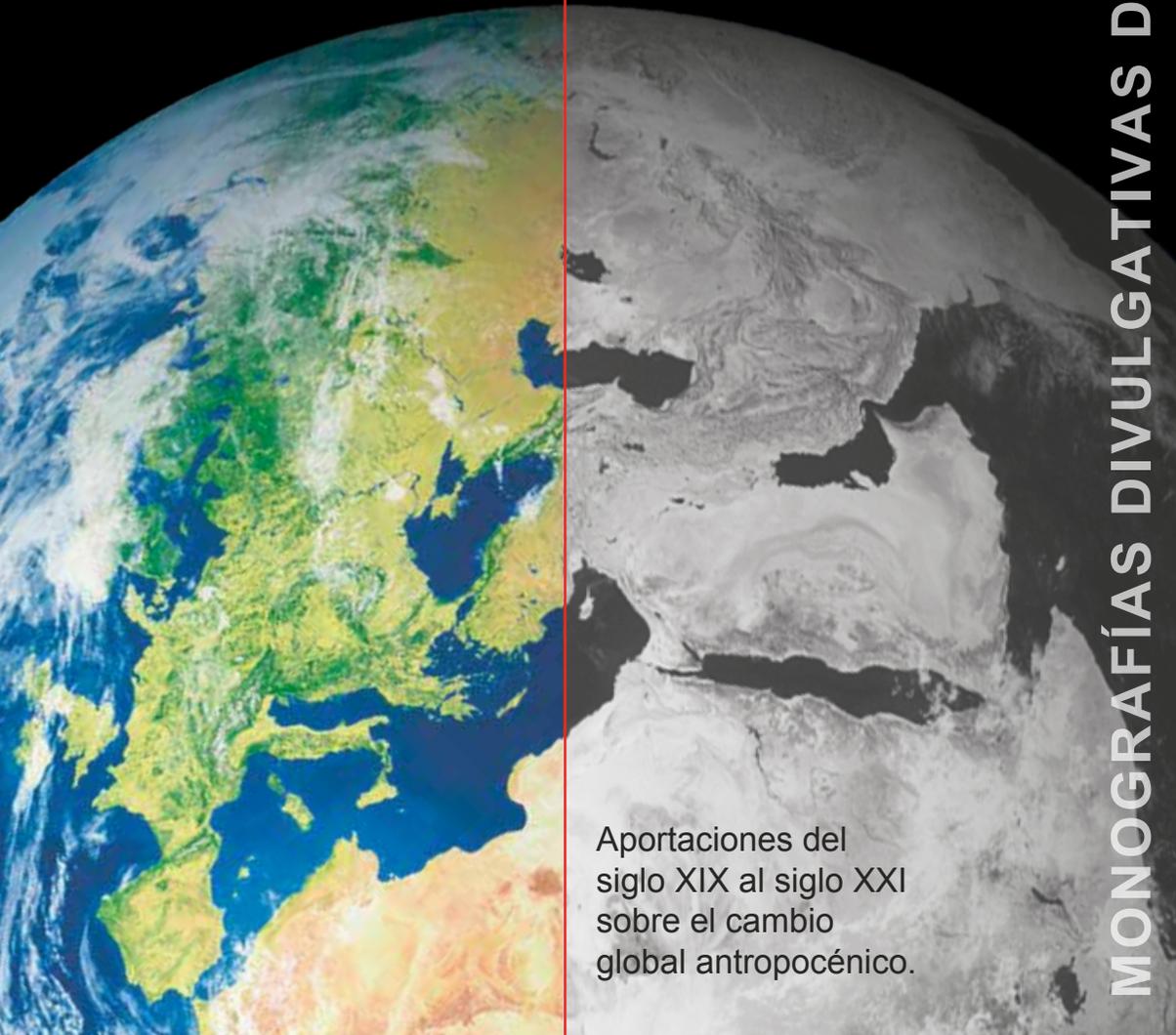


Ricardo Almenar

THIERRA

La alteración Humana de un planeta



Aportaciones del
siglo XIX al siglo XXI
sobre el cambio
global antropocénico.

MONOGRAFÍAS DIVULGATIVAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Ricardo Almenar

THIERRA

LA ALTERACIÓN HUMANA DE UN PLANETA

Aportaciones del siglo XIX al siglo XXI
sobre el cambio global antropocénico.

“La Tierra se está convirtiendo a pasos agigantados en una morada inhóspita para su habitante más noble; y otra era de iguales imprevisiones y desmanes humanos [...] la reduciría a tal condición de mísera productividad, de superficie esquilada, de extralimitaciones climáticas, que amenazaría [...] hasta con la extinción de las especies.”

George Perkins Marsh (1874):
The Earth as modified by human action

PRÓLOGO

Sin ninguna duda razonable el cambio climático planetario emerge hoy como uno de los mayores problemas que ha de encarar la humanidad, presente y venidera. Este hecho –porque de un hecho se trata y no de una mera hipótesis- obliga a nuestra sociedad en particular a contribuir a moderarlo dentro de lo posible y a adaptarse a él en la medida en que no se consiga -o no plenamente- lo anterior. Mitigación y adaptación constituyen, pues, dos grandes estrategias integradas entre sí –en línea con lo apuntado por el IPCC, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático- que como sociedad nos corresponde impulsar.

De cara a semejante propósito, el papel de las ciudades resulta clave. En primer lugar, porque la mayoría de la población mundial es ya urbana y en segundo lugar, porque las ciudades representan los principales centros económicos, tecnológicos, culturales y políticos de las sociedades contemporáneas. Las ciudades han de constituirse, en consecuencia, como las grandes protagonistas tanto de la mitigación como de la adaptación al cambio climático y como tales deben asumirlo sin dilaciones.

Pero la lucha contra el cambio climático *antropogénico* –aquel que es provocado por los propios seres humanos- no requiere únicamente de simples respuestas tecnológicas y económicas. Precisa también e indisolublemente ligadas a las anteriores de actuaciones sociales, políticas y culturales, acciones que no solo corresponden a los representantes ciudadanos y a la administración pública en general, sino que necesitan el concurso del conjunto de la ciudadanía.

Y para que esta involucración ciudadana se produzca, se hace no ya conveniente sino necesario contar con instrumentos de divulgación de la amplia, múltiple y compleja temática que supone el cambio climático. Instrumentos que apoyen esa necesaria formación de la opinión pública ciudadana, paso imprescindible para lograr una movilización social generalizada como respuesta a ese mismo cambio climático. Pero una movilización ciudadana que imponga en sus representantes políticos la convicción de que cualquier transición energética, económica o ecológica que se emprenda debe hacerse dentro de una genuina *equidad climática*, evitándose con ello que los costes de tal transición recaigan desproporcionadamente sobre las personas y familias económica y socialmente más desfavorecidas.



George Perkins Marsh (1801-1882).

INTRODUCCIÓN

En 1874 –siglo y medio atrás- se publicó en Nueva York un libro cuyo título guarda una innegable semejanza con el de la presente obra: *La Tierra modificada por la acción humana*. Correspondía a la segunda edición del libro que, editado diez años antes en Londres, había aparecido con un título algo diferente: *El Hombre y la Naturaleza o Geografía física modificada por la acción humana*. El autor de ambos volúmenes era George Perkins Marsh y, contra lo que pudiera pensarse, no se trataba de un naturalista, un geógrafo o un economista. En realidad Marsh no era científico. Había sido cronista, abogado, empresario y congresista por Vermont; más tarde se convirtió en diplomático. Gran erudito, fue también un sobresaliente políglota: conocía una veintena de lenguas diferentes.

Su amplio conocimiento de lenguas clásicas y modernas no sólo ayudó a Marsh en su desempeño diplomático (fue embajador estadounidense en el Imperio Turco y en Italia), sino que resultó crucial en su apreciación del grado en que las actuaciones humanas habían transformado, estaban transformando y, verosímilmente, transformarían en el futuro la faz de la Tierra. Marsh –un decimonónico nacido en 1801, el año inicial del siglo XIX- es el primer autor que inequívoca y explícitamente reconoció el carácter global de la alteración del planeta Tierra por la acción humana. Una transformación, según él, que si prosiguiera mediante «otra era de iguales imprevisiones y desmanes humanos», conduciría a suelos esquilados, miserables productividades biológicas, extralimitaciones climáticas y extinciones de especies.

Esa «otra era» es justamente la nuestra y en ella la acción antrópica ha pasado a convertirse en un agente geológico de tal magnitud que el estado actual de la superficie del planeta –en particular de su atmósfera, su hidrosfera y su biosfera- resulta inexplicable excluyendo la presencia humana. Habríamos entrado, consiguientemente, en ese periodo de alteración generalizada de la superficie terrestre que Marsh predijera en pleno siglo XIX y que ha recibido el nombre –aun no oficialmente aceptado- de *Antropoceno*. En esta nueva época o edad geológica, la Tierra se está transformando velozmente en *Thierrra*, un planeta que si bien es muy semejante a su precedente en la gran mayoría de características físicas, químicas y biológicas, difiere ya significativamente en un buen número de ellas, por ejemplo el clima o la biodiversidad.

Como ha sido apuntado, Marsh, verdadero *profeta del Antropoceno*, no era ni un científico natural ni un científico social. Desde muchos puntos de vista era un típico humanista de su siglo: versado en múltiples campos, autodidacta, lector incansable –tenía una biblioteca propia de más de cinco mil volúmenes-, coleccionista, viajero curioso. Un cultivador de las humanidades con frecuentes incursiones, eso sí, en geografía, economía o historia y en menor medida en las ciencias de la naturaleza, respecto a las que lamentaba no tener mayores conocimientos. Un erudito que del pasado extraía claves para mejor conocer el presente y prever el futuro; un observador que del Viejo Mundo se trasladaba al Nuevo a la hora de enjuiciar y anticipar los efectos de las acciones humanas sobre la superficie del planeta.

Entre otras cosas el presente libro reclama, para mejor comprender y encarar el cambio global antropocénico de nuestro tiempo, el concurso y diálogo de todos los ámbitos *del saber y del sentir* que forman parte de la cultura humana: ciencias naturales y ciencias sociales, ciencias y humanidades, artes y tecnologías. De ahí que la obra de un humanista decimonónico como Marsh sea un buen punto de partida para mostrar las aportaciones que respecto a un tema hoy crucial –el cambio global del siglo XXI- nos ofrece el siglo XIX.

A esto dedicaremos la mayor parte de las páginas que siguen. Y a algo íntimamente relacionado con lo anterior: cómo la propia divulgación de esta particular temática -temática de indiscutible carácter científico– *puede y debe* contar con las contribuciones de áreas de la cultura aparentemente alejadas de la ciencia propiamente dicha. Porque precisamos de un amplio *diálogo de saberes y sentires* –y la más amplia difusión posible de semejante diálogo- para afrontar el principal reto que hoy tiene la humanidad. El reto de perdurar en un planeta que, por un lado, resulte humanamente habitable y, por otro, ecológicamente adecuado para el resto de criaturas vivas que en él comparten con nosotros su existencia.

ÍNDICE

- I -

UN PROGRAMA DECIMONÓNICO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

.....25

- II -

FORMAR Y CONCIENCIAR HOY SOBRE EL CAMBIO GLOBAL ANTROPOCÉNICO

Cambio climático y cambio global.....29

El Antropoceno: la edad geológica de nuestro cambio global.....33

El papel de la divulgación científica.....35

Snow y sus culturas escindidas.....39

Más allá de Snow: hacia un diálogo de saberes.....42

- III -

COMPRENDER EL PASADO PARA MEJOR AFRONTAR NUESTRO PRESENTE Y FUTURO

La interconexión del pasado, el presente y el futuro.....47

Retrocedamos dos siglos (I). El surgimiento del mundo moderno.....50

Retrocedamos dos siglos (II). Una única cultura.....53

Retrocedamos dos siglos (III). La última crisis climática global.....56

- IV -

DOSCIENTOS AÑOS ATRÁS: EL TIEMPO DE UNA CRISIS CLIMÁTICA

La crisis climática de 1815-1820.....61

Volcanes lejanos.....68

Vulcanismo y crisis climáticas.....70

Enseñanzas de una pasada crisis climática.....73

Reflejos artísticos de las crisis climáticas decimonónicas.....76

- V -

**UNA ÚNICA CULTURA ANTES
DE EMPEZAR A ESCINDIRSE**

Los tiempos de una misma cultura.....	83
Una democracia del saber.....	85
La formación científica de la opinión pública.....	90
Escisión progresiva aunque no total.....	92
Fragmentación e incomunicación.....	94

- VI -

**LA EMERSIÓN DE LA
CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL**

Novedades tecnológicas de hace doscientos años.....	97
Dos máquinas y una revolución.....	101
La expansión de la producción industrial.....	105
Primeras repercusiones sociales de la industrialización.....	108

- VII -

**PREGUNTAS PERTINENTES SOBRE
LA INDUSTRIALIZACIÓN DECIMONÓNICA**

¿Y si la industrialización hubiera involucionado?.....	113
El imperialismo al servicio de la industrialización.....	115
El cénit industrial representado por la Gran Exposición.....	119
¿Y si la industrialización no hubiera girado en torno al carbón y al vapor?.....	121
Progresos en la utilización de las energías eólica y solar.....	128
Un contrafactual convertido en futurible.....	130

- VIII -

**LA ALTERACION INDUSTRIAL DE LA ATMÓSFERA
COMO MANIFESTACIÓN DEL CAMBIO GLOBAL**

La contaminación de la nueva industria.....	135
La mirada del arte y la contaminación del aire.....	140
Contaminación atmosférica y cambio climático.....	145
Los gases de efecto invernadero.....	147
Gases de invernadero y clima planetario: Högbom y Arrhenius.....	151

- IX -

**LAS CIENCIAS SOCIALES Y LAS HUMANIDADES
EN AUXILIO DE LAS CIENCIAS NATURALES**

Por qué las predicciones de Arrhenius estaban infravaloradas (I).....	155
Jevons y la cuestión del carbón.....	156
Por qué las previsiones de Arrhenius estaban infravaloradas (II).....	161
El cambio global antropogénico de Marsh.....	164
Enseñanzas de un científico social.....	165
Enseñanzas de un humanista.....	170
El relativo retraso de las ciencias naturales.....	174

- X -

**UNA ECOLOGÍA GLOBAL PARA COMPRENDER
EL CAMBIO GLOBAL ANTROPOCÉNICO**

La fundación de una ecología global: Humboldt.....	179
La inclusión de lo humano en la ecología global.....	185
Observar, medir, pensar, sentir.....	189
Humboldt como exponente de una única cultura.....	191
Humboldt y el conocimiento en red.....	194
El esfuerzo divulgador de Humboldt.....	197
La última enseñanza.....	198

BIBLIOGRAFÍA201

“El establecimiento y el progreso de las sociedades humanas más la acción de las fuerzas naturales, pueden cambiar notablemente, y en amplias regiones, el estado de la superficie del suelo, la distribución de las aguas y los grandes movimientos del aire. Estos efectos pueden hacer variar, en el curso de varios siglos, el grado de calor medio.”

Jean-Baptiste Joseph Fourier (1824)

“La aplicación química del fuego a las máquinas mediante el vapor del agua debe causar antes de dos siglos una revolución extraordinaria en los progresos de la civilización, y hacer algún día cambiar casi la faz de la Tierra.”

Gregorio González de Azaola (1829)

“Día a día se va haciendo más evidente que el carbón, del que afortunadamente poseemos en excelente abundancia y calidad, es el origen de la moderna civilización industrial.”

Stanley W. Jevons (1865)

“Vivimos actualmente por lo que respecta al uso de energía mecánica en una época espléndida [...] Hemos encontrado que bajo el suelo yacen reservas de carbón desde tiempos remotos [...] En la actualidad, las gastamos y nos comportamos exactamente como felices herederos que consumen un rico patrimonio. De la tierra se extrae tanto como la fuerza humana y los medios técnicos lo permiten, y se utiliza como si fuera inagotable [...]”

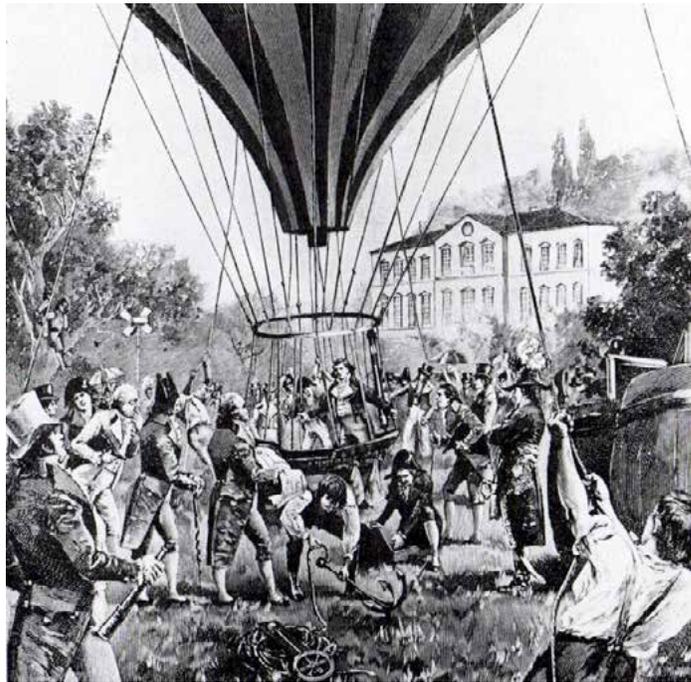
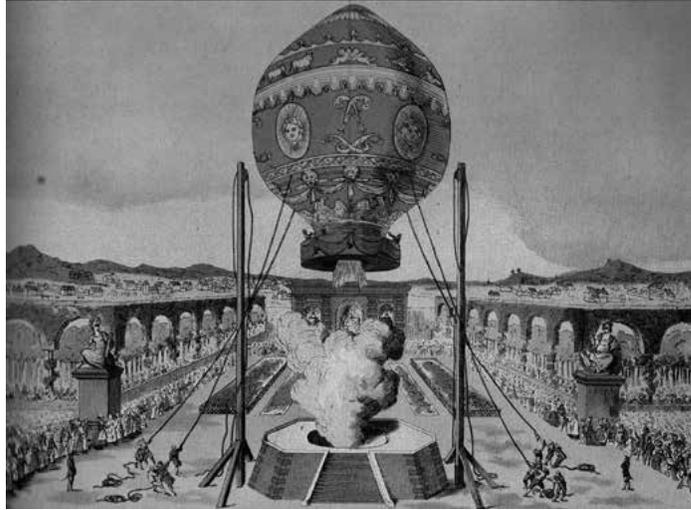
Rudolf Clausius (1885)

“Un simple cálculo nos muestra que la temperatura de las regiones árticas ascendería entre ocho y nueve grados si el ácido carbónico aumentara dos veces y media o tres veces su valor actual [...] La producción de carbón en el mundo alcanza hoy, en números redondos, los 500 millones de toneladas anuales, una tonelada por cada kilómetro cuadrado de la superficie de la Tierra.”

Arvid Gustav Högbom (1894)

“En la temperatura de la Tierra y de su atmósfera impera un equilibrio [...] La Tierra, mediante radiación al espacio pierde el mismo calor que el que gana absorbiendo los rayos del Sol [...] He calculado la alteración media de la temperatura que tendría lugar si la cantidad de ácido carbónico se apartara de su valor medio actual.”

Svante Arrhenius (1896)



Primera ascensión en globo durante noviembre de 1783 en París (sup.). Ascensión igualmente en París de Gay-Lussac en septiembre de 1804 y en la que realizó diferentes observaciones y mediciones científicas (inf.).

- I -

UN PROGRAMA DECIMONÓNICO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

El 16 de septiembre de 1804, el joven físico y químico Louis Joseph Gay-Lussac hizo en París una intrépida ascensión en globo, realizando diferentes mediciones atmosféricas y llegando a rebasar los 7.000 metros de altitud. Nadie –al menos en Occidente y, menos aún, haciendo mediciones científicas- había llegado a semejante altitud. Ni siquiera el geógrafo y naturalista Alexander von Humboldt –recién llegado a París el 27 de agosto tras su viaje americano efectuado entre 1799 y 1804- que en él había ascendido a la que entonces se creía que era la montaña más elevada de mundo –el Chimborazo, en el actual Ecuador- podía superar el *record* de Gay-Lussac. En efecto, Humboldt, el 23 de junio de 1802, junto con tres compañeros más, había alcanzado –haciendo igualmente numerosas observaciones científicas- casi los 5.900 metros de altura en la montaña andina, si bien no pudo llegar a su cumbre.

Aunque en un primer momento Humboldt tuvo ciertos celos del éxito de Gay-Lussac, pronto se inició una continuada colaboración entre ambos que se extendió en los siguientes meses. Analizaron juntos la densidad y composición del aire a distintas alturas, contrastando los resultados de Humboldt en el Chimborazo con los obtenidos por Gay-Lussac en el cielo de París. Contemplada desde nuestro tiempo, la estrecha colaboración entre un geógrafo y naturalista con un físico y químico, puede resultar un tanto sorprendente –prusiano uno, francés el otro por lo demás- pero en aquellos años iniciales del siglo XIX no lo era en absoluto. Tampoco lo era que el primero de ellos utilizara sus propias fuerzas para ascender a semejantes altitudes y que el otro se

serviera de un artilugio tecnológico –un globo aerostático- para hacer lo propio, realizando ambas parecidas observaciones atmosféricas. Era verdad que en agosto de 1786 y de 1787, dos expediciones – la segunda con la participación del naturalista Horace Bénédict de Saussure- habían conseguido ascender al Mont Blanc, que con unos 4.800 metros de altura era la cumbre más alta de Europa (excluido el Cáucaso). Y que a finales de noviembre e inicios de diciembre de 1783 los dos primeros vuelos en globos tripulados, impulsados respectivamente por aire caliente y por hidrógeno, se habían elevado desde París, alcanzando el segundo, conducido por el doctor Alexandre Charles, una altura próxima a los 3.000 metros. Pero Humboldt y Gay-Lussac se distinguieron de esas ascensiones pioneras por el hecho de que realizaron observaciones y mediciones de forma sistemática –bien que Charles hubiera llevado ya en su globo un barómetro, un termómetro y un telescopio, amén de varias botellas de *champagne*-, empleando para ello el instrumental más moderno entonces existente. El nuevo siglo XIX parecía desde sus primeros años estar destinado a convertirse en el *siglo de la ciencia*.

A comienzos de 1805, en el *Institut National des Sciences et des Arts*, Humboldt pronunció una conferencia (cuyo texto había escrito conjuntamente con Gay-Lussac) centrada en la composición química de la atmósfera que fue impresa ese año en los *Annales de Physique*. En la misma, Humboldt y Gay-Lussac (1805) manifestaban en referencia al planeta Tierra que...

“[...] incluso dando por sentado que no volvieran a repetirse las grandes catástrofes que ha padecido, sería siendo posible que estuviera sometido a modificaciones paulatinas que no se manifestaran hasta al cabo de una larga serie de años. En ese sentido debería ser de la mayor importancia determinar actualmente y de manera fiable, a través de observaciones exactas, los grandes fenómenos de la naturaleza que quizás pudieran ser variables, como por ejemplo la intensidad de las fuerzas magnéticas, la altura del barómetro a nivel del mar, el nivel de los mares, la temperatura media de cada clima, y la proporción de los distintos componentes de la atmósfera.”

Lo que Humboldt y Gay-Lussac estaban proponiendo era todo un *programa de investigación* sobre diferentes características del Globo terráqueo, un programa *de carácter interdisciplinar e intergeneracional* a fin de averiguar si dichas características terráqueas se vieran sometidas «a modificaciones paulatinas que no se manifestaran hasta al cabo de una larga serie de años». Y obsérvese que en esos «grandes fenómenos de la naturaleza», como así los denominaron, estaban incluidos procesos como la posible variación del «nivel de los mares», de «la temperatura media» o de «la proporción de los distintos componentes de la atmósfera».

Todo esto fue planteado hace más de dos siglos, y no en un marco cualquiera, sino en el *Institut National*, que había absorbido por aquellas fechas a la *Académie des Sciences* de París, el más sobresaliente centro científico del mundo. Aun utilizando prudentemente términos como «incluso», «posible» o «quizás», la comunicación de ambos autores –vista desde nuestros días- es extraordinariamente anticipativa; nos sorprende ciertamente por su lúcida visión. Hubo, no obstante, de transcurrir siglo y medio (hasta el Año Geofísico Internacional de 1957-1958) para lo que en ella proponían empezara a materializarse de forma integrada y sistemática.



Imagen de la Tierra desde el espacio en la que puede observarse la íntima ligazón entre la atmósfera y la hidrosfera, las envolturas gaseosa y líquida del planeta, directamente influidas a su vez por la litosfera y la biosfera.

- II -

FORMAR Y CONCIENCIAR HOY SOBRE EL CAMBIO GLOBAL ANTROPOCÉNICO

Cambio climático y cambio global

Si, volviendo a nuestro tiempo, preguntáramos a una muestra lo más amplia posible de diferentes expertos (científicos, técnicos, analistas económicos y sociales, políticos, comunicadores, etc.) cuál es el problema ecológico (con sus derivaciones económicas, sociales y políticas) más importante que afronta la humanidad en el presente siglo, la gran mayoría de las respuestas señalaría al cambio climático. Y esto no ocurriría solo en el caso de meteorólogos, oceanógrafos, ecólogos, técnicos de energías renovables o arquitectos bioclimáticos –lo cual es enteramente lógico- sino que alcanzaría a practicantes de áreas hasta no hace mucho ajenos a semejante preocupación: economistas, sociólogos, politólogos, historiadores o filósofos.

