis húmido desde 1766; Europa continental experimentou unha calor excepcional; Noruega sufriu incendios forestais sen precedentes; choivas torrenciais alagaron case un terzo de Bosnia. Unha onda de calor e seca sucedeu en Rusia en 2010; o fenómeno provocou que as borrascas, que habitualmente levan auga aos cultivos rusos, se desprazasen a Paquistán, onde ocasionaron inundacións catastróficas; a seca supuxo o desastre natural máis mortífero da historia rusa, obrigou a recortar a exportación de trigo e elevou o prezo dos cereais.



O sistema climático non é lineal: un lixeiro quecemento pode disparar un cambio súbito cara a un



réxime meteorolóxico distinto do anterior. O clima en xeral, e a corrente de chorro en particular, cruzou o limiar? Os datos meteorolóxicos resultan esclarecedores: as anomalías dobraron a súa frecuencia de 2001 a 2012 en comparación cos vinte e dous anos anteriores; na segunda década do século XXI desencadeáronse en América do Norte algúns dos desastres máis destrutivos do último século.

## 5.3. Probas físicas: quecemento dos océanos

As actividades humanas alteraron o equilibrio enerxético da Terra; o planeta retén calor porque envía ao espazo menos radiación hogano que outrora. E o océano acumula o noventa por cento do exceso da enerxía. Esta enerxía elevou a temperatura da auga mariña entre 1971 e 2010, sobre todo da capa superior do océano (os setecentos primeiros metros). Ten algunha importancia? Os meteorólogos saben que basta un lixeiro aumento da temperatura da superficie do océano para tornar en furacán un gran número de tormentas tropicais.

Un estudo mostra que o quecemento das augas superficiais aumentou desde a penúltima década do século pasado, e que as correntes mariñas, responsables de repartir a calor por todo o planeta, están a frearse (Ramírez et al, 2017). Se se interrompese a circulación oceánica global, a área intertropical volveríase máis cálida e as rexións polares (e as rexións tépedas de Europa occidental) máis xélicas. Pouco máis hai que argumentar, talvez engadir que os climatólogos saben que a interrupción xa sucedeu no pasado, fai doce mil setecentos anos, concretamente.

A terceira parte da poboación mundial vive a menos de cen metros sobre o nivel do mar; resulta superfluo facer unha alegación sobre a necesidade de preservar as liñas costeiras. E o nivel do mar ascenderá se o quecemento causase a fusión do xeo atrapado nos tres grandes casquetes glaciarios do planeta -reteñen o noventa e nove por cento do xeo-, o un por cento restante concéntrase nos glaciares alpinos-. O cálculo das cantidades permítenos apreciar a súa importancia: se se fundise o xeo da

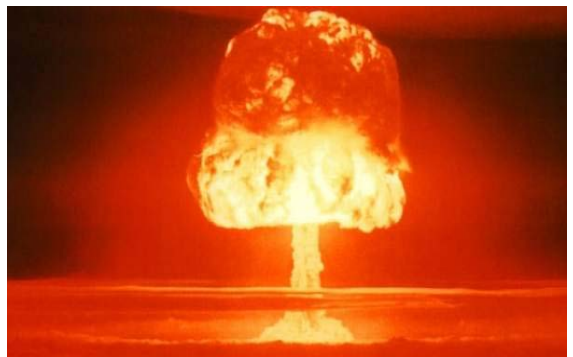
Antártida occidental, o mar subiría cinco metros e oito décimas; o desxeo de Groenlandia ocasionaría un ascenso de sete metros e tres décimas; e a fusión do casquete glaciario da Antártida oriental elevaría ata cincuenta e un metros e oito décimas o nivel dos océanos. En total, o mar ascendería sesenta e catro metros nove décimas.



Sabemos que o nivel do mar elevouse dezanove centímetros durante o período 1901-2010: non parece moito; con todo, entre finais do século XIX e principios do século XX, produciuse unha transición dunha elevación media relativamente baixa -similar á rexistrada nos últimos dous milenios- a unha máis alta. Os datos son reveladores: cada ano, o nivel medio do mar subiu 1,7 milímetros entre 1901 e 2010, 2 milímetros entre 1971 e 2010, e 3,2 milímetros entre 1993 e 2010. Coñécense os factores que contribuíron á subida do mar: 1º A auga dilátase cando se quenta; ao redor da metade do aumento do nivel do mar durante o século pasado é atribuíble a este efecto; só a dilatación térmica da auga do océano bastaría para elevalo trinta centímetros nun século. 2º Nos dous últimos decenios, o xeo de Groenlandia e da Antártida perdeu masa, o corenta e dous por cento da subida do nivel do mar débese a eles. 3º Sen embargo, o fenómeno máis evidente de desxeo para o profano, a desaparición da banquisa do Ártico, non afectará ao nivel do mar; a capa de xeo flotante ao final da época estival reduciuse á metade desde 1900 e prevese que desapareza neste século; con todo, a súa fusión non alterará o nivel do mar: ascende a auga cando o xeo continental se desprende do casquete polar e entra no mar, non cando se funden os icebergs.

## 6. CANDO COMEZOU O ANTROPOCENO?

A formalización é unha cuestión complexa porque a utilidade do Antropoceno excede á comunidade xeolóxica; expresa o grao en que a humanidade está a impulsar cambios rápidos e xeneralizados na Terra. Os marcadores sinalados indican que o Antropoceno é estratigraficamente distinto do Holoceno e apoian a formalización do Antropoceno como unha época cuxo límite inferior aínda non se identificou (Waters et al, 2016).