Más aún. La amenaza del cambio climático ha desbordado con creces su inicial condición medioambiental, reconociéndose finalmente como un problema político y diplomático de primer orden. Así, el economista y premio Nobel Paul Krugman, afirmó en 2016 que, «dicho de manera simple, no hay ningún otro asunto tan importante como éste, y pasarlo por alto sería una irresponsabilidad casi criminal». Y en 2017, en plena *era Trump*, no se ha desdicho de estas palabras, sino que se ha reafirmado: «en un mundo racional, la toma de medidas urgentes para limitar el cambio climático sería la prioridad política más acuciante para cualquier gobierno» (Krugman, 2016, 2017).

Es de prever, sin embargo, que algunos de los consultados en esa hipotética encuesta señalarían al conjunto del cambio planetario provocado por los humanos, al cambio global (*global change*, en su versión anglófona) y no solo al cambio climático (*climate change*), como el verdadero primer problema ecológico al que se enfrenta la humanidad, actual y venidera. Y tendrían ciertamente razón. Pero antes de comentar semejante posición, consideremos el significado que cabe dar al término *global*. Existen dos diferentes –y aceptadas- definiciones de este adjetivo: la primera viene a significar «tomado en conjunto»; la segunda, «referido al planeta o globo terráqueo». Así que *global*, cruzando ambas acepciones, cabría definirlo para nuestros propósitos como *referido al globo terráqueo tomado en su conjunto*.

Expliquemos ahora dos motivos, ambos de naturaleza científica, por los que *cambio global* es un adecuado candidato –mucho más que *cambio climático*- para constituirse en el primer problema ecológico actual (y sin ninguna duda, uno de los más relevantes de carácter económico, social, político e institucional). El primero de ellos proviene de la íntima interconexión de la atmósfera con las otras *esferas* de la superficie terrestre: la *hidrosfera*, la *biosfera* y la *litosfera*. Se sostiene, al menos desde mediados del siglo pasado, que atmósfera e hidrosfera, las dos envolturas fluidas del planeta Tierra (gaseosa y continua la primera; líquida y discontinua la segunda) constituyen dos sistemas acoplados y que, consecuentemente, nada de lo que ocurre en uno deja de tener influencia en el otro. Por su parte, y desde un tiempo algo más reciente, se acepta también el papel determinante de los seres vivos en la composición y características de la atmósfera planetaria. Como las sondas espaciales mostraron en los años 60 y 70 del pasado siglo, la atmósfera terrestre es muy distinta –casi podríamos decir que opuesta- a la de sus hermanos planetarios, Venus y Marte. Más allá de su muy diferente densidad, la atmósfera de estos dos planetas está abrumadoramente dominada por el dióxido de carbono (y así ocurriría también en una Tierra sin vida), mientras que en la actual Tierra viviente este gas es particularmente escaso, siendo el nitrógeno y el oxígeno

predominantes por contra. La dependencia de la atmósfera respecto a la biosfera es prácticamente total y en nuestro planeta, a excepción de gases nobles como el argón (presente en proporciones parecidas en las atmósferas venusiana y marciana), la atmósfera terráquea actual es incomprensible sin la vida planetaria. En cuanto a la litosfera –la parte superior sólida de la corteza terrestre-, manifestaciones del dinamismo de sus placas tectónicas como la actividad volcánica son responsables de la inyección en la atmósfera de gases y partículas, capaces de modificar –incluso drásticamente- las características de ésta. Por tanto, el estudio de los cambios que se puedan producir en la atmósfera terrestre debería tener en cuenta toda esa estrecha y múltiple interdependencia. Una idea –esta última- menos reciente de lo que suele pensarse. En 1845 Alexander von Humboldt la expresó con meridiana claridad, poniendo al clima como ejemplo:

“Ciertamente, el término *clima* designa, en primer lugar, un estado particular de la *atmósfera*; pero ese estado depende de la perpetua interacción, de un lado, con el *océano*, surcado en su superficie y en sus profundidades por corrientes marinas dotadas de muy diversas temperaturas, y de otro, con la *tierra firme*, cuya superficie articulada, quebrada, con mil formas de colorido, ya desnuda, ya cubierta de bosques o praderas, irradia el calor con una intensidad sumamente variable.”

La segunda razón por la que resulta pertinente centrarse en el cambio global de origen antrópico, *antropogénico*, y no en el mero cambio climático, es que la acción humana se está ejerciendo *simultáneamente* en todas las restantes *esferas planetarias*, en mayor grado incluso que en la propia atmósfera. De hecho, el incremento en el aire de los gases responsables del cambio climático –como el dióxido de carbono, CO₂, o el metano, CH₄- proviene tanto de la acción antrópica sobre la biosfera (eliminando la vegetación, degradando los suelos, multiplicando las especies ganaderas de rumiantes), como de su incidencia sobre la litosfera (extrayendo combustibles fósiles que antes

o después serán quemados acabando como dióxido de carbono, o bien explotando del subsuelo el gas natural y favoreciendo así inintencionadamente las fugas atmosféricas de metano). La alteración de la *piel* del planeta Tierra –ya sea ésta sólida, líquida o gaseosa- aparece *como un todo*, un fenómeno generalizado e integrado, aunque con características e intensidades diferentes en cada caso.

¿Significa todo esto que debemos quitar importancia al cambio climático, y consecuentemente a su estudio científico, a la lucha por moderarlo, a la divulgación de sus efectos o a la concienciación sobre su gravedad? En modo alguno. Porque el cambio climático es una de las manifestaciones que adopta el cambio global generalizado, del mismo modo que la atmósfera no es sino un subsistema de un sistema más amplio, de un *holosistema* terráqueo integrado por atmósfera, hidrosfera, biosfera y litosfera. «El cambio climático», como recuerda el científico ambiental y divulgador Andreu Escrivà, «no es ajeno al resto de transformaciones que los humanos hemos ejercido y ejercemos sobre el planeta, sino que se imbrica y las potencia en múltiples casos».

Por ello, aparte de su intrínseca importancia y gravedad, la alteración antrópica de la atmósfera se comporta como un *indicador del conjunto del cambio global antropogénico*: una señal, fácilmente perceptible, de la amplitud e intensidad de un fenómeno más amplio –pero no siempre más obvio- de alteración de la superficie del planeta provocada por las sociedades humanas. Precisamente por esto, sería un error identificar al cambio climático como *el problema*, el problema fundamental, incluso el único problema. Y un error todavía mayor pretender neutralizarlo o minimizarlo desconsiderando al resto de aspectos de ese cambio global. Nos equivocaríamos si lo tratamos, a la postre, como un mero fenómeno perturbador respecto a la población y a la economía humanas, y no lo encuadramos en lo que realmente es: un fino indicador del impacto desestabilizador que sobre determinados aspectos y procesos del planeta Tierra ha alcanzado esa misma población y actividad económica.

El Antropoceno: la edad geológica de nuestro cambio global

Este impacto de la población y de la economía humana sobre la superficie del planeta, no ha pasado ciertamente desapercibido para múltiples especialidades de las ciencias naturales. Justo en el tránsito del siglo XX al siglo XXI, en el año 2000, el físico atmosférico y premio Nobel, Paul Crutzen, y el limnólogo Eugene Stoermer publicaron un artículo en el boletín del *Programa Internacional sobre la Geosfera y la Biosfera*. En él sostenían que el último subperiodo geológico oficialmente reconocido –el Holoceno, iniciado hace 11.700 años, tras la última glaciación- debía de ser sucedido por otro, el *Antropoceno*, caracterizado porque en el mismo la acción humana ha pasado a convertirse en un agente geológico de primer orden. Dos años después, Crutzen publicó en *Nature* otro artículo con un expresivo título, *La geología de la humanidad*. Ambos artículos fecharon hacia el año 1800 el inicio del nuevo periodo en consonancia con el surgimiento de la Revolución Industrial.

En años siguientes –y dentro de quienes defendían la pertinencia de este periodo- tal fecha de comienzo del Antropoceno fue extendida hacia atrás (hacia la expansión de la agricultura hace 8.000 años o la plenitud de la ricultura hace 5.000, por las implicaciones climáticas que ambos sucesos pudieron llegar a alcanzar), o bien contraída hacia el presente (hasta las iniciales explosiones atómicas en 1945. O mejor, a las primeras pruebas atmosféricas de bombas de hidrógeno que en 1952 depositaron sustancias radioactivas por todo el hemisferio norte). Esta última datación es la que parece haber preponderado: el geólogo y defensor del Antropoceno, Alejandro Cearreta, así lo explica: «con el inicio de la Revolución Industrial provocamos un salto cualitativo muy importante (tal y como proponía la definición original del concepto), pero ha sido realmente a partir de la mitad del siglo XX cuando este impacto humano se ha convertido en un fenómeno global, sincrónico y acelerado en todo el mundo». (Cearreta, 2018).

Entre los geólogos –más concretamente, entre los estratigrafos- no hay un consenso sobre la oportunidad e interés de introducir en sus

clasificaciones una nueva división (sea una época, tras el Holoceno, o una edad, dentro de este último) definida explícitamente por la acción humana planetaria. Ninguno duda que los humanos se hayan convertido en un destacado agente geológico, pero disienten si este hecho es suficiente para caracterizar un marco temporal propio y específico, una unidad distintiva en la historia de la Tierra. Algunos la consideran de escasa si no de nula utilidad científica, y otros califican su declaración más de propuesta política que de decisión científica.

No obstante, una cosa es su pertinencia geológica (algo que la Comisión Internacional de Estratigrafía tendrá que decidir; es un problema más procedimental que de otro tipo) y una diferente, su importancia conceptual, simbólica y cultural (llamarla «política» es demasiado sesgado y parcial). Y esta importancia proviene de que con la aceptación del Antropoceno se avala que «la transformación humana de la superficie terrestre es de tal magnitud que está dejando una señal geológica duradera en los sedimentos y el suelo de nuestro planeta», como señala Cearreta (2018). Quien concluye que «parece claro que aceptar las distintas evidencias geológicas del Antropoceno y su narrativa puede conducir, como corolario, al análisis de sus causas originales y de sus consecuencias sociales, culturales y políticas».

Que nuestra expansión antrópica haya acabado incluso delimitando una época o edad de la historia de la Tierra reconoce un hecho: que los individuos y sociedades humanas han entrado en un tiempo geológico en el que son, a la vez, sus principales causantes, sus mayores protagonistas y, muy verosímilmente, sus propias víctimas si las tendencias más destructivas de la expansión humana no alcancen a ser neutralizadas y, el resto, moderadas y encauzadas. Y desde luego, si la popularizada como *Sexta Gran Extinción* –la provocada directa o indirectamente por nuestra especie- finalmente se consumara, y no digamos, si el autodenominado *Homo sapiens* acabara provocando un conflicto nuclear generalizado que devastara la superficie del planeta, toda duda sobre la pertinencia geológica del Antropoceno desaparecería. Se respondería entonces positivamente al interrogante planteado

por el geólogo y divulgador científico Tim Flannery (2005): «¿será el Antropoceno el periodo geológico más corto del que quede constancia?»

El papel de la divulgación científica

Ahora bien, el cambio global contemporáneo provocado por los humanos no es (no debería ser) una problemática que interese únicamente, ni siquiera fundamentalmente, a instituciones científicas, organismos internacionales, empresas, gobiernos u ONG's. Porque tal alteración de origen antrópico incide ya, y cada vez lo hará más, en este nuevo tiempo del Antropoceno, sobre todos los seres humanos actuales y futuros; mujeres y hombres que habitamos hoy o que habitarán mañana el planeta Tierra. Por ello, ni la mitigación de semejante modificación planetaria, ni la adaptación a aquella parte que no seamos capaces de evitar (en línea con lo que han propuesto para el caso particular del calentamiento global los sucesivos informes del IPCC, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) podrán hacerse con un mínimo de garantías sin alertar, concienciar, formar e involucrar al menos a una gran parte de los seres humanos, preferiblemente a la mayoría de los mismos e idealmente a su práctica totalidad.

En este empeño, las ciencias –y en concreto las ciencias de la naturaleza, desde la física atmosférica hasta la ecología, desde la climatología hasta la geoquímica, desde la oceanografía hasta la biología- han de adquirir un particular protagonismo. Al fin y al cabo han sido las ciencias naturales las que han detectado, analizado y cuantificado ese cambio global. Consecuentemente les corresponde un innegable papel en la imprescindible tarea de su difusión y concienciación. Precisamos –y con urgencia- una mayor y más eficaz *divulgación de base científica* sobre el alcance de tales cambios planetarios. En este ámbito la divulgación no es opcional, sino obligada.

Sin embargo, y en relación con este imprescindible esfuerzo divulgador que ha de enraizarse en el conocimiento científiconatural,

conviene resaltar un par de cuestiones. En primer lugar, que quizás *divulgación* no sea el mejor término para clarificar el alcance, trascendencia y objetivos de la tarea que acabamos de describir. Y en segundo término, que tal empeño difusor ha de tener incuestionablemente una base científica, cierto, pero no solo la proporcionada por las ciencias de la naturaleza, ni siquiera la aportada por el conjunto de las ciencias propiamente dichas.

¿Por qué *divulgación* no es, seguramente, el vocablo más adecuado para describir la tarea que reclamamos? Bien, porque divulgación como término conserva, aun hoy en día, ciertas connotaciones restrictivas que arrancan de su implícito *aristocratismo*. A saber: la más o menos nítida separación que sugiere entre el docto y el lego, la mayor o menor distancia –pero distancia al fin y al cabo– que postula entre una élite que enseña y un vulgo que aprende aquello que solo la élite sabe. Con frecuencia, incluso actualmente, la divulgación científica y técnica continúan viéndose meramente como la difusión al vulgo, a la gente común y corriente, al *hombre de la calle*, de aquellos avances científicos e innovaciones tecnológicas que *el docto escoge* y que el hombre corriente *debe saber*. Y así acaba ignorándose, con harta frecuencia, que el objetivo de una genuina divulgación no estriba en *deslumbrar* a determinado destinatario en particular, sino en *alumbrar* (o sea, iluminar) a los ciudadanos en general, a la sociedad en su conjunto.

Alumbrar, iluminar... son palabras sugerentes. Ciertamente, porque al menos desde la Ilustración, hay una visión más inclusiva que la que se desprende restrictivamente de la simple divulgación. Al igual que a lo largo del Siglo de las Luces, pese a múltiples dificultades y no pocos retrocesos el súbdito acabó convirtiéndose en ciudadano y el vulgo transformándose en público, la mera divulgación se transmutó en algo más amplio, más profundo y más activo: la *formación de la opinión pública*. La opinión pública y su adecuada formación se convirtió así para los ilustrados –y luego para sus sucesores, los románticos– en objetivo a conseguir. «Es la opinión la que mueve el mundo y a usted

le corresponde gobernar la opinión», se cuenta que aconsejó Voltaire al matemático y físico d'Alembert, director junto a Diderot del magno proyecto que supuso *l'Encyclopédie*. La difusión de las ciencias, las técnicas y las artes debía servir al objetivo primordial ilustrado de formar individuos autónomos, a salvo de la ignorancia y la superstición gracias al ejercicio de una razón crítica. Y tal formación de la opinión pública es hoy, en el siglo XXI, todavía más importante de lo que se postuló en el siglo XVIII o en el XIX.

Pasemos ahora a la segunda cuestión que habíamos presentado y que conviene explicar. El protagonismo que han tenido las ciencias de la naturaleza en la detección, seguimiento y evaluación del cambio global en su totalidad ha sido incuestionable. No podía haber sido de otro modo. Pero, evidentemente, el análisis y seguimiento de ese cambio global desborda ampliamente el campo de las ciencias naturales, en particular cuando incluimos en su problemática los diferentes aspectos del origen antrópico del fenómeno y las consecuencias humanas que origina. Y aquí, en esta doble vertiente, las ciencias humanas o ciencias sociales emergen como fundamentales. Sus consideraciones parten de los aportes de las ciencias naturales, pero van más allá; *deben ir más allá* de las conclusiones de éstas. Es de todo punto imprescindible que la economía, la sociología, la psicología social o la antropología se formulen una serie de interrogantes y elaboren otra serie de respuestas sobre los orígenes psicológicos, económicos, sociales o culturales del cambio global. Y también que analicen dentro del marco propio de cada una de esas ciencias –marcos que en gran medida se solapan, por cierto– qué puede hacerse para minimizar su impacto sobre las poblaciones humanas.

Con la inclusión de las ciencias humanas o sociales no acaba la ampliación de materias y disciplinas necesarias, tanto para abordar como para difundir la problemática del cambio global de origen antrópico. No cabe duda que, a la hora de las respuestas que las sociedades humanas deben dar frente a semejante problemática, disciplinas como el derecho o la política tienen mucho que aportar. De hecho las

consideraciones jurídicas y los compromisos políticos ocupan hoy el centro del debate público sobre las actuaciones a emprender frente al problema específico, por ejemplo, del cambio climático. Véase si no la trascendencia de las resoluciones de la Cumbre de París de 2015 o el brusco giro de la política estadounidense en esta materia tras la llegada de Donald Trump a la presidencia. No nos estamos refiriendo aquí a la involucración de ciencias propiamente dichas –al menos como se entiende *sciences* en el mundo anglófono- bien que se califiquen a veces tales materias como ciencias jurídicas o ciencias políticas (denominaciones que suelen chirriar en los oídos de los científicos naturales o sociales y que provienen de la traslación del término plural alemán *Wissenschaften*). Un vocablo, por cierto, el de *Wissenschaft*, más amplio que el de *science*, y que desde su origen no ha incluido únicamente a las ciencias usualmente reconocidas como tales, naturales o sociales, sino a toda área estructurada del saber edificada en torno al tratamiento empírico y el análisis racional de las materias que aborda.

Ni siquiera la incorporación de estas *Wissenschaften* agota las disciplinas involucradas en el estudio, origen y respuestas relativas al cambio global, a la vez antropogénico y antropocénico, si aceptamos la idoneidad de este último término. La filosofía, la literatura y el resto de las artes, los dominios de la ética y de la estética, son también relevantes. Por no hablar de las creencias religiosas que pueden ser (y son) invocadas en relación con la transformación antrópica planetaria, bien para justificarla, bien para moderarla (la encíclica papal *Laudato si'*. *Sobre el cuidado de la casa común* es un buen ejemplo). En realidad no hay área alguna de lo que usualmente englobamos como *cultura* que sea ajena a una megaproblemática tan amplia, compleja y relevante como es el cambio planetario provocado por los seres humanos.

Ahora bien, toda esta confluencia de ciencias naturales, ciencias sociales, otras disciplinas regladas y diferentes humanidades, tanto en el análisis del cambio planetario como en la formación de una opinión pública receptiva a su gravedad, choca con un hecho: que esas disciplinas involucradas –pese a reiteradas invocaciones a la multidiscipli-

nariedad, a la interdisciplinariedad e incluso a la transdisciplinariedad- se hallan, hoy por hoy, escindidas, cada vez más fragmentadas y crecientemente incomunicadas. No hay proximidad ni diálogo entre todos esos saberes o, en términos más matizados si se quiere, no existen la cercanía ni el diálogo suficiente, ni menos aún los adecuados. Este es un escollo que viene de lejos, pero que apenas ha menguado en las últimas décadas; lo ha hecho en alguna proporción, cierto, pero bastante menos de lo imprescindible y mucho menos de lo deseable. Y semejante fracaso incide directamente en las tareas de la propia divulgación, dificultándose así su sentido, su amplitud y su profundidad.

Snow y sus culturas escindidas

En un ensayo clásico -fruto de una conferencia que impartió en 1959 en la Universidad de Cambridge y que fue publicado ese mismo año en Gran Bretaña y Estados Unidos con el título *Las dos culturas*-, el físico y escritor Charles Pierce Snow se refirió a una particular fractura que le afectaba como persona. «Por formación yo era científico, por vocación era escritor», confesaba. «Son muchos los días que he pasado con científicos las horas de trabajo para salir luego de noche a reunirme con mis colegas literatos», reconocía. Y en ese roce diario con unos y otros, Snow fue advirtiendo con claridad y preocupación crecientes que ambos grupos «habían dejado casi totalmente de comunicarse entre sí, teniendo cada vez menos en común». De esta experiencia personal disruptiva, Snow sacó una conclusión que se convirtió en el hilo conductor de su ensayo: «creo que la vida intelectual de la sociedad occidental en su conjunto se está viendo cada vez más escindida en dos grupos polarmente opuestos». Tales grupos eran «los intelectuales literarios en un polo», precisó, «y en el otro, los científicos, y como más representativos los físicos». Y «entre ambos polos», afirmó, existía «un abismo de incompreensión mutua». Un abismo entre estas «dos culturas» que se había ensanchado en la última generación. «Hace treinta años», argumentó Snow, «las dos culturas habían dejado de dialogar desde bastante tiempo atrás; pero al menos

se las apañaban para dedicarse una especie de gélida sonrisa de un lado a otro del abismo» (Snow, 1959).

En otro ensayo posterior que apareció en 1964, *Un segundo enfoque*, Snow, aunque introdujo algunos matices a la argumentación expuesta en 1959, mantuvo lo esencial de la misma. Así escribió lo que sigue:

“En nuestra sociedad (es decir, la sociedad occidental avanzada) hemos perdido ya hasta el simulacro de una cultura común. Las personas con el más alto nivel de formación y erudición que conocemos ya no pueden comunicarse entre sí en el plano de sus principales intereses intelectuales. Esto es grave para nuestra vida creativa, intelectual, y por encima de todo, es grave para nuestra vida normal. Nos lleva a interpretar el pasado erróneamente, a juzgar mal el presente y a negar nuestras esperanzas para el futuro. Nos está haciendo difícil o imposible emprender la acción justa y necesaria.”

En *Un segundo enfoque*, Snow respondía a algunas de las críticas formuladas a su ensayo inicial, como la utilización del término «cultura» y al hecho de que señalara únicamente dos culturas, y además contrapuestas. En relación con esto último, el a la vez físico y escritor admitió no haber prestado suficiente atención a lo que podría muy bien considerarse «como una tercera cultura», construida en torno «a una diversidad de campos: historia social, sociología, demografía, ciencias políticas, economía, gobierno (en el sentido académico norteamericano), psicología, medicina y artes sociales como la arquitectura». La esperanza de Snow era que, con el tiempo, esa emergente «tercera cultura» hiciera de puente entre las otras «dos culturas».

En cierta medida esto último se ha producido. Pero solo *en cierta medida*. Así, ciencias sociales como la antropología o la sociología han servido en ocasiones de nexo de unión entre las ciencias naturales y las *Wissenschaften* no propiamente científicas (como el derecho o la política) y las *literae humaniores*, las humanidades. Pero la segregación e incomunicación entre estas «tres culturas» continúan siendo

manifiestas. Apenas se han suavizado desde los tiempos de Snow. Y como éste aseveró en su momento:

“Parece, pues, que no hay ningún punto donde las culturas puedan encontrarse. No voy a malgastar tiempo diciendo que esto es una lástima. Es mucho peor que una lástima [...] Estamos dejando escapar algunas de nuestras mejores posibilidades. El punto de colisión de dos materias, dos disciplinas, dos culturas –de *dos galaxias*, al extremo en donde han llegado las cosas- tiene que producir posibilidades creativas. En la historia de la actividad mental, ahí es donde han surgido algunas de las grandes innovaciones. Y ahí es donde están ahora las posibilidades. Pero están, por decirlo así, como en un vacío, porque no hay diálogo entre las dos culturas.”

Aunque Snow en su época clamaba contra el desconocimiento mutuo y la incomprensión recíproca entre los practicantes de la ciencia y de las humanidades, la verdad es que cargó mucho más las tintas en estos últimos como principales responsables de tal distanciamiento, cuando no de mutua animadversión. Resulta evidente que Snow –que ejerció durante años de crítico literario- no fue precisamente imparcial; en su argumentación favoreció desproporcionadamente a sus compañeros científicos diurnos (optimistas natos, según él) frente a sus colegas literatos nocturnos (tachados por Snow de escapistas, incluso de pusilánimes a la hora de cambiar el mundo y la sociedad).

Sin embargo había suficientes motivos en su época para el escepticismo -cuando no para el pesimismo- de los segundos frente al progreso científico o el avance tecnológico que habían hecho posible, por ejemplo, un holocausto nuclear antes impensable; las obras en aquellos años de autores como Aldous Huxley, Heinrich Böll o Albert Camus –por mencionar a tres de ellos pertenecientes a tres países diferentes- eran ciertamente críticas respecto a la *tecnociencia* contemporánea. Especialmente clarividentes fueron las palabras de Camus en su discurso de aceptación del Premio Nobel de Literatura en 1957. «Cada generación se cree destinada a rehacer el mundo», afirmó. «La

mía sabe, sin embargo, que no podrá hacerlo. Pero su tarea es quizás mayor. Consiste en evitar que el mundo se desmorone».

Más allá de Snow: hacia un diálogo de saberes

Snow fue muy comentado. Un ecólogo como Marston Bates recogió las preocupaciones del escindido físico y escritor en la segunda edición de su pequeño manual *El hombre en la naturaleza* (1964). Siguiendo a Snow, Bates constataba que el mundo intelectual aparecía dividido entre científicos y humanistas, con las desastrosas consecuencias que tenían este divorcio sobre la educación y la opinión pública. Creía que las ciencias –en concreto, la biología- debían introducirse más firmemente, no ya en la educación universitaria, sino en la enseñanza básica. Pero Bates reclamaba tal protagonismo sin prepotencia, con un buen juicio no exento de humildad:

“La ciencia es una de las grandes creaciones de la mente humana. Los motivos, las satisfacciones, las frustraciones del científico son apenas diferentes de los otros tipos de personalidad creadora, por diferentes que sean las producciones del acto creador. Los productos de la ciencia son conceptos, teorías y clasificaciones, logrados por experimentación, observación y análisis. Son muy diferentes de poemas, pinturas o sinfonías, pero no son menos grandiosas como ejecuciones intelectuales, ni menos dignas de admiración y aprecio. En lugar de buscar contraposiciones entre ciencias y humanidades, quizás deberíamos estudiar la ciencia como una parte de las humanidades, como una de las formas en que el hombre ha tratado de comprenderse a sí mismo y de entender al mundo que le rodea.”

Unas humanidades ampliadas... Eso es lo que en su tiempo proponía (¿sorprendentemente?) un científico natural como Bates, centrado en defender una identidad creativa común entre ciencia y arte, a la vez que una importancia similar en sus respectivas y diferentes creaciones. Todo un *desideratum*, que muchos considerarán teórica y prácticamente difícil de conseguir. Pero seamos pragmáticos:

el mejor modo de comenzar a superar las barreras de ignorancia e incompreensión que todavía existen entre las tres culturas –las conformadas en torno a las ciencias naturales, las ciencias humanas y las humanidades- es involucrarlas en un proyecto común en el que las tres tengan algo (y mejor aún, mucho) que aportar. Pues las tres culturas empezarán a confluir en la medida en que todas ellas se vean, no ya necesarias, sino imprescindibles en el planteamiento, la resolución, o al menos la minoración de alguna problemática particularmente compleja, grave y urgente. Los grandes problemas que afectan a la humanidad deben inducir grandes coaliciones, no solo económicas, sociales o políticas, sino también culturales. Precisamos con urgencia un *diálogo de saberes* –sin supremacías ni vasallajes- que lleve a *una acción común* frente a lo que, como ejemplo sobresaliente «de problemática compleja, grave y urgente», constituye sin género de dudas uno de los máximos retos a afrontar por la humanidad en este siglo XXI: el cambio antropocénico global, la drástica alteración humana en nuestra época de componentes, estructuras y funciones de la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera.

«La ciencia evoluciona en la medida en que es capaz de responder a los principales desafíos de cada época, cambiantes a través de la historia», exponían en el año 2000 los matemáticos y epistemólogos Silvio O. Funtowicz y Jerome R. Ravetz. «La tarea colectiva más grande que hoy afronta la humanidad concierne a los problemas de riesgo ambiental global y a los de equidad entre los pueblos. En respuesta, ya se están desarrollando nuevos estilos de actividad científica». Y continuaban su argumentación precisando más esos «nuevos estilos de actividad científica»:

“Así, se están superando las oposiciones tradicionales entre disciplinas pertenecientes al campo de las ciencias «naturales» y «sociales», entre las ciencias «duras» y «blandas». La cosmovisión reduccionista analítica que divide a los sistemas en elementos cada vez más pequeños, estudiados por especialidades cada vez más esotéricas, es reemplazada por un enfoque sistémico, sinté-

tico y humanístico. Reconocer a los sistemas naturales reales como complejos y dinámicos implica moverse hacia una ciencia cuya base es la impredecibilidad, el control incompleto y una pluralidad de perspectivas legítimas.”

Con su defensa de «una pluralidad de perspectivas legítimas», Funtowicz y Ravetz no absolverían hoy de ninguna manera al conjunto de falsedades con las que alguien como Donald Trump ha tratado de arropar su política, no ya de inacción, sino de desprecio frente al cambio climático (por no hablar del resto de problemas planteados por la totalidad del cambio planetario), en unos tiempos dominados por la calificada eufemísticamente como *posverdad*. Lo que tanto Funtowicz como Ravetz criticaban en aquel último año del siglo XX es cualquier pretensión de la ciencia –en particular de las ciencias de la naturaleza- de constituirse en el preponderante, cuando no el *único saber* capacitado para identificar, caracterizar, analizar y combatir un problema «de riesgo ambiental global», como el cambio global antropocénico. Porque «la impredecibilidad, el control incompleto» y la mencionada «pluralidad de perspectivas legítimas» que alcanza esta problemática, no ya compleja, sino *hipercompleja*, socava cualquier pretensión reduccionista y monopolista.

Si los problemas científicos ligados al cambio global alcanzan a tener tal hipercomplejidad, la divulgación de tales problemáticas, la formación de la opinión pública en semejantes cuestiones, requieren la participación en el propio esfuerzo difusor de todos aquellos saberes que, aun no siendo de carácter científiconatural, resulten imprescindibles tanto para formular problemas como para elaborar soluciones. Si conviene que los científicos y técnicos «pierdan su carácter de expertos exclusivos» (Funtowicz, 1997) frente a realidades ciertamente hipercomplejas como el cambio global antropocénico, esa misma característica de no-exclusividad ha de tener necesariamente toda tarea difusora y formadora de base científica respecto a ese cambio global. En suma: si en relación a «los problemas de riesgo ambiental global» han surgido «nuevos estilos de actividad científica», igualmente han

de emerger nuevas formas de divulgarla. Y en esta ampliada tarea divulgadora precisamos también el concurso de las tres culturas: la humanística como la científica y, dentro de esta última, la científicosocial como la científiconatural. Pues como Snow (1959) recalcará, «cerrar el abismo que separa nuestras culturas es una necesidad en el sentido intelectual más abstracto así como en el más práctico». Esto –soldar semejante abismo de incompreensión o, al menos, tender puentes sobre él- es justamente a lo que este libro aspira.



Calle de Londres en los inicios del siglo XIX cuando la contaminación atmosférica aún no se había enseñoreado de una ciudad de más de un millón de habitantes, la segunda ciudad más populosa del mundo por entonces.

- III -
**COMPRENDER EL PASADO PARA MEJOR AFRONTAR
NUESTRO PRESENTE Y FUTURO**

La interconexión del pasado, el presente y el futuro

A comienzos del actual siglo, en un ensayo titulado *Breve historia del progreso* –cuyo origen había sido una serie de conferencias radiotransmitidas–, el arqueólogo y escritor Ronald Wright hacía esta pertinente reflexión:

“Tendemos a considerar excepcional la época en que vivimos, y lo es en muchos aspectos. Pero la estrechez de miras presente, la manera en que nuestros ojos siguen la pelota pero no el juego, es peligrosa. Absortos en la contemplación del aquí y ahora, perdemos de vista el rumbo de la trayectoria a través del tiempo [...]”

Sí. En este siglo XXI el pasado y el futuro, ciertamente, han perdido consideración respecto a la inmediatez del presente. Dos historiadores, Jo Guldi y David Armitage (2014), también lo ven así y escriben que:

“Un fantasma recorre nuestra época: el fantasma del corto plazo. Vivimos un momento de crisis acelerada, cuya característica es la escasez de pensamiento a largo plazo, y esto a pesar de que la elevación del nivel del mar amenaza a las comunidades de zonas bajas y a las regiones costeras, las ciudades del mundo acumulan cada vez más desechos y las acciones humanas contaminan los océanos, la tierra y el agua subterránea de futuras generaciones. Nos

enfrentamos al aumento de las desigualdades económicas en el seno de las naciones pese a la reducción de las desigualdades entre países, mientras que las jerarquías internacionales vuelven a condiciones desconocidas desde finales del siglo XVIII, cuando China dominó por última vez la economía global.”

En efecto, como Wright (2004) constataba, la inmediatez de la pelota absorbe y fascina al espectador contemporáneo con lo que éste pierde de vista la propia y particular evolución del juego. Pero ceñirse al aquí y ahora, a un determinado *aquí y ahora*, no nos desvela –o al menos, no necesaria o no adecuadamente- la evolución y resultado de la partida: resulta imprescindible para ello conocer su particular historia. En todos aquellos fenómenos en que el tiempo es una variable básica –en cualquier *proceso*, por consiguiente- el conocimiento de su historia –siempre limitado, es verdad- alcanza a ser fundamental. Sin embargo, como Joan Martínez Alier expone, en coherencia con la incomunicación entre culturas que Snow en su día denunciara, «se tiende a pensar siempre que la historia se enseña como parte de las humanidades o la historia social y económica como parte de las ciencias sociales». Pero «no debería ser así». (Martínez Alier y Wagensberg, 2017). Más aún; según este economista, y en relación a la propia ciencia, puede afirmarse que:

“La ciencia es una disciplina histórica que tiene que ver con el paso del tiempo y se debería considerar que las ciencias no están alejadas de la historia sino todo lo contrario. Las ciencias explican historias. Además la ciencia tiene su propia historia, va averiguando cosas nuevas, va desechando hipótesis, aceptando otras nuevas, inventando nuevos conceptos. Si se incluyera esta perspectiva histórica de la ciencia, entonces sería mucho más fácil que los historiadores (de las facultades de humanidades, y también los historiadores económicos y sociales) entraran en temas de estudio como la energía, la evolución, la biodiversidad, que les parecen siempre propias únicamente de las ciencias.”

De nuevo, una razón más para deplorar la separación e incomunicación de las culturas, la falta de diálogo (y de enriquecimiento mutuo) entre ciencias naturales, ciencias sociales y humanidades. Con ello se pierde una particular oportunidad: que la propia historia actúe como ligazón entre unas y otras. Pero no solo eso. Un cuarto de siglo antes de las opiniones de Martínez Alier, alguien como Michael Andrews (1991), a caballo entre la geología y la historia, alcanzaba a señalar otro aspecto singularmente importante:

“La historia propiamente dicha y la historia natural se enseñan en contadas ocasiones al mismo tiempo, y sólo cuando comenzamos a cuestionar nuestra supervivencia como especie en este planeta llegamos a entender la fragilidad de nuestra civilización industrial, y que la economía de la naturaleza y la ecología del hombre son inseparables.”

Así lo vienen a confirmar historiadores profesionales como Guldi y Armitage (2014) cuando, en su *Manifiesto por la historia* (2014), destacan que:

“Tanto en sus intervenciones públicas como en sus publicaciones, los expertos en sostenibilidad se han convertido en historiadores sin saberlo [...]. Estamos en un mundo que dirige cada vez más la mirada a la historia en busca de sentido para la naturaleza cambiante de los acontecimientos del mundo.”

«Pensar en el pasado con el objeto de ver el futuro no es en realidad tan difícil», añaden Guldi y Armitage; «la renovación de la conexión entre pasado y futuro y la utilización del pasado para pensar críticamente en lo que vendrá son instrumentos que hoy necesitamos», añaden. Por ello, para mejor conocer, enmarcar y difundir los aparentemente «nuevos» problemas de nuestro presente y próximo porvenir, conviene (y mucho) que aprovechemos las enseñanzas del pasado. De ahí que quien esto escribe le proponga al lector un viaje.

Pero un viaje no en el espacio, sino en el tiempo: hasta hace concretamente doscientos años, dos siglos completos y redondos.

«¿Cómo? ¿Volver una vez más al pasado, a tiempos pretéritos, a la socorrida historia, como tantas otras veces se ha propugnado?», puede que ese mismo lector pregunte inmerso en una época tan manifiestamente ahistórica como la nuestra. Enténdame bien, paciente lector. No se trata de tornar al pasado para buscar algún *Santo Grial*, con la convicción de que en él se encontrarán, sin más, las soluciones adecuadas a nuestros problemas contemporáneos, actuales y venideros. No. Se trata simplemente de buscar en ese tiempo pretérito determinadas claves, tanto en relación con las preguntas que hoy nos hacemos como sobre las respuestas con que en el presente y en el futuro tendremos que contestarlas. «Eso no significa una *vuelta* al pasado, sino un *rodeo* por el pasado hacia un porvenir nuevo», precisan los sociólogos Michael Löwy y Robert Sayre (1992) en un libro cuyo ámbito histórico –el Romanticismo, con su rebelión y melancolía- se sitúa aproximadamente en esa misma época.

Bien, pues emprendamos tal *rodeo*: espero convencer al lector renuente, incluso escéptico, de que las aportaciones y enseñanzas del siglo XIX pueden sernos muy útiles en el presente siglo XXI. Recurriré en nuestro recorrido a lo que nos muestre la particular historia de la ciencia y la tecnología, a lo que nos aporte la historia económica y social, y también a lo que nos sugiera la historia específica de las humanidades y las artes... Todo ello para enriquecer nuestro explícito propósito formativo, a la vez divulgador y concienciador.

Retrocedamos dos siglos (I). El surgimiento del mundo moderno

Pero antes que nada, ¿por qué retornar en concreto al lustro comprendido entre 1815 y 1820, y no a cualquier otro? Hay tres motivos poderosos por los que escoger ese quinquenio como inicio de nuestro recorrido histórico; los iremos presentando en las próximas

páginas. En primer lugar, podemos destacar que en los años inmediatamente posteriores al fin de las guerras napoleónicas se produjo lo que el historiador Paul Johnson calificó como *el nacimiento del mundo moderno* en un libro de idéntico título que publicó en 1991. Los años que siguieron a Waterloo (batalla que tuvo lugar en junio de 1815), supusieron en opinión de Johnson, «el periodo en que esencialmente se formó el mundo moderno». Y añade en el prólogo de su libro:

“Algunos pueden considerar sorprendente tal afirmación. Quizás señalen la década de 1780 como el momento decisivo, el periodo en el que la economía británica alcanzó, antes que ninguna, un ritmo constante de crecimiento industrial, y cuando la Revolución Francesa comenzó el proceso de destrucción del Antiguo Régimen. Es cierto que la Modernidad fue concebida en la década de 1780. Pero el nacimiento real, retrasado por el largo y destructivo periodo de gestación de las guerras napoleónicas, pudo iniciarse plenamente sólo con la llegada de la paz, cuando los nuevos recursos en la economía, la administración, la ciencia y la tecnología pudieron aplicarse a tareas constructivas.”

Así pues, tenemos una sólida razón para retroceder en estas páginas doscientos años atrás. El «mundo moderno», inicialmente concebido social, política y técnicamente una generación atrás –todavía en el siglo XVIII-, no fue hasta la segunda década del siglo XIX cuando pudo por fin aflorar con todo su potencial. Es un buen motivo, porque el cambio global contemporáneo, la transformación antrópica generalizada de la epidermis del planeta Tierra, se deriva muy mayoritariamente del desarrollo de ese «mundo moderno». Y no deja de ser significativo que cuando Crutzen y Stoerner propusieron en el año 2000 el término Antropoceno, establecieron su origen en el inicio del siglo XIX. A partir de esa fecha –argumentaron- el impacto humano planetario experimentó una aceleración que ha llegado hasta nuestros días.

De hecho, y en términos demográficos y económicos más convencionales, el lustro final de la segunda década del siglo XIX marca un punto de inflexión en la historia de la humanidad: se inició con él

un periodo de expansión demográfica y económica creciente, *exponencialmente creciente*, etapa que –con manifiestas oscilaciones y con momentáneos retrocesos- ha proseguido hasta nosotros. El historiador Jürgen Osterhammel, en su libro *La transformación del mundo* (2013), centrado en el siglo XIX, afirma:

“La historia de la economía debe enfrentarse a la pregunta de cuándo la dinámica de la «revolución industrial» inglesa se transformó en un crecimiento económico que superó las fronteras de la propia Inglaterra. Angus Madison –el más respetado estadístico contemporáneo de la historia mundial- ha dado una respuesta clara: a su juicio, la década de 1820 es el punto de inflexión en el cual el estancamiento mundial dio paso a un ritmo más dinámico e «intensivo».”

Veamos algunos datos que avalan la anterior afirmación. Entre 1500 y 1820, según Madison (1995, 2002), el Producto Mundial Bruto –el valor en unidades monetarias constantes de la producción económica mundial- casi se triplicó, pero como la población se multiplicó por dos veces y media, el PMB/hab. (un primer indicador, bien que grosero, del bienestar económico de la humanidad) apenas varió. Pero al finalizar el siglo XIX, en 1900, el nivel *per cápita* conseguido en 1820 casi se duplicó. Y en el siglo XX, a despecho de los dos grandes conflictos bélicos de su primera mitad, siguió creciendo: se había triplicado con creces en 1950 y se multiplicó por nueve en el año 2000.

Por supuesto, todas estas cifras no son sino medias de un rango de valores muy amplio según países y clases sociales. Pero muestran que si entre el final del siglo XV y los comienzos del XIX el crecimiento del producto económico solo fue muy ligeramente por encima del de la población, la situación cambió desde aproximadamente 1820 (la población creció mucho, pero el producto económico lo hizo mucho más) y así se ha mantenido hasta hoy. Y este punto de inflexión en la relación entre población y producto económico, puede enmarcarse aun más. Osterhammel (2013) señala que:

“Los historiadores de la técnica y del medio ambiente hacen hincapié en las mismas fechas de corte, cuando recuerdan que hacia 1820, empezó la «era de los combustibles fósiles» [...] El carbón puso en marcha las máquinas de vapor, las máquinas movieron los telares y las bombas, los barcos y los trenes.”

Industrialización... Un fenómeno, un *proceso histórico*, que pese a estar limitado geográficamente hace doscientos años a unos pocos lugares del Globo (básicamente Gran Bretaña) suscitó el suficiente impacto en algunos de sus contemporáneos para que acabaran calificándola con la contundente denominación de *revolución industrial*. En 1828, el economista Adolphe-Jerôme Blanqui, en un texto significativamente titulado *Ensayo sobre el progreso de la civilización industrial en las principales naciones europeas*, y en coincidencia con lo que Johnson escribiría muchas décadas después, afirmaba que:

“Desde que la paz ha permitido reemprender una carrera a menudo interrumpida [...] una nueva revolución se ha operado en las naciones europeas: los arrebatos de la guerra y los odios que la conquista levanta a su paso, han dado lugar a sentimientos más benévolos [...]”

Retrocedamos dos siglos (II). Una única cultura

Además de esta «revolución industrial», con lo que la misma acabaría suponiendo para la economía humana planetaria y la emergencia del «mundo moderno», hay un segundo motivo para retrotraernos a la segunda década del siglo XIX. En nuestro caso (interesados, como estamos, en impulsar una convergencia de ciencias y humanidades para mejor encarar nuestro cambio global antropocénico) resulta ser de parecida importancia que el anterior. Y es de nuevo Johnson quien nos lo desvela:

“Durante los años que siguieron a Waterloo, [...] la física y la química, la ciencia y la ingeniería, la literatura y la filosofía, el arte y el diseño industrial, la teoría

y la práctica, todo formaba un *continuum* de saberes y habilidades, y en él los hombres se desplazaban libremente. El concepto de «disciplinas» diferenciadas y compartimentizadas, impuesto más tarde por las universidades, aún no existía.”

El desarrollo científico -por no hablar de la innovación tecnológica- no era ajeno a semejante intercomunicación entre ciencias, artes y demás humanidades; más aún, se beneficiaba de tal general permeabilidad al igual que ocurría con la propia divulgación científica y técnica. Ahora bien, conviene resaltar que toda esa efervescencia del *saber* y del *saber hacer*, todo ese despliegue intelectual y manual de una única cultura, aun no escindida en subculturas ni fragmentada en disciplinas, era algo ajeno a la educación reglada superior de entonces, externo al mundo universitario que existía en la mayoría de países. Señalemos que en aquel tiempo las universidades europeas únicamente eran accesibles para una estrecha minoría social: los pobres y aquellos con solo economías modestas, los analfabetos y los que apenas si sabían leer y escribir, las mujeres en su totalidad, o sea, aquellos que constituían la gran mayoría de la población, estaban excluidos. Añádase el habitual conservadurismo de las universidades de la época, garantes de lo intelectualmente establecido y refractarias a teorías críticas y planteamientos innovadores, no ya científicos, sino incluso humanísticos.

Pocas universidades en Europa se sustraían a este juicio, y de las pocas que había, la mayoría se encontraba en los diferentes Estados alemanes. Y si éstas fueron la excepción en una Europa en la que la ciencia y la técnica estaban prácticamente ausentes de ellas, fue debido a que, previamente a su receptividad a los estudios científicos y técnicos, los centros universitarios germanos habían hecho suya la noción de *Wissenschaft*, el saber estructurado y crítico de una materia bajo una aproximación empírica. Y no fueron originalmente esas *Wissenschaften* materias propiamente científicas, sino humanísticas: el estudio de los clásicos, la filología o la historia. «De este modo»,

ha precisado el académico Eric Ashby (1958), «los basamentos de la *Wissenschaft* –el enfoque empírico del conocimiento- fueron colocados en Alemania no por científicos sino por humanistas, y fueron instaurados en las propias universidades». Las distintas ciencias pudieron así posteriormente arraigar en el mundo universitario alemán, que pasó a convertirse así en referente de las universidades modernas. Por consiguiente, en los primeros lustros del siglo XIX, las humanidades y las ciencias estaban entrelazadas en una misma cultura, abriendo las primeras –aunque hoy pueda parecer chocante- el camino a las segundas en el ámbito universitario moderno.

La íntima ligazón entre ciencias, artes –incluyendo las *artes prácticas*, la tecnología- y las humanidades, ese «*continuum* de saberes y destrezas en el que los hombres se desplazaban libremente» que resalta Johnson (1991), esa *lingua franca* que hace 200 años vehiculizaba e interconectaba percepciones, reflexiones o vivencias, y que posibilitaba el diálogo entre humanistas, poetas, artistas, técnicos o científicos, no era, por lo demás, una mera herencia de épocas anteriores, dotadas de un menor desarrollo científico, técnico, artístico o cultural. Era, por contra, el signo de los nuevos tiempos, un propósito intencionado, algo explícita o implícitamente buscado. Ese *signo de los nuevos tiempos* quedó certeramente reflejado en un comentario retrospectivo de Johann Wolfgang von Goethe, hecho en 1817. Desde sus 68 años de entonces, Goethe volvió la mirada a aquellas décadas iniciales de la segunda mitad del siglo XVIII que de joven había conocido, señalando que:

“Todas las actividades se practicaban de forma aislada; la ciencia y las artes, la gerencia de los negocios, la artesanía y todo cuanto uno quiera imaginarse se movía en círculos cerrados [...]. Al irse segregando y particularizando cada uno de los círculos de actividad, se parceló también el tratamiento dentro de cada una de ellos. Bastaba un soplo de teoría para provocar el terror.”

Sin duda la multiplicidad de intereses de Goethe –desde la poesía o la novela, hasta la estética o la política, pasando por la pintura, la geología, la botánica o la zoología- facilitaron en él una perspectiva holística. Pero no se trataba solo de una inclinación personal, sino que era también expresión de aquel *Zeitgeist*, ese signo de los tiempos al que nos hemos referido.

Retrocedamos dos siglos (III). La última crisis climática global

Un tercer motivo para desandar dos siglos, hasta el lustro comprendido entre 1815 y 1820, proviene de un grave suceso acontecido entonces: una aguda y generalizada crisis climática. Porque en 1816 el mundo (o al menos el hemisferio norte) comenzó a sufrir una alteración climática que, originada por un acontecimiento ocurrido el año anterior, llegó a su máximo en la segunda mitad de ese año, provocando una devastadora crisis de subsistencia que alcanzó su cénit durante el año siguiente, 1817. El arqueólogo Brian Fagan (2000) la describe así:

“La crisis de subsistencia de 1816-17, causada por las malas cosechas registradas en 1816, fue la última circunstancia grave de falta de alimentos en el mundo occidental. Sus consecuencias se hicieron sentir desde el Imperio Otomano hasta Nueva Inglaterra y la costa oriental de Canadá, pasando por el norte de África, Suiza, Italia y otras naciones de la Europa occidental. La crisis no sólo se originó por el bajo rendimiento de las cosechas, sino también por el aumento desmedido de los precios en una época de conflictos políticos y sociales, como fue la que sucedió a las guerras napoleónicas.”

Fue, efectivamente, la *última gran crisis de subsistencia en el mundo occidental*, como reza el título de un libro clásico sobre ese evento del historiador John D. Post (1977). El desencadenante que la disparó fue un suceso ciento por ciento natural y ocurrido además a gran distancia de las regiones y países que acabaron también sufriendolo: la erupción en abril de 1815 (dos meses antes de Water-

loo) del volcán Tambora en la isla indonesia de Sumbawa, aunque tal acontecimiento no llegó a relacionarse entonces (o no de manera generalizada) con la crisis climática, económica, social y humanitaria que provocó. Pero para nosotros, que conocemos tal conexión, reviste como precedente un particular interés respecto al cambio climático contemporáneo y al conjunto del cambio global en que estamos inmersos. Para ello no resulta determinante que la crisis climática de entonces se moviera en sentido opuesto al que conduce el cambio climático actual (hacia un enfriamiento, no a un calentamiento global), ni el hecho también diferencial de que no fuera causado por la mano del hombre sino que tuviera un origen natural, concretamente un episodio de actividad volcánica.

La crisis de 1816-1817, muchos de cuyos efectos se prolongaron al menos hasta 1820, fue particularmente importante porque consistió en un episodio climático agudo dentro de una tendencia más general hacia el enfriamiento que conformó un periodo conocido como Pequeña Glaciación o Pequeña Edad de Hielo, que desde el siglo XIV al XIX se extendió por buena parte del planeta. Sobre este fondo climático tendencial hacia el enfriamiento se superpuso, en la segunda década del siglo XIX, una acusada actividad volcánica que culminó con la erupción del Tambora, la más potente ocurrida en el planeta desde que hay registros históricos escritos. El resultado de todo ello fue que, si «para muchos europeos, el periodo que va desde 1805 hasta 1820 fue el más frío de la Pequeña Edad de Hielo» (Fagan, 2000), el Tambora jugó su papel, provocando que 1816 fuera el año más frío de aquel periodo 1805-1820, de por sí mayormente frío. Se le conoció como «el año sin verano». Una muestra de sus efectos alimentarios, sociales y políticos los veremos más ampliamente en el próximo capítulo.