Entre as distintas propostas para marcar o inicio do Antropoceno o grupo de traballo do Antropoceno, xa mencionado, decidiu que o Antropoceno comezou no ano 1950: porque os residuos radioactivos do plutonio son a marca que determina o cambio de época; fundamentalmente, porque se trata dunha marca global e sincrónica. A detonación

atómica en 1945 iniciou unha choiva radioactiva de 1945 a 1951. As probas con armas nucleares xeran un sinal global (C-14, Pu-239 e outros radionúclidos artificiais) desde 1952 a 1980.

## 7. SOLUCIÓNS

Para a economía clásica o crecemento é a panacea que remedia os males económicos: pobreza, paro, superpoboación e degradación da natureza. Pero a economía é un subsistema da biosfera que é finita: entre o crecemento económico ilimitado e a biosfera limitada a contradición é flagrante (Daly, 2005). Temos que satisfacer as necesidades do presente sen comprometer a capacidade das xeracións futuras de satisfacer as súas propias necesidades; e para lograr este resultado cada xeración debe legar á súa sucesora unha riqueza igual á que ela herdase. Facer o tránsito a unha economía viable converteuse nun imperativo imprescindible para que a civilización humana perdone (MacNeill, 1989).

## 8. CONCLUSIÓNS

Permítasenos unha metáfora para acabar o artigo. Imaxine o lector que é un pasaxeiro do Titanic na súa trágica singradura do ano 1912. Desde o primeiro momento do accidente se decata que o barco chocou cun iceberg. Diríxese á tripulación primeiro, aos pasaxeiros despois, para alertarlles do perigo. Nin uns nin outros negan o contratempo, aínda que, para a súa sorpresa, uns alegan a boa construción do barco para non alarmarse, outros, a pericia profesional dos navegantes para non tomar medidas de precaución. Coñecemos o dramático resultado da inacción. Os expertos detectaron que o planeta Terra tropezou cunha crise ambiental, que a maioría da poboación, cos seus dirixentes, négase a recoñecer. E non importa a cantidade dos inconmensurables logros científicos que alcanzamos os humanos, nin a valía dos nosos inventos técnicos! A traxedia xa está aquí. Imos actuar?

## 9. REFERENCIAS

- Barnosky, Anthony D. et al. (2011): “Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived?” *Nature* 471, 51–57 (03 March).
- Cearreta, Alejandro (2018): “¿Existe el Antropoceno?”, *Investigación y ciencia*, 506: 88 (noviembre).
- Ceballos, Gerardo; Ehrlich, Paul R.; Barnosky, Anthony D.; García, Andrés; Pringle, Robert M.; Palmer, Todd (2015): “Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction”. *Science Advances* (19 Jun), Vol. 1, no. 5, e1400253.
- Daly, Herman (2005): “La economía en un mundo repleto”. *Investigación y ciencia*, 350: 58-65 (noviembre).
- Dirzo, Rodolfo et al. (2014): “Defaunation in the Anthropocene”. *Science* (25 Jul): Vol. 345, Issue 6195, pp. 401-406.
- Foley, Jonathan (2010): “Límites de un planeta sano”. *Investigación y ciencia*, 404: 46-49 (junio).
- Gibbs, W. Wayt (2002): “La extinción de las especies”. *Investigación y ciencia*, 304: 53-61 (enero).
- Gilbert, Denis (2017): Environmental science: Oceans lose oxygen. *Nature* 542, 303–304 (16 February).
- IPCC (2013): “CAMBIO CLIMÁTICO 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes”. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- MacNeill, Jim (1989): “Estrategias para un desarrollo económico viable”. *Investigación y ciencia*, 158: 114-124 (noviembre).
- Montanarella, Luca; Pennock, Dan y McKenzie, Neil (2015): “Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico”, FAO.

- Payne, J. L. et al. (2016): "Ecological selectivity of the emerging mass extinction in the oceans". *Science* 10.1126/science.aaf2416.
- Ramírez, Francisco; Afán, Isabel; Davis, Lloyd S.; Chiaradia, André (2017): "Climate impacts on global hot spots of marine biodiversity". *Science Advances*, 22 Feb 2017, Vol. 3, no. 2, e1601198
- Ripple, William J. et al. (2016): "Saving the World's Megafauna", *Bioscience* 66 (10): 807-812.
- Syvitski, James et al. (2009): "Sinking deltas due to human activities". *Nature Geoscience*. 2, pp. 681-686, 20 september.
- VV.AA. (2015a): "Evaluación de los recursos forestales mundiales. Compendio de datos". FAO.
- VV.AA. (2015b): "Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico". FAO.
- Waters, Colin N. et al. (2016): "The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene", *Science*, 351 (08 Jan). [https://geologie.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/dep\\_geodyn\\_sedim/Wagreich/Waters.et.al.aad2622full.2016.Science\\_corr.pdf](https://geologie.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/dep_geodyn_sedim/Wagreich/Waters.et.al.aad2622full.2016.Science_corr.pdf).
- Zalasiewicz, Jan (2016): "Una historia estratificada. ¿Qué huellas dejaremos en el planeta", *Investigación y ciencia*, 482: 22- 29 (noviembre).
- Zalasiewicz, Jan et al. (2017): "Scale and diversity of the physical technosphere: A geological perspective". *The Anthropocene Review*, Vol. 4(1) 9 -22. <http://anr.sagepub.com/content/early/2016/11/25/2053019616677743.full.pdf+html>