Como resumen de los apartados precedentes, puede afirmarse que los años entre 1815 y 1820 son un lustro particularmente apropiado como punto de partida de nuestro recorrido histórico, porque en esas fechas se estaban produciendo *a la vez* tres cosas. En primer lugar el mundo moderno, la civilización industrial, nacía e iniciaba

su crecimiento, quizás incluso delimitando una nueva época o edad geológica (Crutzen y Stoerner, 2000; Crutzen, 2002): el Antropoceno. En segundo término, semejante parto y primerísima infancia podían verse a través de los ojos de una única cultura –que entrelazaba lo científico, lo humanístico y lo artístico-, una particular mirada integradora que ni antes ni después se dio. Por último, esos balbuceos de la modernidad y esta mirada aún no escindida coincidían con una crisis climática generalizada, la última gran crisis de subsistencia que afectó como mínimo a todo el hemisferio norte (de hecho, se ha propuesto la deposición de sulfatos en los hielos polares provocada en 1815 por la erupción del Tambora como fecha de inicio del Antropoceno por su sincronidad con la plena emersión de la civilización industrial). Estos tres acontecimientos históricos serán examinados en los siguientes capítulos en orden inverso a como acaban de ser enunciados.



El Vesubio a comienzos del siglo XIX, según el pintor P. Hackert. Su erupción se sumó a la de otros volcanes como el Sabrina en las Azores, La Soufrière en San Vicente, Awu en las Célebes o Mayon en la isla de Luzón inmediatamente anteriores a la gran erupción del Tambora.

- IV -
**DOSCIENTOS AÑOS ATRÁS:
EL TIEMPO DE UNA CRISIS CLIMÁTICA**

La crisis climática de 1815-1820

Entre otros objetivos de su práctica, corresponde a la ciencia reescribir los libros de historia cuando éstos no han tenido en cuenta fenómenos o sucesos que han incidido de manera importante (incluso decisiva) en el acontecer humano. Así ocurre en lo que respecta al año 1815. En los libros de historia de la educación reglada europea (obligatoria o incluso superior), el hecho relevante de ese año fue la batalla de Waterloo y el fin de todo poder napoleónico. En los textos homólogos norteamericanos este puesto lo ocupa la batalla de Nueva Orleans (que se libró después de haberse firmado la paz: los contendientes no se habían enterado de tal firma) y el fin de la guerra angloestadounidense. Napoleón se estrelló contra un Wellington atrincherado, y el cuñado de Wellington, sir Edward Pakenham, se estrelló contra el general Andrew Jackson (el futuro presidente), igualmente atrincherado en Nueva Orleans. Wellington se convirtió en un héroe para los británicos, Jackson en otro para los estadounidenses, Napoleón finalizó sus días en Santa Elena y el cadáver acribillado de Pakenham acabó conservado y transportado en un barril de ron.

Pero en 1815 hubo un acontecimiento catastrófico ajeno a estas carnicerías bélicas tan presentes en los manuales de historia y que tuvo efectos no menores, lo mismo en Europa que en Norteamérica. Un hecho que, por lo demás, no ocurrió ni en Europa ni en América, sino en Asia, en la lejana Indonesia, concretamente en la entonces (y hoy) prácticamente desconocida isla de Sumbawa. «Los habitantes de

Sumbawa», relata el periodista John Withington (2008), «tenían fama por su miel, sus caballos y su madera de sándalo que usaban para fabricar incienso y medicinas. El monte Tambora, de casi cuatro mil metros de altitud, se consideraba un volcán extinguido». Ya en 1812 se vio que no era así, «cuando el monte empezó a retumbar». Pero fue a comienzos de abril de 1815 cuando entró en violentísima actividad. «Las erupciones continuaron hasta el mes de julio», relata Withington; «cuando por fin se detuvieron, Tambora tenía mil doscientos metros menos de altitud que antes». Fagan (2016) describe este evento y sus posteriores efectos así:

“El estallido arrojó inmensas nubes de polvo y cenizas a la atmósfera. Más de 12.000 personas murieron en las primeras veinticuatro horas, sobre todo por la lluvia de ceniza y las coladas piroclásticas. Otras 75.000 personas murieron de hambre y enfermedad después de la mayor erupción en más de dos mil años. Millones de toneladas de cenizas volcánicas y 55 millones de toneladas de dióxido de azufre se elevaron a más de 32 kilómetros en la atmósfera. Las fuertes corrientes de viento arrastraron hacia el oeste las nubes de gotas en dispersión, de forma que dieron la vuelta a la Tierra en dos semanas. Dos meses más tarde estaban en el Polo Norte y en el Polo Sur. Las finísimas partículas de azufre permanecieron suspendidas en el aire durante años [...]. Un velo casi invisible de cenizas cubrió el planeta. El manto traslúcido reflejó la luz del sol, enfrió las temperaturas y causó estragos climáticos en todo el mundo. Así nació el tristemente famoso «año sin verano»: 1816.”

«Una gran parte del archipiélago indonesio quedó en completa oscuridad durante tres días», destaca el historiador Jürgen Osterhammel (2013), que eleva las víctimas mortales en Sumbawa y en las vecinas islas de Lombok y Bali (las cuales quedaron cubiertas de una capa de cenizas de entre 20 y 30 centímetros) a 117.000. Pero las muertes en todo el mundo a consecuencia directa e indirecta del estallido del volcán indonesio ascendieron a centenares de miles más en Asia, Europa y América, muertes debidas al hambre, la desnutrición y las enfermedades asociadas. En Asia, «la hambruna se cebó en

la provincia china de Yunnan, donde quedó arruinada la cosecha de arroz», precisa Withington (2008), «como sucedió también en la India, donde además de hambre, hubo una epidemia de cólera». Además, en todo el sur de Asia el régimen de lluvias monzónicas quedó gravemente alterado.

El primer efecto en Europa de la formidable inyección de polvo y gases del Tambora en la atmósfera puede considerarse de carácter estético: fueron los «espectaculares atardeceres rojos, morados y naranjas» en el verano y otoño del 1815 (Fagan, 2016), a los que sucedieron, ya en el invierno de 1816, grandes nevadas que en algunos lugares fueron de copos de nieve rojizos, amarillentos e incluso azulados. Tales nevadas se vieron reemplazadas a su vez por lluvias intensas durante un verano que en nada evocaba su nombre. Durante el mismo, en Europa central y occidental, «las temperaturas medias mensuales fueron entre 2,3 y 4,6 grados centígrados más bajas que las normales» (Fagan, 2000). Así, «los anillos de crecimiento de los robles europeos nos dicen que 1816 fue el segundo año más frío en el hemisferio norte desde 1400» (Fagan, 2016). «En 1816», escribe Johnson (1991) en referencia a Gran Bretaña, «el tiempo fue horriblemente húmedo; buena parte de la cosecha no había sido recogida en octubre». «Gran parte del verano se caracterizó por un frío intenso», confirma Parker (2013), «Inglaterra sufrió su tercer verano más frío desde el inicio de los registros continuos en 1659», añade. En ese mismo año, además, «de los 153 días que hay entre mayo y septiembre, en Irlanda llovió en 142». Un eclesiástico inglés, observó que «durante toda la estación el sol salía como envuelto en una nube de humo, rojo y sin rayos, daba muy poca luz y calor [...], casi sin dejar rastro de su paso por la faz de la tierra». Por lo que toca a América, Fagan detalla que:

“En la primavera de 1816, seguía habiendo nieve en el noreste de Estados Unidos y en el Canadá; el frío llegó hasta Tennessee. El tiempo helado duró hasta el mes de junio, al punto de que en New Hampshire fue prácticamente

imposible arar la tierra. También en ese mes, un aire frío e impropio de la estación soplabla hacia el sur, hasta las Carolinas. El 6 de junio cayó una tremenda tormenta sobre Quebec. Las aves murieron congeladas en las calles dos semanas antes del solsticio de verano. En Maine, las cosechas se marchitaron en los campos por una «helada muy severa». Rebaños enteros de ovejas perecieron de frío.”

Tras tan extraña primavera llegó un estío no menos anómalo. «En Norteamérica, durante todo el verano, frentes de aire ártico ocasionaron copiosas nevadas al norte de la línea que va desde la Columbia británica hasta Georgia, produciendo oscilaciones térmicas que en veinticuatro horas iban desde 35 °C a temperaturas bajo cero», refiere Parker. «El hielo y la escarcha destrozaron las cosechas entre el 5 y el 9 de julio; el tiempo de verano retornó el 12 de julio, permaneciendo el ambiente agradable hasta el 20 de agosto. En esos días estaba a punto de comenzar la siega de lo que quedaba de los cultivos, [...] pero entonces llegó la peor de las olas de frío fuera de estación que se dieron aquel verano», comenta el físico y divulgador científico John Gribbin (1982). Así, en New Haven, Connecticut, «la primera helada de otoño llegó treinta y cinco días más temprano que de costumbre, el 22 de agosto» (Fagan, 2000).

Las consecuencias para la agricultura y la ganadería de aquel «año sin verano» fueron desastrosas, como se pudo comprobar a lo largo de los meses siguientes. Pues, como Gribbin (1982) destaca, «los inviernos rigurosos traen consigo sus propios problemas, pero no destruyen cosechas; en cambio, los veranos fríos pueden producir un caos». En Suiza, el «año sin verano» de 1816 dio paso al «año de los mendigos» de 1817. Y si en este país la tasa de mortalidad se había incrementado durante 1816 un 8% respecto a 1815, en 1817 llegó a ser un 56% mayor. De resultados de la pésima cosecha de 1816 en el sur de Alemania, Carl von Clausewitz –que se haría famoso tras la publicación póstuma de su libro *De la guerra* (1831)-, escribió en 1817 que sus habitantes «pasan hambre de verdad [...] dentro de los límites

de lo posible en el estadio de civilización en que vivimos». Vio repetidamente como «figuras en ruinas, que no eran sino las sombras de lo que debe ser un ser humano merodeaban por los campos buscando comida: patatas sin recolectar a punto de echarse a perder porque nunca lograron madurar» (Post, 1977).

En España «muchas cosechas no llegaron», tampoco, «a madurar esa temporada, o si lo hicieron fue de forma muy escasa y tardía», recuerda el escritor y divulgador científico Sergio Parra (2012). En Francia, por su parte, el rendimiento del conjunto del sector agrícola en el «año sin verano» de 1816 vino a ser la mitad de lo normal. «En todos los viñedos franceses y suizos, las uvas maduraron más tarde que ningún otro año desde el inicio de los registros continuos en 1437» (Fagan, 2000). Si la vendimia se inició con retraso en la mayoría de lugares, en algunos como Verdún ni siquiera se llegó a vendimiar: las uvas no habían madurado. Ateniéndonos al periodo de tiempo comprendido entre 1801 y 1912, «en Francia, los precios más altos de trigo se registraron en 1817, el doble del valor medio para dicho periodo» (Gribbin, 1982). París se salvó de la carestía general por las medidas tomadas por las autoridades francesas, que incluyeron masivas importaciones de cereales y la protección de los cargamentos por policías y destacamentos de soldados. Pero fuera de París, los incidentes se hicieron ya frecuentes a finales del 1816. «Hubo revueltas en Poitiers, en Toulouse y en valle del Loira», enumera Withington (2008). «Bandas de vagabundos que deambulaban por la campiña tomaron la ciudad de Château Thierry, situada a orillas del Marne, vaciando los almacenes e interceptando los barcos que traían partidas de grano por el río» (Fagan, 2000). Muchos de estos vagabundos sin recursos consiguieron llegar a París, donde los alimentos –como hemos referido- no eran tan escasos. Así, un censo realizado en 1817 indicaba que de los 714.000 residentes en la ciudad ese año, casi un 12% era indigente.

En las Islas Británicas el frío, la lluvia y el granizo se conjugaron para que la cosecha de trigo de 1816 fuera la peor del periodo

comprendido entre 1815 y 1857. En Inglaterra, «armados con palos con tachas de hierro y banderas con la leyenda *Bread or Blood* (Pan o Sangre), bandas de trabajadores rurales exigiendo una rebaja en el precio del pan atacaron las casas de quienes los insultaban, y quemaron graneros hasta que las milicias les hicieron frente» (Fagan, 2000). Uno de estos rebeldes proclamó: «aquí estoy entre el cielo y la tierra, y Dios es mi ayuda. Antes perdería la vida que marcharme. Quiero y tendré pan», refiere el historiador Eric Hobsbawm (1999).

Fuera de Inglaterra la situación no era mejor, sino peor. «Hubo disturbios por falta de alimentos en Gales» (Gribbin, 1982). En Escocia, en la localidad de Dundee, centenares de personas asaltaron tiendas y almacenes. En Irlanda la crisis alimenticia llegó a niveles máximos en 1817. Durante la primavera de ese año «se recogían del suelo diminutas patatas para ingerirlas mientras que las ortigas y otras plantas espontáneas comestibles eran las mayormente buscadas para saciar el hambre» (Post, 1977). Unos 65.000 irlandeses murieron entre 1816 y 1817 de hambre y de enfermedades directamente vinculadas a la misma. El tifus había hecho acto de presencia en Gran Bretaña matando a miles de personas, pero en Irlanda la epidemia fue mucho peor: en 1817-1818 unos 850.000 irlandeses sufrieron la enfermedad. Que la crisis humanitaria fuera considerablemente más grave en Irlanda que en Escocia o Inglaterra fue debido al tratamiento colonial que recibía la primera por el poder británico. Desde tiempo atrás Irlanda había sido obligada a convertirse en suministradora para Gran Bretaña de cereales y carne, exportaciones hechas posibles por unos irlandeses que, a su vez, estaban alimentados, principal si no exclusivamente, con patatas. Fagan (2000) expone así los resultados de la crisis alimentaria y sanitaria irlandesa de 1816-1818:

“Esas muertes fueron consecuencia lógica de la decisión de las autoridades británicas de no bloquear las exportaciones de granos [...] Robert Peel, que entonces ocupaba el cargo de secretario para Irlanda, justificó esa decisión con el argumento falaz de que los benefactores privados se dormirían en los

laureles si el gobierno asumía la responsabilidad de paliar el hambre de los menesterosos. En junio de 1817, Peel anunció la entrada en vigor de un decreto inútil que establecía que «las personas de las clases más acomodadas deben dejar de consumir patatas, y además tienen que reducir la cantidad de avena que den a sus caballos».”

Al otro lado del Atlántico, en Norteamérica, la crisis climática también se convirtió en crisis alimenticia. Múltiples cultivos se resintieron del anómalo verano de 1816. «En toda Nueva Inglaterra», relató un observador de la época, «apenas se recogió una décima parte de la cosecha normal de maíz». «Las condiciones fueron bastante peores más al norte, en Canadá, donde incluso se perdió el trigo, que en Estados Unidos pudo sobrevivir bastante bien», constata Gribbin (1982). Aun así, «el precio que alcanzaron los cereales en Nueva York», señala Parker (2013), «no se superaría hasta 1973». «Hubo que abrir, ante la grave falta de alimentos, comedores de caridad en Manhattan» (Withington, 2008). Y en la primavera de 1817 apareció un nuevo problema: la falta de simiente para la nueva cosecha. «Las semillas», relata Fagan (2000), «costaban en el norte de Nueva Inglaterra hasta cuatro dólares la fanega y los granjeros pagaban lo que se les pidiera con tal de poder sembrar».

La crisis climática y humanitaria provocó en Norteamérica y Europa un efecto enteramente lógico: el desplazamiento de las poblaciones más afectadas convertidas en *refugiados climáticos*. En Norteamérica, «la escasez de alimentos y el mal tiempo», anota Gribbin (1982), «se combinaron para animar a un gran número de personas a desplazarse hacia el oeste en búsqueda de tierras vírgenes». «Este tiempo meteorológico», explica Parker (2013), «generó una enorme ola migratoria desde Nueva Inglaterra al Medio Oeste». Efectivamente, «entre 1817 y 1820, la población de Ohio aumentó en un 50% [...] y la de Indiana e Illinois también se beneficiaron de la llegada de refugiados procedentes de Nueva Inglaterra». Johnson (1991) refiere que la población de Ohio creció de casi 231.000 personas en 1810 a

más de 581.000 en 1820; la de Indiana, de menos de 25.000 a más de 147.000; y la de Illinois, de unos 12.000 a más de 55.000 en idéntico intervalo de tiempo.

A su vez, el vacío parcial demográfico que dejaban estos refugiados climáticos norteamericanos desplazándose hacia el oeste, fue cubierto por otros refugiados climáticos –en este caso europeos- que huían de condiciones todavía peores. Escapando «del súbito cambio climático», destaca Parker (2013), «muchos europeos emigraron también entre 1816 y 1817 a Rusia, a Sudáfrica y sobre todo a Norteamérica». Así, miles de personas abandonaron Alemania en esos años con destino a los Estados Unidos en lo que se convirtió en la primera ola migratoria germana del siglo XIX, y más de 20.000 irlandeses emigraron a América solo en 1818. Muchos de estos refugiados climáticos europeos se instalaron en Nueva Inglaterra, compensando así la marcha de una parte de su población original. De esta forma, la crisis climática provocada por el estallido del Tambora en 1815 se prolongó como mínimo hasta 1820 por lo que toca a los fenómenos migratorios.

Volcanes lejanos

Durante la segunda década del siglo XIX, en consecuencia, un volcán indonesio que prácticamente nadie conocía en Europa y América provocó una crisis climática altamente traumática en ambos continentes: el Tambora. Pero a finales de siglo, durante la penúltima década del mismo, la situación se repitió. Otro volcán indonesio e igualmente desconocido, el existente en la isla de Krakatoa, entró en actividad (como el Tambora se le suponía extinguido) en mayo de 1883 y estalló a finales de agosto de ese mismo año. De nuevo pudieron verse en muchos puntos del hemisferio norte atardeceres espectacularmente rojizos, anaranjados y verdosos, como había ocurrido con la erupción del Tambora. Ahora bien, los efectos climáticos del Krakatoa fueron notoriamente inferiores a los del Tambora por dos razones. En primer lugar, porque la inyección de partículas y gases a la atmós-

fera –aunque muy cuantiosa- fue bastante menor que en el caso del Tambora. Como describen los vulcanólogos Peter Francis y Stephen Self (1997), «se estima que Tambora proyectó entre 150 y 180 kilómetros cúbicos de pumita y ceniza; Krakatoa vomitó sólo 20 kilómetros cúbicos». En segundo lugar, porque el Tambora erupcionó en una fase climática de por sí notoriamente más fría, uno de los mínimos térmicos de la conocida como Pequeña Edad de Hielo, con lo que se partía de un nivel base de temperaturas inferior al que había en el momento de la erupción del Krakatoa.

Por contra, desde el punto de vista científico, la erupción del Krakatoa tuvo mucha más importancia que la del Tambora por diferentes motivos. En primer término por poderse hacer un informe geológico «in situ», informe dirigido por el ingeniero de minas Rogier D. M. Verbeek, que visitó lo que quedaba de la isla a mediados de octubre de 1883 y cuyas conclusiones se publicaron en *Nature* en 1884. En segundo lugar, porque se pudo hacer un seguimiento atmosférico razonablemente completo de la lluvia de cenizas del volcán y de las partículas y aerosoles inyectados en la troposfera y la estratosfera, con sus correspondientes efectos ópticos. Una Memoria de la Royal Society dedicada a las consecuencias de la erupción dedicó la mayor parte de sus páginas a «los insólitos fenómenos ópticos de la atmósfera en 1883-86, incluyendo efectos crepusculares, aparición de coronas, neblinas, soles y lunas coloreadas, etc.». En tercer lugar, porque quedó manifiestamente claro el efecto climático de las grandes erupciones volcánicas: «las temperaturas medias registradas en el hemisferio norte», señalan Francis y Self (1997), «fueron entre 0,5 y 0,8 grados Celsius inferiores a lo normal».

Una última, pero no menos importante consecuencia, fue que la explosión del Krakatoa permitió *retrospectivamente* evaluar mejor la anteriormente ocurrida del Tambora. Krakatoa fue la primera gran erupción objeto de investigación científica y ello repercutió en el conocimiento de la del Tambora. Por no hablar del muy diferente eco que provocaron en la opinión pública uno y otro evento. Si en el caso del

Tambora el suceso tardó semanas en llegar a Europa y Norteamérica, en el del Krakatoa sólo fueron horas. La noticia de la erupción llegó al periódico *The Boston Globe* en Nueva Inglaterra apenas cinco horas después de que se produjera: consiguió transmitirse justo antes de que un tsunami provocado por la explosión volcánica cortara las comunicaciones telegráficas.

Vulcanismo y crisis climáticas

Las crisis climáticas provocadas por erupciones volcánicas como la del Tambora o la del Krakatoa en el siglo XIX no fueron eventos nuevos: habían tenido precedentes históricos. La erupción del volcán andino Huaynaputina en 1600 hizo que las cantidades de sulfatos inyectadas en la atmósfera se aproximaran al 75% de las descargadas por el Tambora, provocando durante 1601 el verano más frío en el hemisferio norte desde 1400 y el gélido inicio de un siglo, el XVII, en el que el rigor y la irregularidad del clima tuvieron una desbocada (y desastrosa) influencia en la historia humana; Parker, en su libro *Crisis global* (2013), escribe que «a mediados del siglo XVII, la Tierra sufrió las temperaturas más frías en más de un milenio». Fue la fase más pronunciada de la Pequeña Edad de Hielo, reforzada por una multiplicidad de erupciones volcánicas en el *cinturón de fuego del Pacífico*, como la de Monte Villarrica en el Chile de 1640.

Por aquellos años los «velos de polvo» en el cielo «hacían que el sol pareciera, o más pálido, o más rojo de lo habitual» (Parker, 2013); así lo constató un tendero de Sevilla al describir que en los seis primeros meses de 1649: «el sol no salió todo el tiempo [...] y si salió era pálido y amarillo, o demasiado rojo, que antes causaba espanto el verlo que consuelo». «En 1675 gran parte del hemisferio norte pasó *un año sin verano*», destaca Parker. Madame de Sevigné escribía a su hija que vivía en Provenza en aquel verano fallido: «hace un frío horrible, tenemos todas las chimeneas encendidas como tú, lo que sin duda resulta extraordinario», añadiendo que «al igual que tú, pensa-

mos que el comportamiento del sol y de las estaciones ha cambiado» (véase Parker, 2013).

Así pues, la crisis climática y humanitaria ocurrida entre 1815 y 1820, cuyo cénit se alcanzó en 1816-1817, no era algo original, sino que confirmaba más bien la vieja sentencia de que no hay *nada nuevo bajo el sol*. Pero en el caso concreto de la sobrevenida hace dos siglos, cabe una incómoda pregunta: ¿por qué no llegó a asociarse entonces con la erupción del Tambora? Es verdad que el volcán estaba a muchos miles de kilómetros de las tierras y de las gentes que sufrieron sus efectos crónicos (no así los agudos, que incidieron letalmente en las poblaciones próximas al Tambora). ¿Por qué nadie –o para ser más precisos, nadie relevante- ligó lo uno con lo otro?

Hubo diferentes teorías para explicar el cambio climático de aquellos años. «Algunos científicos», comenta Gribbin (1982), «echaron la culpa del mal tiempo a las manchas solares o a la ausencia de ellas; otros atribuyeron los sucesos de 1816 a una extensión de los témpanos de hielo del Ártico hacia el sur». Se dieron otras explicaciones, algunas de las cuales solo merecen el calificativo de peregrinas. Y sin embargo, décadas atrás de la erupción del Tambora y la crisis consiguiente, había sido propuesta una hipótesis que vinculaba ambos fenómenos. Su autor fue el científico, inventor y diplomático Benjamín Franklin. En una carta fechada en 1784 en París –donde residía como representante de los recién nacidos Estados Unidos de América- escribió (véase Gribbin, 1982) que:

“Durante varios de los meses de verano del año 1783, cuando los efectos caloríficos de los rayos del Sol en estas regiones septentrionales deberían de haber sido máximos, había una constante niebla sobre toda Europa y una gran parte de Norteamérica. Esta niebla era de naturaleza permanente; era seca, y parecía que los rayos del Sol no tenían poder para disiparla [...] De hecho, se volvían tan débiles al pasar a través de ella que, cuando se recogían en el foco de una lente, difícilmente quemaban un papel.”

Tras reconocer Franklin que, debido a esta peculiar niebla, «el efecto estival de calentamiento de la Tierra disminuyó en gran manera» y que, tras ese escasamente cálido verano, «el invierno de 1783-84 fue quizás más riguroso que ninguno de los que se habían dado en muchos años», añadió:

“La causa de esta niebla universal no se conoce todavía. Podría ser adventicia de la Tierra, meramente un humo procedente de la combustión por el fuego, [...] o podría ser la vasta humareda que durante largo tiempo continuó saliendo en verano del Hekla, en Islandia, y de ese otro volcán surgido del mar cerca de la isla, cuyo humo pudo ser dispersado por diversos vientos sobre la parte septentrional del mundo.”

Hoy sabemos que la erupción en 1783 de varios volcanes islandeses –el Eldgjá, el Laki y el Eyjafjallajökull- hicieron que en Islandia «tres cuartas partes del ganado muriera de hambre, seguidas por un cuarto de la población», como narra el físico y divulgador científico Spencer Weart (2003). «Una niebla peculiar atenuó durante meses la luz solar en Europa occidental», añade.

La carta de Franklin contenía, además, una recomendación que hubiera resultado muy útil para encarar más adecuadamente la crisis provocada por el Tambora. «Parece que vale la pena investigar», escribió Franklin, «si otros duros inviernos, registrados en la historia, fueron precedidos de nieblas de veranos semejantes y ampliamente extendidas». Planteaba indagar, consiguientemente, una doble correlación: por un lado la extraña neblina estival con la ocurrencia de los años más fríos, y de otro, la coincidencia de tal neblina con la actividad volcánica. Pues bien, tras la erupción del Tambora, «en muchos periódicos aparecían informes sobre el mal tiempo junto a otros que comentaban la existencia de grandes islas de cenizas volcánicas flotando en el Pacífico», escribe Gribbin (1982). «Si Franklin hubiera vivido todavía, seguro que habría puesto las cosas en su sitio», pero al no ser así, «hubo que esperar hasta la segunda mitad del siglo XIX para

que los científicos relacionaran ambas noticias como causa y efecto». Hasta que el Krakatoa lo mostró de forma inequívoca, ciertamente.

Enseñanzas de una pasada crisis climática

Hay algunas lecciones que de la crisis climática, alimenticia y humanitaria de hace doscientos años podemos extraer. Una primera enseñanza puede resumirse en dos cosas: falta de previsión y falta de reacción. Porque cuando se manifestó con toda su crudeza en 1816 y 1817, había suficientes evidencias históricas de que crisis más o menos semejantes se habían producido en el pasado precedidas de extrañas neblinas o calimas que difuminaban al Sol y amortiguaban sus rayos. Y al menos una hipótesis –la sugerida por Franklin- ligaba estas neblinas, de un lado, al enfriamiento del clima, y de otro, a las emisiones volcánicas. Ni una ni otra cosa se tuvieron en cuenta a la hora, tanto de prever la crisis de 1816-1817, como de reaccionar frente a la misma cuando sus primeros efectos empezaron a materializarse.

Una segunda enseñanza a retener consiste en que, si bien la erupción del Tambora fue un suceso agudo de carácter ciertamente catastrófico, se enmarcaba en un periodo de particular –de extraordinaria, podríamos muy bien decir- actividad volcánica. En el lustro comprendido entre 1811 y 1815 (hasta la erupción del volcán de la isla de Sumbawa), se produjeron varias grandes erupciones: Sabrina en las Azores (1811), La Soufrière en Saint Vincent (1812), Awu en las Célebes (1812), Vesubio en Italia (1813) y Mayon en Luzón (1814). Antes de la catástrofe del Tambora la atmósfera estaba ya cargada de polvo y aerosoles volcánicos, solo que el volcán indonesio –con su espectacular erupción, la más grande al menos de los últimos milenios- la cargó mucho más aún. Un episodio agudo, sí, pero inmerso en una secuencia previa de grandes erupciones y de una prolongada evolución climática hacia el enfriamiento. Es muy posible que el actual calentamiento global antropogénico se manifieste de manera semejante. De pronto en un lustro, en un año, incluso en una estación, provocado por

la variabilidad natural del clima o por algún otro efecto antrópico, se producirá de forma aparentemente sorpresiva un máximo térmico –o un mínimo pluviométrico, o probablemente ambas cosas a la vez- en múltiples regiones y con efectos presumiblemente devastadores.

Una tercera lección a memorizar es que una crisis climática no se comporta de forma uniforme y lineal, sino que semejante alteración alcanza a ser, por el contrario, irregular e imprevisible, y tiende a expresarse en fenómenos meteorológicos extremos. Por ejemplo, durante 1816, en Norteamérica no se produjo una simple caída de las temperaturas estivales; lo que sucedió fue que buena parte del verano (un verano acortado, eso sí) resultó razonablemente cálido, pero estuvo bruscamente interrumpido por olas de frío, extrañas en la estación estival. Además se dieron situaciones meteorológicas que, aún siendo normales en verano, alcanzaron extraordinaria violencia, como tormentas eléctricas, aguaceros y granizadas. O sea, ocurrió más o menos lo mismo de lo que indican las actuales previsiones sobre el cambio climático hechas por múltiples modelos y análisis científicos: intenso calentamiento –bien que irregular en el espacio y en el tiempo- junto a un fuerte incremento de los fenómenos meteorológicos extremos.

Cuarta enseñanza a retener. Da lo mismo que nos encontremos en un mundo aun no industrializado como a comienzos del siglo XIX, o en una civilización industrial globalizada, en el actual siglo XXI. La alimentación –y la actividad agraria que la provee- es igual de indispensable, y si bien disponemos hoy de posibilidades técnicas y económicas que en aquellos años no existían, conviene recordar que los aproximadamente 1.000 millones de humanos de 1817 se han convertido en los 7.700 millones de hoy. Y en nuestro tiempo, tan solo una treintena de especies de plantas suministran el 90% de la alimentación vegetal mundial, ocho especies aportan los dos tercios de la misma, y únicamente tres cereales –el arroz, el trigo y el maíz- cubren más de la mitad del total. Si un episodio agudo del actual cambio climático provocara el hundimiento simultáneo de las cosechas de estos tres

cereales –incluso de solo dos, el trigo y el arroz- las consecuencias serían ciertamente desastrosas. Vimos páginas atrás como la crisis en 1816-1817 provocó en París o en Nueva York subidas espectaculares del precio de los cereales que no volvieron a alcanzarse hasta muchas décadas después.

En una crisis contemporánea semejante los precios de cereales en los mercados mundiales se dispararían; todos los países importadores de cereal sufrirían un impacto traumático, pero en aquellos que fueran importadores, y pobres a la vez, el impacto sería demoledor. Hemos tenido ocasión de ver las *revueltas del pan* producidas a finales de la pasada década, cuando en diferentes países importadores de cereal, tras las espectaculares subidas del precio del trigo en 2008 y 2010 –esta última a consecuencia de una prolongada sequía y una ola de calor estival que provocó que se perdiera casi la mitad de la cosecha rusa-, se multiplicaron los actos de protesta. Si además esas malas cosechas se prolongaran, no un año ni dos, sino durante periodos más extensos con temperaturas y pluviometrías repetidamente desfavorables a consecuencia del calentamiento global, sus efectos económicos, sociales y políticos entrarían en la categoría –sin ninguna exageración- de lo catastrófico.

Una quinta lección a aprender consiste en la superposición durante el bienio de 1816-1817, en particular, de un cambio climático brusco de caída de las temperaturas –dentro de una evolución general al enfriamiento- con unas situaciones económicas, sociales y políticas gravemente dañadas –tanto en Europa como en Norteamérica- a consecuencia de las guerras. «En una Europa devastada por las últimas fases de las guerras napoleónicas, que habían terminado en 1815 con la batalla de Waterloo y el exilio de Napoleón en la isla de Santa Elena, la agricultura y la economía quedaron destrozadas por la meteorología en 1816», resume Gribbin (1983). No es preciso insistir en la gravedad de situaciones bélicas agudas o conflictos armados crónicos más o menos semejantes que pudieran superponerse a nuestro particular cambio climático contemporáneo.

La sexta y última enseñanza a tener en cuenta proviene de la amplia variedad –en intensidad y persistencia- de los efectos de aquella crisis climática de 1815-1820 sobre la población, la economía y la cohesión social, tanto de Europa como de Norteamérica: hambre, malnutrición, pobreza, mendicidad, revueltas sociales, represión policial y militar, emigración de refugiados climáticos, reemplazo de refugiados que emigran por otros que inmigran, etc. Todo lo que ocurrió en aquella crisis atmosférica aguda dentro de una fase climática más amplia y general de enfriamiento, es particularmente ilustrativo para nuestra época, dos siglos después. Y ¡atención!, volvamos a insistir en que todo ello es independiente de que aquel cambio climático general y el pico del mismo provocado por la actividad volcánica, fueran fenómenos enteramente naturales y con un sentido opuesto al calentamiento planetario inducido por nuestro impacto climático contemporáneo. Básicamente viene a dar lo mismo: las consecuencias finales –ya sean económicas, sociales o políticas- acaban siendo más o menos similares con independencia del origen humano o extrahumano del cambio climático, y del sentido hacia el enfriamiento o el calentamiento a que éste conduzca. Esto es lo que hoy sabemos.

Reflejos artísticos de las crisis climáticas decimonónicas

Pero volvamos al siglo XIX. Las crisis climáticas provocadas por las erupciones del Tambora y del Krakatoa tuvieron consecuencias no sólo en el conocimiento científico-natural, en la economía y en la situación social de múltiples países del hemisferio norte; también influyeron en manifestaciones artísticas de la época como la literatura o la pintura.

Hace dos siglos, en 1818, Mary Godwin Wollstonecraft –hija nada menos que de Mary Wollstonecraft, la autora de *Vindicación de los derechos de la mujer* (1793) y del filósofo William Godwin, autor de *Investigación sobre la justicia política* (1792)-, publicó anónimamente su relato *Frankenstein o el moderno Prometeo*. Mary, que fue aman-

te primero, y luego segunda mujer del poeta Percy Bysshe Shelley, «viajó en la primavera de 1816 a través de la cordillera del Jura hacia Ginebra», escribe Fagan (2016). «El viaje en coche de caballos fue terriblemente frío», añade este autor; se llevó a cabo bajo «grandes copos de nieve, espesos y veloces» como refirió la propia viajera. Mary y su amante se instalaron en una villa solitaria en la orilla sur del lago de Ginebra, donde recibieron a lord Byron y a una pareja de amigos más.

Su estancia fue deprimente. Hubo algunos días bonancibles, en los que remaron en el lago y mandaron un globo de aire caliente a Ginebra, a la otra parte del lago -con frases reivindicativas artísticas y políticas-, pero la mayor parte del tiempo llovió. «Los truenos estallaban de forma aterradora sobre nuestras cabezas», anotó Mary. Fue en ese contexto meteorológico particularmente frío y húmedo, en donde los visitantes británicos de Villa Diodati se reunían alrededor del fuego y contaban historias que inventaban o recreaban. La de Mary (Mary Shelley, tras su posterior casamiento con el poeta) se convirtió en un clásico: *Frankenstein* (1818), publicado en versión definitiva con una segunda introducción en 1831. Demos la palabra al prólogo de *Frankenstein* de 1818, redactado en nombre de Mary por el propio Shelley:

“Pasé el verano de 1816 en los alrededores de Ginebra. La temporada era fría y lluviosa, y por las noches nos agrupábamos en torno a la chimenea. Ocasionalmente nos divertíamos con historias alemanas de fantasmas, que casualmente caían en nuestras manos. Aquellas narraciones despertaban en nosotros un deseo juguetón de emularlas. Otros dos amigos [...] y yo nos comprometimos a escribir un cuento cada uno [...]. Sin embargo, el tiempo de repente mejoró, y mis dos amigos partieron de viaje hacia los Alpes donde olvidaron, en aquellos magníficos parajes, cualquier recuerdo de sus espectrales visiones. El relato que sigue es el único que se terminó.”

En realidad, *Frankenstein* no fue el único resultado literario del influjo del «año sin verano» en los veraneantes británicos del lago de

Ginebra. John Polidori elaboró el relato *El vampiro*, precursor del subgénero vampírico de tanta posterior repercusión novelística y cinematográfica. George Gordon, lord Byron, compuso igualmente su poema *Oscuridad*. El poema empezaba con un verso premonitorio: «tuve un sueño que no era en absoluto un sueño». Y a continuación narraba cómo «el fulgor del Sol se había extinguido», cómo «la Tierra helada se balanceaba ciega y ennegrecida en el aire sin Luna», y cómo «vino y se fue la mañana sin traer el día», inequívocas referencias a la crisis climática de 1816. Finalmente, expresaba un presagio que se convirtió ese año y el siguiente en realidad. «En la Tierra toda no había más que un pensamiento: el de la muerte», mientras que en sus habitantes humanos «la punzada del hambre se alimentaba de las entrañas». Como destaca Parker (2013), «las tres obras reflejan la desorientación y la desolación que incluso unas pocas semanas de cambio climático pueden provocar».

«El año sin verano se ha olvidado, pero sigue siendo una llamada de atención», escribe Fagan (2016). «Y nos dejó un importante legado: Frankenstein», concluye. Pero este legado literario –las desventuras del estudiante ginebrino Víctor Frankenstein y su criatura, diseñada por el primero en su *hybris* prometeica («la vida y la muerte me parecían fronteras imaginarias que yo sería el primero en romper con el fin de desparramar después un torrente de luz por nuestro tenebroso mundo», afirma Frankenstein en la obra), o la *Oscuridad* de Byron, no serían las únicas creaciones artísticas provocadas por la crisis climática volcánica del Tambora. «Un curioso resultado» de la misma», señala Gribbin (1982), «es bien conocido hoy a través del trabajo del gran pintor inglés Joseph M. W. Turner, que produjo alguna de sus mejores obras, llenas de color y extrañas luces, en los años posteriores a la erupción del Tambora». Gribbin añade que «la creación de estas pinturas tan llamativas, fue influida, según parece, por la extraordinaria iluminación que Turner observó en el mundo real de su tiempo».

En efecto, tras la erupción del Tambora, Turner efectuó múltiples viajes a la Europa continental. Particularmente importantes fueron los

de 1817 y 1819 con sus inigualables vistas de Venecia. Incluso su *Erupción del Vesubio*, fechada en 1817, cuadro en el que dominan abrumadoramente los colores grises, rojizos y anaranjados, no deja de resultar sugerente (como el resto de sus coetáneos, Turner ignoraba que un volcán estuviera detrás de los efectos ópticos atmosféricos de aquellos años). Es desde ese tiempo, como detalla Johnson (1991), cuando:

“En adelante, Turner concentró sus esfuerzos no tanto en dibujar los objetos y colorearlos como en pintar los efectos de la luz misma: su carácter traslúcido y su opacidad; sus manifestaciones en las nubes, el agua, la niebla, la bruma, la nieve y el vapor; y su capacidad de transformar, deslumbrar, ennoblecere, aterrorizar, explicar y maravillar.”

Décadas más tarde, la erupción del Krakatoa en 1883, indujo también otra obra pictórica hoy muy conocida: *El grito*, de Eduard Munch. Hay que destacar que, tras esta otra erupción indonésica, «muchas personas se maravillaron ante las espectaculares puestas de sol teñidas de verde y la aparición de una luna azul» (Gribbin, 1982); así, el poeta Alfred Tennyson, remarcó «el rojo sangre del cielo» en uno de sus poemas. Pero es *El grito* de Munch la obra artística más influida por aquellos atardeceres del Krakatoa. El pintor describió el origen de *El grito* en su *Diario*:

“Una tarde caminaba por un paseo, la ciudad quedaba a un lado y al fondo se veía el fiordo; me sentía cansado y enfermo. Me detuve y miré a lo lejos; el sol se acercaba a su ocaso y las nubes adquirían tonalidades de rojo sangre. Sentí el grito inmenso e infinito de la Naturaleza [...]. Así pinté este cuadro, pinté las nubes como si fuesen verdadera sangre; hasta el color gritaba de dolor. Así se realizó *El grito*.”

En el fiordo de Oslo, «en la orilla de Ekeberg, lugar en el que se sitúa materialmente la escena de *El grito*», describe el cineasta y

escritor Manuel Gutiérrez Aragón, «Munch trata de expresar una voz interna, un grito átono que resuena en las entrañas». Un grito por lo demás «que tiene su expresión en los colores rojoazulados y en las líneas sinuosas que configuran una obra en los bordes de lo artístico, donde la imagen se desnuda a sí misma». Y Gutiérrez Aragón (2013) se interroga:

“¿Qué tiene este cuadro para atraer de tal manera la atención del amante del arte, del turista presuroso y de los ladrones de cuadros? ¿Qué grito de miedo lanza esa boca abierta? ¿Qué terror hay en el aire para que el personaje se tenga que tapar los oídos?”

Concluyamos. Entre otras creaciones artísticas, la crisis climática de la segunda década del siglo XIX nos legó *Frankenstein*; la sobrevenida en la penúltima década de ese mismo siglo nos trajo *El grito*. Convendremos con el lector que, muy probablemente, *El moderno Prometeo* no sea la mejor novela del siglo XIX, ni el cuadro de Munch la mejor pintura de esa centuria. Pero sí son, seguramente, las obras decimonónicas más premonitorias del futuro.

Es sugerente –al menos para el autor de este libro- identificar la criatura (llamarla *monstruo* es denigrarla) creada por Víctor Frankenstein, «fabricada, ensamblada y dotada de calor vital» en palabras de Mary Shelley, -una creación hecha de retazos de seres humanos y que llegó a cobrar vida propia-, como la civilización industrial que empezaba a ver la luz en aquella época, una íntima combinación de seres humanos y prolongaciones exosomáticas de carácter mecánico (*Prometeo liberado*, además de un conocido poema de Shelley de 1819, fue el título que dio en 1969 el historiador David D. Landes a su clásico libro sobre la industrialización europea surgida a partir de 1750). *Un moderno Prometeo* sí, pero portador esta vez para los humanos, no del fuego del cielo, sino del calor generado por un carbón extraído de las profundidades de la tierra... En cuanto al origen de «ese grito átono que resuena en las entrañas», del cuadro de Munch, solo cabe

hacerlo provenir del conjunto de la naturaleza, pues era ella, según palabras del artista, quien emitía semejante grito «inmenso e infinito» que el propio Munch pretendió haber pintado...



Retrato de Goethe por el pintor J.H.W. Tischbein (sup.).

Dibujo del propio Goethe del Jardín de Schiller en Weimar, realizado en 1810 cuando este último había ya fallecido: puede comprobarse que, entre otras muchas cosas, Goethe era un notable dibujante (inf.).

- V -
**UNA ÚNICA CULTURA
ANTES DE EMPEZAR A ESCINDIRSE**

Los tiempos de una misma cultura

Volvamos ahora al inicio retrospectivo del que habíamos partido en el tercer capítulo. Dos siglos atrás, Europa no solo padecía las secuelas de una crisis climática y humanitaria (como se vio en el capítulo precedente) o comenzaba lo que –mirando hacia atrás– podemos considerar «el nacimiento del mundo moderno», o sea, la emersión de nuestra actual civilización industrial (como detallaremos en el próximo), sino que podía contemplar ambas cosas con la mirada de una cultura todavía única, no escindida en grandes ramas ni desmembrada en múltiples especialidades. El lustro 1815-20 representó la cúspide de ese *Zeitgeist*, de aquel *signo de los tiempos* que Goethe contrapuso a tiempos anteriores (y que retornarían como tiempos posteriores) en los que «todas las actividades se practicaban de forma aislada» y en donde «todo cuanto uno quiera imaginarse se movía en círculos cerrados». Por contra, durante aquellos años del siglo XIX, un gran número de contemporáneos, en palabras de Johnson (1991), «concebían el arte y la ciencia, la industria y la naturaleza como una continuidad creadora, y la búsqueda del saber como una actividad común, compartida por los químicos y los poetas, los pintores y los mecánicos, los inventores y los filósofos».

Hubo múltiples autores que de una forma o de otra buscaron en ellos mismos, o a través del influjo de otros, la integración y comunica-

ción entre ciencias y humanidades, incluidas en estas últimas, manifestaciones artísticas como la poesía, el dibujo o la pintura. Por ejemplo, uno de los fundadores de la química moderna, Humphry Davy, podría haber sido un gran poeta. «En sus cuadernos llenaba una página con las descripciones objetivas de sus experimentos, y en la siguiente ponía por escrito sus reacciones personales y sus emociones», observa la ensayista y biógrafa, Andrea Wulf (2015). «La capacidad de Davy para conferir al progreso científico una forma visible y sugestiva era parte de su enorme atracción, sobre todo a ojos de los artistas», expone Johnson (1991). De hecho, el poeta Samuel Coleridge le prometió admirado a Davy que estudiaría química, y cuando éste publicó su libro *Elementos de filosofía química* (1812), recopilación de diez de sus conferencias, uno de los primeros y más entusiastas lectores de esta obra fue el mismísimo Shelley. Se entiende el porqué; en una de ellas, Davy afirmaba con elocuencia que «la percepción de la verdad es un sentimiento casi tan simple como la percepción de la belleza y la genialidad de Newton, de Shakespeare, de Miguel Angel y de Haendel no distan mucho entre sí. La imaginación, al igual que la razón, es necesaria para la perfección de la mente filosófica».

Davy no fue un caso aislado: su discípulo, Michael Faraday, físico preeminente y, como veremos más adelante, inventor del motor eléctrico y de la primera dínamo en 1831, era un excelente dibujante y podría haberse ganado la vida como artista profesional. Humboldt, que se movía como pez en el agua por todas las ciencias de la naturaleza, fue ensalzado por el poeta Robert Southey como un hombre que conjuntaba sus vastos conocimientos con «una mirada de pintor y un sentimiento de poeta». Turner, que en algunas de sus pinturas dijo sentirse inspirado por la poesía de Shelley, se interesó por la óptica y al final de su vida seguía con gran atención el desarrollo de la fotografía. El compositor Hector Berlioz era un entendido en acústica, ciencia que aplicó a los instrumentos de orquesta. A veces, la traslación entre ciencia y arte, o entre arte y ciencia, se daba en la misma persona. Así, Goethe aprovechó su propia teoría sobre la *Urform*, la forma primige-

nia de todas las plantas que había propuesto en un ensayo botánico en 1790, para componer su poema *La metamorfosis de las plantas* de 1796. Y para su obra en prosa *Las afinidades electivas* de 1807, «una novela sobre el matrimonio y el amor», señala Wulf (2015), «escogió como título un término científico contemporáneo que describía la tendencia de determinados elementos químicos a combinarse». Todavía en 1830, un Goethe ya octogenario seguía mostrando un vivo interés por el desarrollo científico, incluso mayor al que prestaba a la actualidad social y política. Durante ese año estuvo mucho más pendiente de las noticias que le llegaban desde París sobre la entonces conocida como «la controversia de la Academia de París» (una encendida polémica entre fijistas y transformistas que tenía como paladines a zoólogos como Georges Cuvier y Étienne Geoffroy Saint-Hilaire) que por la caída de la dinastía borbónica producida en Francia es esas mismas fechas (véase Smith, 1975).

Una democracia del saber

Tras el frenesí sanguinario del Terror y la deriva dictatorial del bonapartismo que habían cercenado en gran medida los ideales de *liberté, égalité et fraternité* de la Revolución Francesa, y una vez que la reacción conservadora cuando no absolutista se hubo adueñado del conjunto de Europa, el ejercicio y difusión de las ciencias y las artes (incluyendo en éstas a las *artes prácticas*, la tecnología) sobrevivieron como uno de los pocos espacios democráticos en la segunda y tercera década del siglo XIX. «Era posible que una élite privilegiada gobernara en Westminster, pero el mundo del saber avanzado era una democracia», afirma refiriéndose a la Gran Bretaña de entonces Johnson (1991). Y semejante democracia, como este autor destaca, no solo alcanzaba a los estrictos protagonistas de ese «saber avanzado» (científicos, técnicos, humanistas, artistas), sino que se extendía hasta un público mucho mayor:

“Aún era posible que un hombre relativamente bien educado e incluso una mujer –un manual de química había sido escrito específicamente para interesar a las damas- conocieran los más recientes desarrollos científicos, y que un ingeniero como Stephenson, que carecía de educación, trabajara en las fronteras de la tecnología junto a científicos como Davy.”

El mayoritario talante democrático en la práctica de las ciencias y las artes de aquellos años se reflejaba en múltiples ejemplos. Todos los sectores sociales que habían sido excluidos de las universidades clásicas –aquellas personas que como señalábamos en el capítulo tercero eran escasamente letradas, económicamente pobres o simplemente mujeres, o sea, la inmensa mayoría de la población- encontraron un inesperado espacio convivencial con aquellas otras, éstas sí privilegiadas, a las que no se había excluido de la educación reglada superior. El ejercicio de las ciencias, las técnicas y las artes hizo así de mecanismo igualador que contrarrestaba –al menos hasta cierto punto- las enormes diferencias de educación, género o clase social que en la época seguían existiendo.

Un ejemplo en que se daba la habitual, de otro lado, ligazón entre pobreza y falta de estudios, fue el caso de quien sería un físico insigne –uno de los mayores sin duda del siglo XIX- al que ya hemos hecho referencia: Michael Faraday. Hijo de un herrero y una campesina, la única enseñanza que recibió fue la impartida por una escuela para pobres a la que asistió unos cuantos años. «Mi educación fue de lo más corriente, consistiendo poco más que en los rudimentos de la lectura, la escritura y la aritmética en una escuela vulgar y corriente», escribiría años más tarde (Parra, 2012). Se puso a trabajar tempranamente, primero como chico de recados en una librería y luego como aprendiz de encuadernador en la trastienda, lo que le daba ocasión para leer las obras que encuadernaba. Así cayó en sus manos *Conversaciones sobre química principalmente destinadas para el sexo femenino*, el libro de Jane Marcet –ilustrado con dibujos de la propia autora- al que Johnson hacía referencia en la cita anterior y cuya segunda edición

se publicó en 1811. Tras leerlo, Faraday quedó entusiasmado por la química y consiguió asistir –gracias a unas entradas que le regaló un benefactor- a la última serie de conferencias que Davy impartió en 1812. Encuadernó sus apuntes de esas clases ilustrándolos con excelentes dibujos y diagramas –386 páginas en total- y se los hizo llegar seguidamente a Davy quien, impresionado, lo empleó como ayudante de laboratorio y luego como ayuda de cámara en sus viajes.

No sólo las diferencias de clase social podían llegar a ser compensadas (con suerte y bajo circunstancias favorables, claro está) por aquella *democracia del saber*, sino también otras discriminaciones de una enjundia todavía mayor: las que segregaban a las mujeres, por el hecho de serlo, de cualquier ejercicio intelectual relevante. El caso de Mary Fairfax (luego Somerville) resulta en esto esclarecedor. En las antípodas de Faraday, Mary no era pobre sino hija de un almirante –el almirante Fairfax-, si bien no aprendió a leer hasta los 11 años, haciéndolo además, bastante mal. «Pero [...] era una apasionada y minuciosa observadora de la naturaleza; coleccionaba fósiles y piedras y se las arregló para conseguir un globo terráqueo; aprendió sola latín y después griego, se convirtió en una pianista muy buena [...], podía afinar su propio piano y reparar las cuerdas rotas, y descubrió por ella misma el álgebra y la geometría» (Johnson, 1991). Llegada ahí, el almirante Fairfax intentó convencer a su mujer para detener la educación autodidacta de su hija, aduciendo que un conocido suyo se volvió loco tratando de dominar (¡y no era mujer!) el cálculo y la geometría..., «con lo que un día de estos veremos a Mary con una camisa de fuerza» (Somerville, 1873).

Por supuesto, Mary continuó. Con el tiempo se convirtió en una aventajada pintora y en una modista que diseñaba y cosía sus vestidos, incluidos los de fiesta. Casada en segundas nupcias con el doctor William Somerville, adoptó su apellido y con él publicó la traducción del *Tratado de mecánica celeste* de Laplace, con explicaciones propias, titulada *La mecánica de los cielos* (1831), obra alabada por el astrónomo John Herschel y que fue un gran éxito de ventas. Años después, en

1848, publicó *Geografía física*, libro que sería altamente valorado por el principal geólogo británico, Charles Lyell. Lyell y Herschel representan, por consiguiente, ejemplos fehacientes del reconocimiento que llegó a recibir una mujer –pese a serlo- por dos de las mayores figuras científicas de su época.

Respecto a esto último, conviene resaltar que los científicos solían ser (no siempre, es cierto, pero sí con frecuencia) menos esclavos de los prejuicios sexistas que practicantes de las humanidades como los poetas. Byron, por ejemplo, llamaba despreciativamente a su mujer, Annabella Milbanke, «la princesa de los paralelogramos» (la genética se vengó de él haciendo que la hija de ambos, Ada Byron, heredara con creces el talento matemático de su madre convirtiéndose en ayudante de Charles Babbage, el creador de los dos primeros protoordenadores mecánicos de la historia; alguien que, por cierto, consideraba que a igualdad de condiciones las mujeres eran mejores matemáticas que los hombres). Otro ejemplo de reconocimiento científico de una mujer por parte de sus colegas más sobresalientes fue el de Marie-Sophie Germain, matemática que con el seudónimo de *monsieur* Le Blanc mantuvo una correspondencia de muy alto nivel con el gran matemático Carl Friedrich Gauss. Cuando éste se enteró de que el tal Le Blanc era en realidad una mujer, le escribió una carta (Rufián, 2012) en la que decía:

“El gusto por los misterios de los números es raro [...] Pero cuando una mujer, que a causa de su sexo es víctima de nuestras costumbres y prejuicios, supera estos impedimentos y penetra en lo más profundo, es indudable que está dotada de un notabilísimo coraje, de un extraordinario talento y de un genio superior.”

Un tercer grupo de personas que llegaron también a ser amplia, si bien no totalmente, aceptadas por aquella «democracia del saber» fueron los iletrados, particularmente numerosos en el campo de las artes prácticas, la tecnología. En su *Vidas de ingenieros* (1861), Samuel

Smiles –uno de los primeros biógrafos e historiadores de la tecnología- llamó la atención sobre el hecho de que «una de las cosas más notables de la mecánica en Inglaterra es que sus principales logros se han originado, no en los filósofos naturales ni en los matemáticos, sino en personas de humilde posición social, la mayoría autodidactas». Los ejemplos son efectivamente numerosos. Thomas Telford (quien construyó los canales y caminos más modernos de Gran Bretaña) fue originalmente albañil; Henry Maudsley (que revolucionó la fabricación de máquinas-herramientas), barrenero y herrero; Joseph Clement (quien fabricó las piezas de las máquinas de computación de Babbage), obrero de fragua; Joseph Bramah (inventor de la primera cerradura patentada), aprendiz de carpintero y de herrero; James Fox (coinventor de la máquina cepilladora), pinche de cocina; William Fairbairn (constructor de las ruedas hidráulicas más perfeccionadas), peón agrícola; Richard Roberts -el creador de un telar mecánico y de la máquina automática de hilado- había comenzado como jornalero en una cantera, etc.

Pero fue seguramente George Stephenson, diseñador y constructor de máquinas de vapor, locomotoras y la primera línea férrea del mundo, el caso más ilustrativo de todo este último grupo humano. Había sido en su adolescencia pastor de vacas y luego obrero industrial. A los 18 años, estando a cargo de una máquina de vapor utilizada para bombear agua, aún no sabía leer ni escribir. A partir de 1811 aprendió ambas cosas y mandó a su hijo Robert (que más adelante seguiría los pasos de su padre fabricando locomotoras) a la escuela de Newcastle. Todos los días Robert recorría diez millas subido a un asno para ir a esta escuela y cuando volvía enseñaba a su padre por la noche lo que había aprendido durante el día; con el tiempo, hijo y padre leyeron lo que pudieron encontrar sobre ciencia y tecnología. Ayudado por Robert, George construyó en esa época una treintena de máquinas de vapor y comenzaron a fabricar locomotoras: «no hubo dos máquinas iguales entre las docenas que George y su hijo Robert fabricaron, y cada una era más potente que la anterior», señala Johnson (1991).

Ambos dirigieron la construcción de la primera línea férrea del mundo, entre Stockton y Darlington (1825) y la primera destinada al transporte de viajeros, entre Liverpool y Manchester (1830). Robert diseñó durante esos mismos años locomotoras que se hicieron célebres, como la *Lancashire Witch* en 1828, la *Rocket* en 1829 y la *Planet* en 1830, las mejores locomotoras de su generación.

La formación científica de la opinión pública

Quizás por su voluntad (ya fuera explícita o implícita) de querer integrar a personas discriminadas por su escaso nivel educativo, su condición femenina o su pobreza de ingresos, pero que habían demostrado su destreza intelectual, la «democracia del saber» de estas primeras décadas del siglo XIX mostró de forma generalizada un particular interés por la divulgación científica y técnica, por hacer posible una adecuada formación de la opinión pública en estas materias. El biógrafo e historiador Richard Holmes (2008) precisa:

“La revolución científica de finales del siglo XVII había promulgado una forma de conocimiento privada, elitista y especializada. Su *lingua franca* era el latín y su moneda de cambio las matemáticas. Su público –aunque internacional-, lo constituía un pequeño círculo de sabios y eruditos. La ciencia romántica, por el contrario, tenía un nuevo compromiso: el de explicar, educar y comunicar al gran público.

Esta fue la primera gran época de conferencias científicas públicas, de las demostraciones del trabajo en los laboratorios y de los libros divulgativos, a menudo escritos por mujeres.”

En Inglaterra, Davy abrió el camino. Entre 1802 y 1812 impartió todos los años cursos de introducción a la química, que incluyeron sucesivamente temáticas como la mineralogía, la geología, la electricidad o la química aplicada a la agricultura. Su éxito fue enorme; acudían cientos de personas incluyendo damas de la alta sociedad, y se

ganó la fama de ser el mejor conferenciante europeo en temas científicos. Varios lustros más tarde, en Berlín durante 1827-1828, Humboldt –deseoso de cambiar el carácter provinciano de la capital de Prusia y contrarrestar el influjo de la filosofía idealista alemana- dictó un total de 61 conferencias en la Universidad de Berlín, creada en 1809 por su hermano, el filólogo, humanista y diplomático Wilhelm von Humboldt. Con el propósito de llegar a un público todavía más amplio y diverso, Alexander impartió además 16 conferencias en la *Singakademie* –la Academia de Canto berlinesa-, local que permitía la asistencia de centenares de oyentes de todas las clases sociales.

Estos programas de conferencias se manifestaron particularmente efectivos para establecer puentes entre ciencias y humanidades (modalidades artísticas incluidas), ciencias y artes prácticas, ciencias y cultura en general. Coleridge escribió que asistía a las conferencias en Londres de Davy «para aumentar mi reserva de metáforas», y el compositor Hector Berlioz debió a las conferencias impartidas por el físico y químico Gay-Lussac el interés por las ciencias de la naturaleza que mantendría durante toda su vida. El éxito entre el público femenino resultó ser espectacular: las mujeres, imposibilitadas de asistir a las clases universitarias, encontraron en las sesiones de conferencias un sustituto mucho más atrayente. Davy recibió de ellas múltiples poemas, y según escribió en una carta Fanny Mendelssohn-Bartholdy –hermana de Felix y también consumada música-, en las conferencias de Humboldt las mujeres podían por fin «escuchar una palabra inteligente». En Inglaterra, Michael Faraday siguió las huellas de Davy también como conferenciante. En 1825 inauguró sus conferencias vespertinas de los viernes, y en 1827 sus conferencias de Navidad para jóvenes (*Christmas Lectures*), que repetidas anualmente llegaron a reunir hasta 800 oyentes.

Lo que había detrás de todos estos esfuerzos de divulgación –hechos por señeras figuras como Davy, Faraday, Gay-Lussac o Humboldt- era su convicción de que el mayor garante del desarrollo científico y tecnológico era el interés –incluso la pasión- del público por la

ciencia y la tecnología. Esta divulgación científica y técnica –junto a la difusión de las artes y las humanidades en general- facilitaría, además del apoyo de una opinión pública formada en tales materias, la multiplicación de ciudadanos cultivados y críticos en línea con lo que la Ilustración había intentado conseguir en el siglo precedente y que solo lo había logrado en limitada medida. Es de destacar, por cierto, que una de las primeras utilizaciones del término *scientist* (cientista, científico) fue hecha en una reseña del libro de una mujer, el de Mary Somerville, *Sobre la conexión de las ciencias físicas*, obra aparecida en 1834 en una edición dirigida al gran público. La reseña estaba escrita por William Whewell, quien había propuesto dicho término en la reunión de 1833 de la recién creada *British Association for the Advancement of Science*. «El progreso de la ciencia moderna», afirmaba por su parte Somerville en ese libro, «ha sido extraordinario por su tendencia a simplificar las leyes de la naturaleza y a unir las ramas separadas mediante principios generales». El *Zeitgeist* de la época seguía en gran medida presente...

Escisión progresiva aunque no total

Ahora bien, aquella general fluidez comunicativa entre científicos, técnicos, humanistas y artistas –miembros que se sentían todos de una misma cultura-, ese respeto y comunicación mutua (causa y efecto, a la vez, de un talante nuevo ampliamente democrático), y aquel deseo de cautivar a la opinión pública (más allá de los intereses propios de cada autor) se fue desdibujando conforme avanzaba el siglo XIX. «Floreció durante relativamente poco tiempo, quizás dos generaciones», puntualiza Holmes (2008), «pero tuvo consecuencias duraderas, hizo concebir esperanzas y suscitó cuestiones todavía vigentes». Johnson afirma, por su parte, que «mientras en 1815, un poeta, un científico y un pintor hablaban el mismo idioma [...], en 1830 era cada vez más difícil que se entendiesen», añadiendo que «comenzaba la lamentable bifurcación de las dos culturas»; una bifurcación que se extendería hasta llegar a la radical incomunicación denunciada a

mediados del siglo XX por Snow. En 1831, el poeta William Wordsworth describía en una carta la impresión que le había causado su último encuentro con Davy. «Sus investigaciones científicas», relataba, «han llevado su mente a un curso por el que yo no puedo seguirlo, y las han apartado proporcionalmente de los objetos con los cuales yo estaba más familiarizado» (Johnson, 1991).

Pero pese a este creciente divorcio entre ciencias y humanidades –y especialmente entre las distintas bellas artes y las ciencias naturales- conforme fue avanzando el siglo XIX, hubo excepciones que siguieron manteniendo, bien que más débilmente, el nexo entre unas y otras. El zoólogo Ernst Haeckel fue una de esas excepciones. En su juventud había dudado si dedicarse a la zoología o la pintura. Cuando se decantó por la primera, acompañó sus estudios faunísticos –como el dedicado a los radiolarios- con excelentes dibujos y pinturas. Muchos años más tarde, a final del siglo XIX, Haeckel comenzó a publicar sus *Formas artísticas de la Naturaleza*, una colección de ilustraciones comentadas de organismos (la mayoría de ellos microscópicos) que el zoólogo-pintor brindaba a los artistas de distintas modalidades para que las utilizaran como motivos naturales a los que imitar: influyeron grandemente en el *Art Nouveau* de esa época.

En 1900 –el último año del siglo XIX por más que fuera común, al igual que sucedió con el año 2000, considerarlo el primer año del nuevo siglo- se inauguró la Exposición Universal de París. Los 50 millones de visitantes que recibió a lo largo del año (sí, cincuenta millones), pasaron por una monumental puerta metálica coronada por una estatua de seis metros de altura, obra del escultor Paul Moreau-Vauthier. Era conocida como *La Parisienne*, una rolliza imagen femenina que pretendía reflejar a la mujer contemporánea: «monstruosa, aunque extrañamente profética», en palabras del historiador Philipp Blom (2008), que fue muy contestada por su fealdad. Pero el resto de la puerta monumental había sido diseñada por el arquitecto René Binet, que en una carta dirigida a Haeckel en marzo del año anterior le confesaba que «toda la puerta –desde el detalle más pequeño hasta el di-

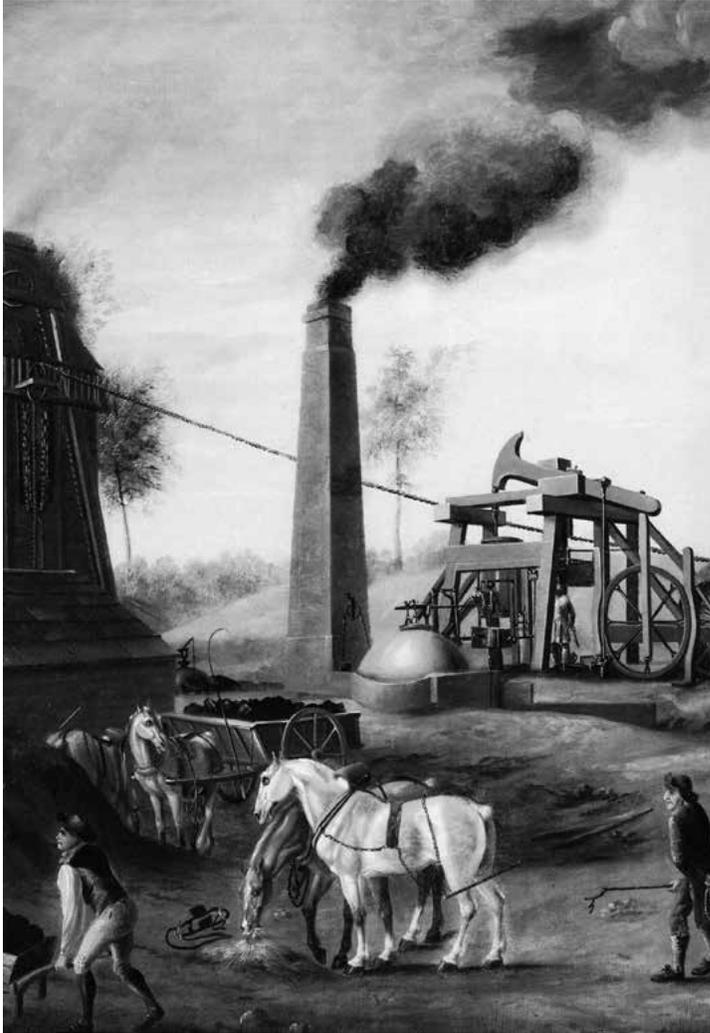
seño general- está inspirada en sus estudios» (Wulf, 2015). El mismo Haeckel atravesó esa enorme puerta inspirada en las formas de sus organismos marinos cuando visitó la Exposición. Las conexiones entre ciencia natural y arte –aunque muy debilitadas- no se habían extinguido, pues, al término del siglo XIX.

Fragmentación e incomunicación

Estas excepciones no invalidaron lo que constituía la tendencia general, o sea, la separación progresiva entre ciencias y humanidades, así como la creciente fragmentación interna dentro de todas las grandes ramas dissociadas del saber: las ciencias naturales, las ciencias sociales, los estudios humanísticos, las bellas artes y las artes prácticas. La especialización, la superespecialización (incluso la hiperespecialización) crecían en ellas dando origen a unos cada vez más numerosos especialistas; «esas gentes», según una mordaz opinión recogida por Wright (2004), «que saben cada vez más de cada vez menos, hasta acabar sabiéndolo todo acerca de nada».

El énfasis en la inclusión creciente de nuevas disciplinas y subdisciplinas en los estudios reglados universitarios («estudio de las partes»), y el mucho menor interés en las interacciones de todas esas disciplinas y subdisciplinas («estudio de las relaciones entre las partes»), condujo al aislamiento y a la indiferencia –cuando no a la incompreensión- entre las distintas áreas y subáreas del saber. Cada facultad, cada rama, cada cátedra, cada profesor, insistía mayormente en las diferencias que le separaban de otros colegas, otras cátedras, otras escuelas y facultades, que no en las similitudes que los unían o las interconexiones que los aproximaban. El acelerado proceso de segregación entre los grandes ámbitos de la creación humana (ciencias, artes, humanidades) y de fragmentación progresiva en cada uno de ellos, comenzado en el segundo tercio y consolidado en el tercer tercio del siglo XIX, condujo, ya en el siglo XX, a la incomunicación general que Snow (1964) denunciaría. Un hecho que ha resultado grave, porque

–en eso Snow era tajante- tal escisión cultural «nos lleva a interpretar el pasado erróneamente, a juzgar mal el presente y a negar nuestras esperanzas para el futuro». Y así, el conocimiento y difusión de problemáticas como el cambio global antropocénico –temática que desborda irremediabilmente una especialidad, una disciplina, una determinada área del saber- se han visto gravemente afectadas.



Primitiva máquina de vapor empleada para extraer agua de las minas en que se obtenía la que se convertiría en la principal fuente energética de la Revolución industrial británica: el carbón.

- VI - LA EMERSIÓN DE LA CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL

Novedades tecnológicas de hace doscientos años

Dos innovaciones surgidas dos siglos atrás nos posibilitarán enlazar este capítulo con los inmediatamente anteriores: con el capítulo cuarto, que hacía referencia a la crisis climática provocada por la erupción del Tambora en 1815, y con el capítulo quinto, centrado en mostrar cómo en aquellos años diferentes inventores, con muy diferente nivel educativo, podían competir igualitariamente a la hora del diseño de un nuevo artilugio técnico. Esas dos innovaciones fueron, respectivamente, el protovelocípedo creado por Karl von Drais y las dos lámparas de seguridad construidas por el químico Humphry Davy y el mecánico George Stephenson.

Junto a otras muchas consecuencias, el cénit de la crisis climática, alimenticia y humanitaria alcanzado en 1816-1817 fue el origen directo de una invención tecnológica: la *draisina* o *draisiana*, biciclo de empujar, antecesor del velocípedo y precursor de la bicicleta. El nombre original de *draisiana* provenía de su inventor, Karl von Drais, quien construyó la primera unidad en junio de 1817 y la patentó en 1818: era de madera, con ruedas de hierro y no tenía ni pedales ni freno. «Llevaba una almohadilla en la parte delantera del cuadro para que el que montaba pudiera apoyarse hacia adelante y obtener el máximo impulso de sus patadas; la primitiva barra de dirección tenía una im-

portancia adicional por el hecho de que no había freno», señalan los historiadores de la tecnología T.K. Dervy y Trevor I. Williams (1960). Y la causa de que apareciera a mediados de 1817, y no en cualquier otra fecha anterior o posterior, era muy simple: en los primeros meses de ese año –tal y como ya hemos comentado páginas atrás- la carestía alimenticia llegó a su punto álgido en la Alemania meridional tras las desastrosas cosechas del «año sin verano» de 1816. En Mannheim –la ciudad en que vivía Drais-, como en otros muchos lugares, los caballos fueron sacrificados para que sirvieran de alimento frente a la hambruna generalizada, y tanto los jinetes como los carruajes se quedaron sin caballerías. La draisiana del barón alemán le permitió dar largos paseos, más o menos al doble de la velocidad que alcanzaba caminando.

La aparición de la draisiana –que muchas décadas después y tras serle aplicada un buen número de pequeños avances desembocó en la bicicleta- fue, en cierto sentido, una anomalía del proceso histórico general de uso humano de la energía. Porque no llegar a aprovechar las nuevas fuentes de energía exosomática (cuyo último ejemplo era el carbón y el vapor), dejar de utilizar la energía exosomática proveniente del metabolismo animal (caballerías) y volver a emplear la energía endosomática humana (velocípedo), parecía un entero retroceso; para muchos solo comprensible en razón de la gravedad que alcanzó la crisis climática de hace doscientos años. El protovelocípedo de Drais no suscitó particular interés; incluso sirvió de motivo de bur-las, chistes y chascarrillos a costa del barón, un aristócrata aficionado a las artes prácticas que creó otros inventos como una versión propia de máquina de escribir.

En cambio, otra invención estaba siendo seguida en Gran Bre-taña durante idénticas fechas con el máximo interés: una lámpara de seguridad que iluminara el trabajo de los mineros en las cada vez más profundas minas de carbón y que no provocara las repetidas (y luctuo-sas) explosiones del grisú acumulado en las galerías. La situación era grave, y no ya para los mineros –cuyas condiciones de trabajo solían

ser malas, cuando no pésimas-, sino para la minería del carbón, los propietarios de las minas y el conjunto de la industria británica. John-son (1991), explica las razones de dicha gravedad:

“La industria de carbón en Gran Bretaña era ya sin duda la principal industria del mundo, y procuraba la energía necesaria para sostener la primera fase de la revolución industrial y un comercio de exportación de rápido crecimiento, que alimentaba la difusión de las máquinas de vapor en todo el mundo. Casi todas las semanas se inauguraban nuevas minas y se profundizaban cada vez más los pozos principales. Cuanto más profundo se trabajaba, mayor era el riesgo de explosiones y menor la probabilidad de que alguien sobreviviese. ¿Podía permitirse que este problema impusiera un freno a toda la era industrial?”

Dos figuras de la ciencia y la tecnología del momento se pusie-ron simultáneamente a trabajar para conseguir una lámpara de segu-ridad ligera para poderla bajar hasta las galerías más profundas, y lo suficientemente segura como para no provocar una explosión mien-tras las iluminaba. Eran el químico Humphry Davy y el técnico mecá-nico George Stephenson: a finales de 1815, ambos presentaron sus respectivas lámparas. Y era ciertamente un signo de la época «que un ingeniero como Stephenson, que carecía de educación, trabajara en las fronteras de la tecnología junto a científicos como Davy», en pala-bras ya citadas de Johnson (1991).

En 1817 Davy ganó la recompensa oficial de 2.000 libras ester-linas, aunque los patrocinadores de Stephenson, disconformes con la decisión oficial, entregaron a éste otras 1.000 libras reunidas por suscripción pública. La polémica sobre la autoría de la invención de la mejor lámpara de seguridad entre Davy y Stephenson fue agría, con acusaciones y descalificaciones por ambos lados. Ha sido habitual, después, examinar tal polémica desde una determinada perspectiva: la de la superioridad de la ciencia teórica y experimental –en este caso la química representada por Davy- sobre una mecánica que tenía mu-cho más de artesanía que de ingeniería, de la que Stephenson era un

buen exponente. Así, Holmes (2008) destaca que Davy, «en vez de comenzar con la lámpara, como habría hecho cualquier otro inventor, empezó con el gas». En consecuencia «el primer paso» que Davy se fijó «no era la tecnología de la lámpara, sino un análisis completo del gas y sus propiedades». Determinó así que el grisú estaba compuesto de tetrahidruro de carbono (CH_4 , metano) y estableció sus condiciones de inflamabilidad e ignición. Después de meses de observación y frenético trabajo, Davy, junto con su ayudante Faraday y el fabricante de instrumental John Newman, tras haber desechado diferentes prototipos, diseñó su lámpara de malla, en la que este material había sustituido al vidrio y al recubrimiento de agujeros que presentaba por el contrario la lámpara de Stephenson.

Mientras Davy contaba con los recursos del laboratorio en Londres de la *Royal Institution*, Stephenson discutía su lámpara en una taberna con el mejor hojalatero de Newcastle; muchos años después aún se conservaba un papel con los dibujos de su lámpara manchados de cerveza. En 1818 Davy hizo un brillante relato del derrotero que habían seguido sus investigaciones en un ensayo: *Sobre la lámpara de seguridad para las minas del carbón, con algunas investigaciones sobre el fuego*, que está considerada «una de las obras maestras en prosa del Romanticismo inglés» (Holmes, 2008). Pero en la misma, Davy recreó *a posteriori* el proceso realmente ocurrido y «transformó su trabajo febril y a menudo caótico en el laboratorio [...] en una pieza clásica de la narración científica», a fin de que encajara con sus presupuestos teóricos. «Empleamos en cada paso la experimentación y la inducción», afirmó Davy en ella, intentando erradicar cualquier involucración del azar o de la buena suerte en la creación de su lámpara, y de esta manera proclamar la superioridad de la ciencia frente a cualquier otra aproximación.

La fama de la lámpara Davy se extendió desde Gran Bretaña hasta los distritos mineros de la Europa continental, desde Alsacia hasta Silesia. El zar de Rusia Alejandro I «le remitió un enorme jarrón de plata, con el dios del fuego gimiendo sobre su antorcha apagada»,

relata Holmes (2008). Y sin embargo, no está muy claro cuál de las dos lámparas era más segura. «No se conocen casos de lámparas de Stephenson que hayan funcionado mal», indica Johnson (1991). «En cambio», añade, «el 18 de enero de 1825 una lámpara Davy provocó una explosión que se cobró la vida de 24 hombres y niños. Pero para ese entonces ya se había atribuido universalmente a Davy la solución del problema». Por lo demás, y como Holmes (2008) destaca, «Davy no hizo gala de ninguna generosidad profesional hacia Stephenson. Por encima de todo, mostró un deseo impulsivo de ser visto como único salvador de los mineros».

Fuera como fuera, con la lámpara de Davy o con la de Stephenson, a partir de 1817 quedó claro que las minas de carbón podían cada vez ser más profundas y la producción carbonífera cada vez mayor: con ello quedaba asegurada «la energía necesaria para sostener la primera fase de la revolución industrial», en expresión de Johnson (1991). Estas invenciones, y no el velocípedo de Drais, sí que formaron parte de la línea principal que siguió el desarrollo de la tecnología a lo largo del siglo XIX: la protagonizada por la expansión de una determinada energía exosomática, el carbón, y de una tecnología, el vapor, en sus múltiples aplicaciones.

Dos máquinas y una revolución

En 1837, un decenio después de pregonar que «una nueva revolución se ha operado en las naciones europeas» (véase el capítulo tercero), Blanqui precisaba el origen y alcance de esa «nueva revolución»:

“Mientras que la revolución francesa realizaba sus experimentos en un volcán, Inglaterra realizaba los suyos en el dominio de la industria [...]. Dos máquinas, en lo sucesivo inmortales, la de vapor y la de hilar, transformaban el sistema comercial y originaban casi al mismo tiempo productos materiales y problemas sociales desconocidos para nuestros padres.”

«Dos máquinas inmortales, la de vapor y la de hilar».... ¿Cómo habían surgido y evolucionado tales máquinas, según Blanqui las creaciones mecánicas referentes del nuevo industrialismo? Desde luego no de repente, sino que fueron conformándose a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y las décadas iniciales del XIX. Veamos el primer caso, el de la máquina de hilar. Como el historiador de la tecnología Arnold Pacey (1980) detalla:

“Antes de 1760, la hilatura había sido un cuello de botella en todas las industrias textiles. Hacía falta la dedicación completa de cinco o seis hiladores para mantener abastecido de hilo a un telar, y la producción de ropa solo podía aumentarse si la hilatura se aceleraba de alguna manera.”

Si ya con antelación a 1760, John Wyatt y Lewis Paul habían diseñado varias variantes progresivamente mejoradas de máquina de hilar, fue James Hargreaves en la década de los 60 quien creó la que sería conocida como *spinning Jenny* (acabada en 1768). Ahora bien, se trataba todavía de una máquina de hilar movida a mano; fue Richard Arkwright quien al año siguiente patentó la primera máquina hiladora de propulsión exosomática: inicialmente se nutría de la energía metabólica de media docena de caballos que movían una rueda de eje horizontal, pero a partir de 1771 la energía hidráulica pasó a mover su *water-frame*. A su vez, Samuel Crompton elaboró una máquina hiladora (terminada en 1779) que aprovechaba parte de la de Hargreaves y de la de Arkwright, máquina que se denominó usualmente *mule* por su carácter híbrido y la imposibilidad consiguiente de patentarla.

«Un problema fundamental, que absorbió muchos años de trabajo», explican Derry y Williams (1960), «fue el hacer que la máquina de hilar intermitente o *mule* trabajara de forma completamente automática». Tras diferentes intentos con éxito solo parcial, Richard Roberts patentó en 1830 una máquina de hilar enteramente automática, la *self-acting machine* o selfactina. En cuanto a la penetración en la hilatura de las máquinas de vapor, en 1785 se utilizaron ya el carbón

y el vapor en una primera fábrica de hilado radicada en Papplewick, y a partir de entonces la aplicación del vapor a la hilatura creció ostensiblemente en la industria textil británica. Y no sólo británica: entre 1818 y 1820 despegó la industria textil en Bélgica, al otro lado del Canal, gracias también al empleo del vapor. Se trataba sin embargo de una excepción; la hilatura europea continental siguió –y durante mucho tiempo- dependiendo mayoritariamente del agua y no del carbón.

La evolución a lo largo del siglo XVIII de la máquina de vapor, el artilugio que hizo posible toda esa multiplicación productiva de la hilatura, se inició con la *máquina atmosférica* de Thomas Newcomen, la primera máquina de vapor funcional –elevaba el agua de las galerías mineras-, que empezó a dar servicio en 1712 (había habido precedentes, como la llamada *El amigo del minero* de Thomas Savery, pero la de Newcomen fue la única que prosperó). No utilizaba vapor a alta presión; contaba solo con la presión atmosférica, lo que limitaba grandemente la profundidad a la que podía extraer agua, si bien se hacía más fácil por ello su fabricación. Como el biólogo y experto en medio ambiente Ricardo Almenar escribió hace algunos años (Almenar, 1991):

“La primera máquina de vapor efectiva, la máquina atmosférica de Newcomen (1712) tenía un rendimiento inferior al 1% y una potencia que rondaba los 5 caballos. Se trataba, por tanto, de una máquina tremendamente ineficiente; su utilización solo se justificaba por la importancia de su labor –bombeo de agua desde las galerías mineras- y porque las grandes cantidades de combustible que requería para su funcionamiento eran habitualmente de carbón de muy mala calidad, sin salida en otras aplicaciones.”

En su particular retrospectiva sobre la primera y la segunda revolución industrial, el matemático y tecnólogo Norbert Wiener (1952) remarcó que «el primer lugar en el que la potencia del vapor se empleó en un fin práctico fue en el bombeo del agua de las minas, una de las formas más brutales de trabajo humano o animal». Y añadió que «es

esa una tarea que nunca acaba y que no puede interrumpirse jamás, so pena de tener que cerrar la mina para siempre», concluyendo que «ciertamente puede considerarse un gran progreso humanitario que la máquina de vapor reemplazase esa servidumbre».

De hecho, como el historiador de la tecnología Samuel Lilley (1970) expresa, «en 1702, una mina de carbón de Warwickshire necesitaba 500 caballos dedicados a esta tarea». Un número ciertamente ingente... Así que, como sustituta de la energía equina, la máquina de Newcomen se extendió no solo por Gran Bretaña (en 1767 había únicamente en Newcastle y sus alrededores cerca de 70 máquinas), sino que llegó a media docena de países europeos e incluso a las colonias británicas en Norteamérica. Ahora bien, se trató de una expansión en la que fueron razones dinerarias –no compasivas ni humanitarias– quienes principalmente la propulsaron. Pacey (1980) detalla el caso de una mina inglesa de carbón en la que en 1752 se hizo un estudio comparativo entre la conveniencia de utilizar de caballerías o una máquina de Newcomen para extraer agua de las galerías. Los caballos «trabajaban en pareja y en ocho turnos de tres horas, desaguando 310 m³ en un día completo», a un coste «de 24 chelines al día». Por contra «el motor a vapor costaba solo 20 chelines diarios, y en el mismo tiempo podía desaguar 1.170 m³».

En 1769 –el mismo año en que Arkwright patentaba su máquina hiladora– James Watt hizo lo propio con su máquina de vapor provista de condensador, «un nuevo método para reducir el consumo de vapor y combustible en las máquinas de fuego» como rezaba el texto de la patente. «Tras la invención de un condensador independiente, Watt logró que su rendimiento se acercara al 5%. Más importante aún, a partir de 1781 consiguió hacer funcionar una versión rotativa de la máquina, lo que le abrió un futuro mucho más amplio que el mero bombeo de agua» (Almenar, 1991). Una máquina de estas características construida por Watt –el ingeniero– y su asociado –el empresario Matthew Boulton– durante 1784 alcanzó una potencia de 10 caballos de vapor. Antes de 1800 no obstante ninguna máquina de Watt rebasó

los cincuenta caballos, 50 HP (HP: *Horsepower*, una unidad de potencia introducida por Watt para poder hacer comparaciones).

La expansión de la producción industrial

Con mucho, el sector más destacado de la primera industrialización industrial mundial –la británica– fue la rama textil algodonera. Era una actividad industrial que en las primeras décadas del siglo XIX se estaba mecanizando con rapidez. Y no lo hacía solo el hilado –cuya evolución a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y comienzos de XIX hemos comentado en el apartado anterior–, sino también el tisaje, que se mecanizó ampliamente también. Tras una primera patente obtenida por Edmund Cartwright en 1785, el telar mecánico se expandió velozmente a través de las invenciones de William Horrocks (en el segundo decenio del siglo XIX) y de Richard Roberts (en el tercer decenio); este último, que pronto diseñaría la *selfactina* para el hilado, creó ya en 1822 un eficiente telar enteramente mecánico. Como consecuencia, si en 1813 sólo había en Gran Bretaña 2.400 telares mecánicos, en 1829 ya eran 55.000, y en 1833 eran 100.000, alcanzándose los 224.000 en 1850. En paralelo, las fábricas textiles fueron abandonando progresivamente el agua y la rueda hidráulica (su primera fuerza motriz) por el carbón y la máquina de vapor. En 1838 las máquinas hidráulicas ya suponían menos de la cuarta parte de la potencia disponible (unos 10.000 HP, de los 45.000 totales), y en 1850 menos de una séptima parte (11.000 de un total de 82.000).

La llegada de la máquina de vapor y el carbón a los transportes se produjo también en esas décadas iniciales del siglo XIX. El ferrocarril fue el *hijo legítimo* de la minería de carbón: tanto su combustible como su fuerza motriz (la máquina de vapor, inicialmente solo utilizada –así lo hemos visto– para bombear agua en las minas) o sus raíles (a fin de disminuir el rozamiento de las ruedas, originalmente de madera), habían surgido previamente en la actividad minera. Era lógico, por tanto, que la primera línea de ferrocarril –la que unió en 1825

Stockton-on-Tees y Darlington en el noreste de Inglaterra- fuera un ferrocarril minero impulsado por una locomotora fabricada por George Stephenson, que en su inauguración fue parcialmente transformado para disponer de asientos provisionales: 300 pasajeros viajaron en él, siendo aclamados en los 15 kilómetros de la línea por unos 40.000 espectadores.

El ferrocarril se expandió rápidamente durante la primera mitad del siglo XIX. Pero todavía en 1840, la única red ferroviaria en el mundo que podía merecer tal nombre se encontraba en Gran Bretaña: unía las cuencas mineras con las principales ciudades y puertos, habiendo pasado de menos de 100 kilómetros en 1830 a 1.850 en 1840. En Europa continental en cambio, y en idénticas fechas, solo había tramos discontinuos de ferrocarril que entre todos no alcanzaban la longitud de los ferrocarriles británicos. Pero veinte años después la situación había cambiado: los ferrocarriles de Europa occidental formaban ya redes nacionales (incluso internacionales), con una longitud total que superaba a la existente en la Gran Bretaña de entonces (16.800 km en 1860). En cuanto a Norteamérica, el *boom* ferroviario fue espectacular: su red en 1860 comprendía unos 48.000 km, una longitud tres veces mayor que la británica y más de cinco veces la francesa.

«Donde quiera que se construían ferrocarriles se generaba una enorme demanda de hierro», señala Pacey (1980). «Aparte del hierro necesario para construir las locomotoras, hacían falta 130 tm de hierro forjado (y después de acero) para construir los raíles en cada kilómetro de recorrido y en un único sentido». Ello supuso un potente estímulo para la siderurgia británica, porque «al comienzo de la era ferroviaria, solo Inglaterra poseía una industria siderúrgica lo suficientemente grande [...] y, por tanto, casi todo país que construyera ferrocarriles importó inicialmente de Inglaterra buena parte de su material». Esta demanda contribuyó a que, si en Gran Bretaña antes de 1820 se producían menos de medio millón de toneladas anuales de hierro y apenas 680.000 tm en 1830, en 1850 se obtuvieran ya en torno a las 2.250.000 toneladas.

La construcción de barcos de hierro movidos a vapor fue un proceso mucho menos rápido que el del ferrocarril; comparativamente, tuvo poca importancia en las primeras décadas del siglo XIX. Hay que recordar que los primeros «vapores» eran de madera y estaban confinados al tráfico fluvial (la primera línea regular mundial se instauró por Robert Fulton en 1807 entre Nueva York y Albany), y que los barcos de vapor que primero atravesaron el Atlántico eran, en realidad, veleros que disponían del vapor como fuerza motriz auxiliar. Si bien en 1822 el primer buque de vapor de hierro, construido para cruzar el Canal, fue montado en el Támesis con piezas prefabricadas, hubo que esperar hasta la década de 1880 para que los buques de hierro superaran en tonelaje a la de embarcaciones de madera. El problema que presentaban esos barcos respecto a los veleros o los mixtos –sobre todo para viajes largos- era la elevada proporción de carga útil ocupada por el propio carbón. «Se comprende por qué el triunfo final del vapor», han escrito Derry y Williams (1960), «fue un proceso mucho más lento y complicado que, por ejemplo, la sustitución de la diligencia por el ferrocarril».

Y por supuesto, detrás de todo, de *todo esto*, se encontraba el carbón. La extracción de carbón en las minas británicas que era de poco de más de 6 millones de toneladas en 1770, suponía ya cerca de 10 millones en 1800 (cinco veces más que en el resto de Europa). Ascendió a unos 30 millones en 1842 (dos terceras partes eran empleadas todavía en la calefacción de los hogares) y a 49 millones en 1850, habiéndose por tanto quintuplicado su producción en medio siglo. Ahí estaba la clave energética, la *fuerza motriz* de la industrialización británica, y posteriormente la de todos los procesos industrializadores llevados a cabo en el siglo XIX, que siguieron fielmente la hoja de ruta marcada por la británica. La clave del «nacimiento del mundo moderno», en suma.

Incluso aquellos que habían perdido un imperio transoceánico –como el español tras la independencia de los territorios americanos-, vieron en el carbón -y en la industrialización derivada de su empleo-

la salida a tan traumática pérdida colonial. El comisionado Gregorio González de Azaola, mineralogista y químico, escribía en un libro publicado en París en 1829:

“¡Carbón, carbón, carbón y siempre carbón es lo que necesitamos ahora! Este combustible ha de ser el elemento de nuestra felicidad, éste la base de toda nuestra industria, y éste la tabla de nuestra salvación política [...]. Si, conviniendo que hemos errado el camino de nuestra prosperidad por el rumbo que nos hizo tomar la conquista de América, conociendo que no hay otro que el del trabajo y aplicación en hacer multiplicar las producciones de la naturaleza y del arte, no nos queda otro asilo, otro recurso que este preciosísimo combustible [...]”

«Ese negro, feo, despreciado pero preciosísimo mineral», así retrata al carbón González de Azaola. Y este autor se cuida en resaltar que «en habiendo carbón hay bombas de vapor, y en habiendo bombas se hace cuanto se quiere con abundancia, equidad y presteza». Y continúa con la siguiente observación: «la aplicación química del fuego a las máquinas mediante el vapor del agua debe causar antes de dos siglos una revolución extraordinaria en los progresos de la civilización, y hacer algún día cambiar casi la faz de la Tierra». Escrito en el mismo año –finales de 1828- en que Blanqui afirmara que «una nueva revolución se ha operado en las naciones europeas», este texto de González de Azaola posee una clarividencia digna de destacarse.

Primeras repercusiones sociales de la industrialización

Fue también en los lustros inmediatamente posteriores a 1815-1820 cuando quedó claro que todo ese proceso industrializador no quedaba confinado, como Blanqui volviera a escribir acertadamente en 1837, a la creación de «productos materiales», sino que generaba también «problemas sociales» que, al igual que los anteriores, resultaban ser según este economista, «desconocidos para nuestros pa-

dres». Era un buen comentario de cómo los nuevos tiempos diferían crecientemente de los pasados, provocando incluso una «fractura generacional» entre quienes habían vivido los antiguos, los mayores, y los que empezaban a vivir los nuevos, los jóvenes. (Si algún lector piensa que la hoy usualmente denominada *fractura digital* es la primera brecha tecnológica que se ha producido en la historia moderna, ya ve que no es así). Puesto que nos hemos referido con anterioridad a algunos de aquellos nuevos «productos materiales», pasaremos ahora a comentar, siquiera brevemente, los igualmente novedosos «problemas sociales».

En 1839 otro economista, Natalis Briavoine, en su obra *Sobre la industria en Bélgica*, abordó explícitamente las consecuencias sociales del proceso industrializador, afirmando que «la revolución industrial, al multiplicar las necesidades del hombre, ha aumentado los medios de satisfacerlas; pero sus ventajas, aunque son reales, no llegan a todos por igual; ha beneficiado poco a las clases obreras, mucho a la propiedad y más aún a los propietarios de grandes capitales». Todo un lúcido análisis (ligazón de nuevos productos y nuevas necesidades, a la par que una más que notoria desigualdad según clases a la hora de acceder a los mismos), proveniente de un economista hoy prácticamente desconocido. Por su parte otro autor, Eugène Buret, en su obra *Sobre la miseria de las clases obreras en Inglaterra y Francia* (1840), anticipó la simplificación ocupacional producida por la industrialización: «la revolución industrial ha alterado completamente o más bien destruido las relaciones que unían el trabajador con quien lo empleaba», señalaba. Y añadía que «actualmente, en las grandes fábricas, donde van a sepultarse la mayoría de los obreros, no hay aprendices, ni oficiales; no hay más que asalariados y patronos». Friedrich Engels en *La condición de la clase obrera en Inglaterra* (1845), amplió y profundizó todas estas reflexiones. Y a Engels le correspondió remarcar que esa revolución industrial, «tanto más patente cuanto más silenciosa se ha realizado», estaba dándose con toda su plenitud en Gran Bretaña, y muy especialmente en Inglaterra:

“Setenta, ochenta años atrás, Inglaterra era un país como todos los demás, con pequeñas ciudades, pocas y simples industrias, y una magra pero proporcionalmente importante población agrícola. Ahora es un país como ningún otro, con una capital de dos millones y medio de habitantes, con ciudades industriales inmensas, con una industria que abastece a todo el mundo y que lo hace casi todo con máquinas complejas, con una sagaz, inteligente y densa población que en sus dos terceras partes está relacionada con la industria y está compuesta por una clase totalmente distinta, que forma una nación completamente nueva, con otras costumbres y otras necesidades que las del pasado.”

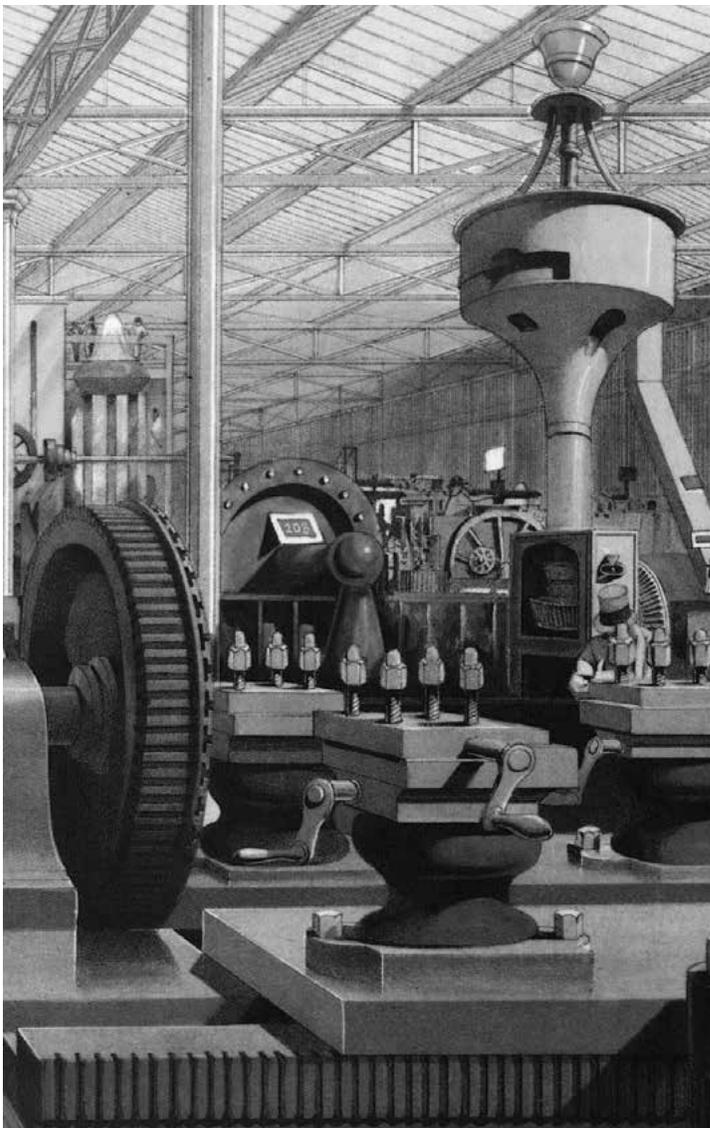
«Una clase totalmente distinta que forma una nación completamente nueva, con otras costumbres y otras necesidades que la del pasado». Esta nueva clase era para Engels el *proletariado*, «el fruto más importante de esa revolución industrial». Una revolución, por lo demás, «de la que solamente ahora», afirmó enfáticamente, «comenzamos a entender la importancia que tiene para la historia del mundo». Apreciación ésta que no ha quedado restringida a un decimonónico como Engels, desde luego. El historiador Eric Hobsbawm (1999), la expresa en términos coincidentes siglo y medio después:

“La revolución industrial señala la transformación más fundamental experimentada por la vida humana en la historia del mundo, registrada en documentos escritos. Durante un corto periodo esta revolución coincidió con la historia de un solo país, Gran Bretaña. [...] Hay un momento en la historia universal en que Gran Bretaña puede ser descrita como el único taller del mundo, su único importador y exportador masivo, su único transportista, su único poder imperialista y casi su único inversor extranjero”

«Un país como ningún otro»... El único taller, importador, exportador, transportista, poder imperialista e inversor... de la época. Ahora bien, toda esta primacía no se consiguió sin costes sociales; más bien se logró con enormes costes, distribuidos además de forma

extremadamente desigual. Como Briavoine adelantó en aquellos años (1839), las ventajas de la industrialización no habían llegado «a todos por igual», sino que la misma había «beneficiado poco a las clases obreras», «mucho a la propiedad» y más aún «a los propietarios de grandes capitales». Algunos datos avalan como mínimo lo primero. «Entre 1780 y 1830» apunta el historiador Niall Ferguson (2011), «la producción por trabajador en el Reino Unido se incrementó en más de un 25%, pero los salarios apenas subieron un 5%». Como ejemplo particularmente instructivo puede citarse al colectivo de los tejedores manuales, que «se fueron empobreciendo progresivamente en un vano intento de competir con las nuevas máquinas a costa de trabajar más barato»; su salario medio entre 1805 y 1833 «pasó de 23 chelines semanales a 6 chelines y 3 peniques» (Hobsbawm, 1999), apenas una cuarta parte del inicial.

En paralelo, y de forma asimétrica, la mecanización textil permitió una elevada transferencia desde las rentas del trabajo a la formación de capital. «En los 25 años que siguieron de 1820 a 1845», destaca igualmente Hobsbawm en relación a la industria algodonera, «la producción neta de la industria creció alrededor del 40% (en valor), mientras que su nómina sólo lo hizo en un 5%». Y concluye que «es casi seguro que la industria algodonera contribuyó más a la acumulación de capital que otras industrias, aunque sólo fuera por su rápida mecanización y el uso masivo de mano de obra barata (mujeres y niños)». Una afirmación ciertamente reveladora del trasfondo económico y social que existía tras aquella dinámica industrializadora.



Sala de Máquinas de la Exposición Universal de Londres de 1851, la muestra más completa de la industrialización en general y la británica en particular de la época.

- VII -
**PREGUNTAS PERTINENTES SOBRE
 LA INDUSTRIALIZACIÓN DECIMONÓNICA**

¿Y si la industrialización hubiera involucionado?

Es igualmente Hobsbawm (1999) –el historiador con el que cerrábamos el capítulo precedente- quien apunta que en la actualidad, «de manera generalizada, prácticamente unánime», se considera a las primeras décadas del siglo XIX «como la fase inicial del capitalismo industrial», al igual que es en ellas donde sitúa Johnson (1991) «el nacimiento del mundo moderno». Sin embargo, cabe preguntarse: ¿pudo haber abortado semejante nacimiento?. ¿Pudieron haber sido aquellos años la fase inicial de algo que no se afianzó y que finalmente feneció?. Hobsbawm reflexiona: visto desde el presente, fue una fase inicial, sí...

“...pero, ¿no podía haber sido también su fase final? La pregunta parece absurda porque es evidente que no lo fue, pero no hay que subestimar la inestabilidad y tensión de esta fase inicial –especialmente en las tres décadas después de Waterloo- y el malestar de la economía y de aquellos que creían seriamente en un futuro. La Gran Bretaña industrial primitiva atravesó una crisis que alcanzó su punto culminante en la década de 1830 y primeros años de la de 1840. El hecho de que no fuera en absoluto una crisis «final» sino tan solo un crisis de crecimiento, no debe llevarnos a subestimar su gravedad.”

Porque, ¿y si –parafraseando a Engels- Inglaterra (y Gran Bretaña) hubiera vuelto a ser «un país como todos los demás», en lugar de seguir siendo «un país como ningún otro»? Que acabara convertido en un territorio distinto, tal vez, pero no radicalmente diferente al que antes fue. ¿Y si en realidad la *revolución industrial* no hubiese sido tal,

sino simplemente un periodo expansivo al que le sucediera una fase de ralentización, de estancamiento, incluso de declive?. El problema iba mucho más allá del hecho evidente de que el proceso británico de industrialización –el único que en esa época podía merecer tal nombre– gravitara desproporcionalmente sobre una sola actividad –la industria del algodón– y, consiguientemente, de que «una industrialización así, limitada y basada esencialmente en un sector de la industria textil, no era ni estable ni segura». Era algo mucho peor. «En la década de 1830 el índice más tosco del progreso económico, la renta per cápita real», señala Hobsbawm, «estaba descendiendo por primera vez desde 1700». Y no solo disminuía la renta por habitante –un valor medio–, sino que su distribución se iba haciendo más y más desigual. «La proporción de la renta nacional que iba a parar al percentil más rico de la población», constata Ferguson (2011), «pasó del 25 por ciento en 1801 al 35 por ciento en 1848». El 1% superior se estaba llevando, por tanto, *más de la tercera parte* del ingreso nacional.

Para la gran mayoría de la población británica, por tanto, la *revolución industrial* no estaba aportando ni un mayor nivel general de vida (renta per cápita corregida por la distribución de la misma) ni una mejora en las condiciones de vida (la amplitud e intensidad de la contaminación del aire y del agua era una buena muestra de ello). Y ni siquiera la fracción minoritaria mayormente defensora y netamente beneficiada de la industrialización –la burguesía industrial– estaba satisfecha. «Las tensiones del periodo comprendido entre 1829 y 1846», prosigue Hobsbawm, «se debieron en gran parte a esta combinación de clases obreras desesperadas porque no tenían lo suficiente para comer y de fabricantes desesperados porque creían sinceramente que las medidas políticas y fiscales del país estaban asfixiando poco a poco la economía» (Hobsbawm, 1999).

Por consiguiente, en aquellos años 30 y primeros 40 de crisis del XIX, la primera sociedad industrial de la historia –y única por aquellas fechas– no se veía amenazada por cuestiones tecnológicas o productivas, sino por problemas –algunos agudos y otros crónicos– de carácter

social y político. «En ningún periodo de la historia moderna de Gran Bretaña, experimentó el pueblo llano una insatisfacción tan duradera, profunda y, a menudo, desesperada», resume Hobsbawm.

Pese a lo cual, al concluir la década de los 40 quedó claro que el *tren de la industrialización* (excelente símil en un decenio en el que la longitud de los ferrocarriles británicos casi se octuplicó) no llegó a descarrilar. La nueva civilización industrial, ni abortó, ni feneció víctima de alguna enfermedad infantil. Lo que consiguió fue superar, en todo caso, una «crisis de crecimiento», no una «crisis de supervivencia».

El imperialismo al servicio de la industrialización

¿Cómo lo logró?. Hubo un factor que sin ser único fue esencial: la política expansionista británica, manifestada a través de su imperialismo político y militar. Ello es particularmente visible en lo que era –y con mucho– la principal actividad productiva de Gran Bretaña, su industria algodonera. Recordemos la afirmación de Hobsbawm, recogida párrafos atrás, de que «una industrialización así, limitada y basada esencialmente en un sector de la industria textil, no era ni estable ni segura» (Hobsbawm, 1999). Es verdad que la industria algodonera había multiplicado por cien su producción textil en términos físicos entre 1760 y 1830 (un crecimiento anual medio cercano al 7%, por tanto), pero conviene recordar que el punto de partida de la misma era extremadamente bajo. Y con otra característica. Que si bien «a mediados de la década de 1780, las exportaciones de algodón solo representaban alrededor del 6% del total de las exportaciones de Gran Bretaña, alrededor de 1835, la proporción había aumentado al 48%, la mayor parte destinada a Europa continental» (Ferguson, 2011). Mantener esa expansión más allá de 1830 no resultaba fácil, precisamente. Y sin embargo, entre 1830 y 1860 *la producción se cuadruplicó*. Porque en ese mismo periodo se produjo un cambio en el destino de las exportaciones particularmente revelador (Almenar 2012):

“Entre 1820 y 1860, las ventas británicas al exterior de telas confeccionadas con algodón –la principal exportación europea- casi se decuplicaron en metros lineales, pero las destinadas a Asia (India y China principalmente) se multiplicaron por más de ochenta. Gran Bretaña pasó así a ser la primera *fábrica global*, auténtico centro de producción mundial, con los grandes países asiáticos como principales consumidores al absorber más de la mitad del total de las exportaciones algodonerías.”

«En 1700 el único gran exportador de tejidos que había en el mundo era la India», señalan los historiadores John R. McNeill y William H. McNeill (2003). Pero en 1701, y luego en 1721, Gran Bretaña prohibió la importación de indianas estampadas. Aunque posteriormente la prohibición se levantó, el hecho cierto fue que «los fabricantes británicos gozaron de gran protección arancelaria frente a la competencia extranjera hasta la década de 1820». Como destaca el gran historiador Fernand Braudel (1979):

“El primer paso que dio Inglaterra fue cerrar sus fronteras a los tejidos indios durante la mayor parte del siglo XVIII [...]. Luego intentó conquistar para sí aquel mercado tan beneficioso, algo que sólo podía conseguir efectuando drásticas reducciones de la mano de obra. Seguramente no es ninguna casualidad que la revolución de las máquinas comenzara en la industria algodonería.”

Un apologeta sin complejos de la industrialización británica como Andrew Ure (1839), pudo así escribir que «con la ayuda de dedos mecánicos, un inglés en su máquina de hilar puede producir más hilo y de mejor calidad que doscientos de los más diligentes hiladores de Indostán». Pero tal superioridad de la producción textil no era simplemente la consecuencia de una supremacía técnica. «Gran Bretaña», añaden McNeill y McNeill, «se valió de su gran poderío militar para imponer aranceles, impuestos y tratados que beneficiaban a los intereses de sus fabricantes. La India, por ejemplo, se convirtió en importadora neta de tejidos antes de 1816, en parte porque muchos Estados indios fue-

ron obligados a aceptar el comercio libre de productos textiles». Este proceso se amplió e intensificó conforme iba avanzando el siglo XIX. Otro historiador, John M. Hobson (2004), lo describe así:

“De este modo, mientras que en el siglo XVII, la economía británica fue importadora neta de productos textiles indios [...] en 1873, el 40% o el 45% del total de las exportaciones británicas de artículos de algodón iban a parar a la India. Por consiguiente, después de exportar durante mucho tiempo productos manufacturados de algodón a Gran Bretaña, a mediados del siglo XIX la India se había convertido en un país proveedor de algodón en rama para la industria de Lancashire, que a su vez exportaba el producto acabado a la India.”

Los tratados comerciales impuestos por Gran Bretaña a diferentes países asiáticos fueron fundamentales en todo ese *giro copernicano* ligado al algodón; unos *acuerdos* que se debían mucho menos al éxito político o a la habilidad diplomática de Gran Bretaña que a la amenaza de sus cañones y fusiles. Hubo múltiples tratados comerciales netamente desiguales (por lo que favorecían a los británicos) en aquellos años; por ejemplo los firmados con Siam en 1824 y 1855; con Persia en 1836 y 1857, o con China en 1842 y 1854. «Los tratados en cuestión arrebataban a los países su autonomía arancelaria y en general limitaban los derechos aduaneros a un máximo del 5 por ciento» (Hobson, 2004). De todos ellos, los tratados con China fueron especialmente ominosos por conseguirse tras las dos Guerras del Opio, llamadas así porque la pretensión británica de comerciar sin restricciones en China con el opio que cultivaba en la India estuvo en el centro de ambos conflictos.

Mediante el tratado de Nanjing firmado en 1842, que puso fin a las hostilidades de la Primera Guerra del Opio, China indemnizaba a los comerciantes europeos por las incautaciones de opio (que era ilegal en China) y al gobierno británico por sus gastos de guerra; abrió cinco puertos al comercio exterior, arrendando además el de Hong Kong; se desmantelaban prácticamente los aranceles a la importación

de textiles británicos; se concedía por último a Gran Bretaña la cláusula de nación más favorecida en los intercambios comerciales y a sus súbditos la inmunidad jurídica en tierras chinas. Años más tarde, la Segunda Guerra del Opio impuso otro tratado aún más duro que el anterior, con medidas como la apertura al exterior de nuevos puertos y la legalización del opio. Las últimas reticencias chinas a cumplir tales disposiciones fueron barridas cuando las tropas británicas y francesas saquearon Beijing en 1860, llegando a quemar el célebre Palacio de Verano (Yuan Ming Yuan).

Este imperialismo político y militar no quedó confinado a abrir nuevos mercados para las producciones textiles británicas haciendo caso omiso de los deseos de los países involucrados, fuera de no comerciar, de dejar de comerciar o de comerciar solo con determinadas condiciones. Se extendía también a la obtención de la materia prima de esos mismos productos textiles –el algodón-, que se intentaba conseguir lo más abundante y barato posible aún a costa de apoyar sistemas esclavistas de producción como el estadounidense antes de la Guerra de Secesión. Si «el algodón fue de hecho el rey del milagro económico inglés», como destaca Ferguson (2011), «la expansión del cinturón algodonero de EEUU después de 1790 resultó esencial para la industria textil británica», recuerdan McNeill y McNeill (2003). En efecto, si en 1810 Gran Bretaña importó 36 millones de toneladas de algodón crudo (el 50% de EEUU), en 1830 eran ya 110 millones (un 70% estadounidense), y en 1860 alcanzaban ya los 450 millones (más del 90% procedentes de EEUU). Y cuando la guerra –y la abolición consiguiente de la esclavitud- complicó el abastecimiento barato de algodón americano (Gran Bretaña había apoyado explícita o implícitamente, según casos, a la Confederación sudista), el imperialismo británico fomentó la producción algodonera de la India y provocó que se dedicara buena parte de Egipto a su cultivo, convirtiendo prácticamente este país en colonia.

Expansión económica y política expansionista se realimentaron así en las décadas centrales del siglo XIX: la primera presionaba a la

segunda para conseguir mercados y condiciones favorables de venta en ellos, y la segunda facilitaba la primera al abrir nuevos mercados y forzar mejores condiciones; una y otra cosa estimulaban las exportaciones, y con ellas la producciones domésticas británicas, volviéndose a reforzar el bucle. Esta retroalimentación positiva consiguió neutralizar en el exterior la crisis social en el interior que amenazaba con ralentizar, detener e incluso involucionar la primera industrialización ocurrida en la historia moderna. El imperialismo salvó así a la revolución industrial haciendo que siguiera siendo factible la producción exponencial de ésta. Así –y apoyándose en la nueva conjunción de modos de transporte protagonizada por ferrocarriles y barcos de vapor-, «las exportaciones británicas aumentaron el 7,3% al año entre 1845 y 1855, cosa que jamás se repetiría» como relata Andrews (1991). Quien añade que «en el momento de la Gran Exposición de 1851, celebrada en el *Crystal Palace* –magnífica muestra de arquitectura innovadora, de hierro fundido y vidrio- Gran Bretaña fabricaba más del 40% de las mercancías mundiales».

El cénit industrial representado por la Gran Exposición

La Exposición Universal de Londres en 1851 (en aquel grandioso marco del *Crystal Palace* levantado por el arquitecto Joseph Paxton) puede considerarse el simbólico punto final de la crisis social de los años 30 y 40. Fue inaugurada por la reina Victoria el 1 de mayo de 1851, «el día más importante de nuestra historia, el más hermoso e imponente», como fue calificado por la reina. El poderío que exhibía el propio recinto, la completa estandarización de sus componentes, la mecánica rapidez con que se instauró en Hyde Park –poco más de seis meses- y el culto al hierro y al cristal que emanaba (el Palacio contaba por ejemplo con 300.000 paneles de cristal estandarizados de unos 125 x 25 centímetros), solo podían provocar el asombro. «La Exposición Universal era, a su manera, una especie de milagro», resume el historiador Simon Schama (2002). «Para el público en general», reseñó en su día Ashby (1958), «la Exposición de 1851 fue una

reafirmación de la supremacía industrial británica. Tomaron parte en ella un centenar de categorías industriales, y en la mayoría de estas categorías el jurado internacional otorgó premios a los industriales británicos». La industrialización de Gran Bretaña que tenía al carbón y la máquina de vapor como principales componentes y símbolos, continuaba siendo, pues, el referente mundial; en el exterior todo país sabía que tenía que hacer lo propio si quería emularla o superarla. E internamente, como Derry y Williams (1960) señalaron:

“El éxito de la Exposición fue un fenómeno tanto social como económico. Asistieron a ella seis millones de visitantes llegados en trenes de todas las regiones del Reino Unido y de otros lugares; y el hecho de que masas de gentes tan grandes (e inesperadamente disciplinadas) pudieran y quisieran pagar una entrada de más de un chelín para presenciar un espectáculo tan edificante hizo pensar a muchas personas honradas que, en el primer país industrializado del mundo moderno, las masas hallaban cierta satisfacción ante el fruto de sus esfuerzos.”

«Así», como comenta Schama (2002), «la Exposición Universal tuvo por objetivo disipar prácticamente todas las pesadillas sociales y políticas de la Gran Bretaña de mediados del siglo XIX». En 1851 la primera sociedad industrial estaba empezando a mejorar, aunque fuera solo moderadamente, en sus niveles y condiciones de vida; quizás no de la mayoría, pero sí de una gran parte de la población. La producción existente en los años inmediatamente anteriores se había ampliado y diversificado; las exportaciones crecían con rapidez; los salarios empezaban a recuperarse, o al menos a crecer lo mismo que los precios; más de la mitad de la población era ya urbana; una serie de reformas políticas y económicas se habían promulgado, aunque de manera parcial. Hasta incluso parecía que «las masas hallaban cierta satisfacción ante el fruto de sus esfuerzos»... Los años de crisis semejaban haber desaparecido.

Sin embargo, algo particularmente perturbador se desprendía

de todo esto. Si la política internacionalmente expansionista había sido fundamental para asegurar la expansión económica británica, si el imperialismo político y militar fue lo que posibilitó en gran medida la continuación y ampliación de la revolución industrial, cualquier país que tratara de industrializarse siguiendo los pasos que había dado Gran Bretaña –y el británico representaba el primer y único ejemplo de industrialización exitosa, el modelo a imitar y superar-, era enteramente lógico que acabara concluyendo que tanto el expansionismo industrial, como el imperialismo político y militar, mutuamente reforzados, iban a resultar tan ineludibles en su país como lo habían sido en el caso británico. El camino hacia los imperios industriales en litigio –en una competencia expansionista cada vez mayor- se abría de esta forma, y su resultado letal acabaría siendo la Gran Guerra de 1914-1918.

¿Y si la industrialización no hubiera girado en torno al carbón y al vapor?

Al iniciarse la década de 1830, justo cuando según Johnson (1991) «el nacimiento del mundo moderno» se había ya consolidado, la única sociedad industrializada existente, la británica, se sumergió – como hemos visto en el apartado anterior- en una crisis que obedecía a un múltiple, inmenso y generalizado descontento social. La industrialización centrada en el hilado y tejido de algodón, la máquina de vapor como fuerza motriz, y el carbón como energía fundamental, pudo muy bien (aunque no lo hizo) estancarse, contraerse o incluso colapsarse, porque a esas alturas de la «revolución industrial» una gran mayoría de la población británica no alcanzaba a percibir sus ventajas, ni económicas, ni sociales. ¿Pudo ello favorecer, no ya el estancamiento o incluso la involución industrial, sino *otra* industrialización? ¿Pudo existir una revolución industrial ajena a la máquina de vapor, «la quintaesencia del desarrollo industrial del siglo XIX», según Smil (1999), y a su indispensable combustible, el carbón? Hace casi un siglo Mumford (1934) se hacía idéntica pregunta y se respondía afirmativamente: *pudo* existir una industrialización que no hubiera girado en torno al

carbón y *pudo* haber continuado su desarrollo sin interrupción.

Como Mumford destacó en su momento, resulta interesante señalar que aparte del bombeo de agua en las minas, las primeras máquinas de vapor –las de Newcomen- se utilizaron también para alimentar de agua a ruedas hidráulicas que eran las que proporcionaban la fuerza motriz a diferentes actividades productivas, haciendo por tanto sólo funciones de energía auxiliar. «La casa Darby, por ejemplo, instaló una en 1742 para mover diez ruedas hidráulicas», recuerda Lilley (1970). ¿Podía haber seguido siendo así, que una energía fósil como era el carbón hubiera continuado representando una energía auxiliar como en los primeros estadios de la «revolución industrial», y energías renovables, como la hidráulica, ser las principales fuentes de fuerza motriz? Sí. «Ese negro, feo, despreciado, pero preciosísimo mineral», ese carbón al que se refería González de Azaola, hubiera podido tener simplemente un papel subsidiario respecto a las energías renovables, no utilizándose ampliamente más que en los lugares en que fuera fácil y barato de extraer (como en las cuencas mineras) o en aquellos procesos y aplicaciones en que esas energías renovables presentaran más dificultades. O tal vez el carbón podría haber quedado restringido a usos térmicos, como mero combustible, cuando con ello se evitara el sobreconsumo insostenible de madera, leña u otras modalidades de biomasa. O cabría haberlo destinado mayoritariamente –al igual que luego el petróleo- no como combustible, sino como materia prima de productos obtenibles mediante la química orgánica que se desarrollaría a lo largo de los siglos XIX y XX. Incluso podría haber ocurrido todo esto a la vez, según lugares, épocas y situaciones.

De nuevo, como en el apartado anterior, nos encontramos elaborando un *contrafactual*, algo que pudo ser pero que finalmente no fue. O no fue, *entonces*, porque en el proceso industrializador europeo inmediatamente anterior a la revolución industrial clásica –el neerlandés de los siglos XVII y comienzos del XVIII- así ocurrió. En ese tiempo, «las provincias holandesas en particular, una simple franja de arena empapada de agua y barrida por el viento» (Mumford, 1934)

crearon una economía alimentada por energías renovables, la eólica especialmente, pero también la maremotriz (instalaciones hidráulicas que aprovechaban incipientemente la fuerza de las mareas) o la solar (a través de la proliferación de invernaderos que revolucionaron la horticultura del país). El empleo del viento, en particular, constituyó el núcleo fundamental de esta «industrialización» ajena al carbón y al vapor. Era el viento quien empujaba a los barcos de la *Verenigde Oostindische Compagnie*, la Compañía Holandesa de las Indias Orientales, en busca de especias y las molía a su llegada a Holanda. Era el viento quien serraba la madera procedente del Báltico para construir las naves de su flota. Y era igualmente el viento quien drenaba el agua de las tierras litorales pantanosas para convertirlas en fértiles campos de cultivo y prados (un cuarto de millón de hectáreas entre 1500 y 1815). La amplia utilización de la turba existente en esas extensas zonas húmedas de la región (una energía no renovable, aunque para su formación se precisen decenas o cientos de años, pero no millones como sucede con el carbón) representaba en la economía neerlandesa una energía ciertamente importante, pero solo complementaria.

¿Pudo haber seguido la industrialización decimonónica los mismos pasos que su precursora neerlandesa había seguido en los siglos XVII y XVIII?. Hay tres grandes consideraciones para validar una respuesta afirmativa, que vamos a desarrollar a continuación. La primera es que muchos analistas –historiadores y aun más, no historiadores- han exagerado la penetración del vapor y el carbón en la economía industrial del siglo XIX, particularmente en su primera mitad, y no digamos en sus décadas iniciales. «Basta con echar una ojeada sobre Inglaterra bajo la perspectiva de un arqueólogo industrial para observar que, hasta después de 1800, los *nuevos* proyectos de casi toda la industria adoptaron normalmente el agua más que el vapor para accionar la maquinaria», constata Lilley (1970). «El vapor no empezó a tener un importante papel en la vigorización de la economía británica», afirma Habakkuk (1962), «hasta las décadas de 1830 y 1840, y no fue aplicado de forma masiva hasta las décadas de 1870 y 1880».

Particularmente ilustrativo fue el caso estadounidense; «todavía en 1840, cerca del 100% de todo el hierro en lingotes en EEUU continuaba produciéndose con carbón vegetal» (Rosenberg, 1976), y hacia 1860 la red ferroviaria estadounidense, con mucho la mayor del mundo, era surcada por locomotoras que casi en su totalidad usaban leña como combustible. Solo en esa fecha el empleo del vapor y del carbón consiguió superar a la energía hidráulica en la industria manufacturera estadounidense, y en la de Nueva Inglaterra la energía del agua suponía aún más del doble de la aportada por el vapor. En cuanto a la navegación marítima, el tonelaje de los barcos de vapor no superó a los de vela en Inglaterra hasta 1883, y en Estados Unidos hasta 1893.

La segunda consideración a tener en cuenta son los avances que «viejas» tecnologías como la hidráulica o la eólica alcanzaron en los tiempos de emersión de la «nueva» tecnología del vapor. Así, en el tránsito del siglo XVIII al XIX, los molinos de viento sufrieron importantes mejoras como «la incorporación de dispositivos para adaptar automáticamente las aspas a la intensidad del viento» (Lilley, 1970). Y «una larga serie de adelantos altamente sofisticados en cuanto al diseño y la construcción», según igualmente Lilley, «había convertido a la rueda hidráulica, hacia 1830, en algo virtualmente perfecto». Como Johnson (1991) resalta, «las inmensas ruedas hidráulicas que [William] Fairbairn y [John] Kennedy construyeron para las fábricas de Kingman, Pinlay y cía, en Ayrshire durante 1826-27, son calificadas aun hoy en Europa como las más perfectas máquinas en su tipo; también son impresionantes por su belleza». La sustitución de piezas de madera por otras metálicas fue clave en uno y otro caso, eólico e hidráulico.

Pero la tercera y más importante de las consideraciones que planteábamos, resulta ser la aparición de nuevas tecnologías energéticas ajenas a la máquina de vapor y al combustible fósil carbón. Ya en 1832, Benoît Fourneyron –que había ganado un premio de la *Société d'Encouragement pour l'Industrie* francesa por su invención de una turbina hidráulica centrífuga- fue más allá de las posibilida-

des de las ruedas hidráulicas al instalar una de esas turbinas con una potencia de 50 HP, abriendo una nueva –y prometedora- etapa en la utilización de la energía hidráulica. «En 1837, dos de sus máquinas instaladas en las hilanderías Saint Blaisiens, trabajaban con una altura de salto sin precedentes de 108 y 114 metros respectivamente, desarrollando una potencia [...] suficiente para mover 30.000 husos y 800 telares», destaca el experto energético Vaclav Smil (1999). A este tipo de turbina hidráulica (con un rendimiento superior al 80%) le siguieron otras, como las turbinas centrípetas de Jonval en 1843 y de Francis en 1849, o la turbina de hélice de Thomson en 1852. Con tales turbinas se ampliaron en rendimiento y potencia sus predecesoras, las ruedas hidráulicas, que habían suministrado mayoritariamente la energía mecánica precisada en los primeros estadios de la industrialización en el siglo XVIII e inicios del XIX (todavía a mediados de este último se puso en marcha en la isla de Man una rueda hidráulica gigante de que superaba los 250 HP).

Solo unos meses antes de la puesta en marcha de la turbina de Fourneyron, en septiembre de 1831, Faraday marcó un hilo fundamental en la tecnología del siglo XIX: «su experimento», resalta Holmes (2008), puso fin de un plumazo a la era del vapor y dio comienzo a la nueva era de la electricidad». Faraday había conseguido crear ya en 1821 «un rudimentario motor eléctrico», el primero del mundo (Parra, 2012); pero justo diez años después, en 1831, y partiendo de la inducción electromagnética que había descubierto, elaboró –además de un motor más evolucionado- el primer generador eléctrico, posibilitando aún la conversión de la energía mecánica en eléctrica. Aunque el artilugio de Faraday era en principio solo un experimento científico, cuando semanas más tarde mostró su dínamo experimental, aseguró proféticamente que «aunque la chispa [eléctrica] es muy pequeña, hasta el extremo que apenas se ve, otros divulgarán esta energía para fines más importantes» (Andrews, 1991). Y así fue. Un año después ya se exhibía en París un generador mecánico de bobinas fijas movido a mano y desde 1834 podían adquirirse en Londres generadores de bobinas móviles.

Así pues, en esos años 30 del siglo XIX, unas turbinas mecánicas evolucionadas podían convertir eficazmente la energía hidráulica en energía mecánica, y unos nuevos generadores hacían lo propio con la energía mecánica (aunque fuera manual) en eléctrica. La conjunción de ambas cosas parecía clara, y así se vio en las décadas siguientes. Cuando a punto de finalizar el siglo, en 1895, tras años de estudios y obras se instaló junto a las cataratas de Niágara la primera gran central hidroeléctrica del mundo, las dos primeras turbinas que se montaron fueron dos turbinas centrífugas Fourneyron con una potencia de 5.500 HP cada una. En esa última década del siglo XIX había ya solamente en Suiza más de 200 plantas hidroeléctricas, aunque la mayoría era de pequeño tamaño.

En realidad, no existen razones tecnológicas de peso para desecher la factibilidad de una industrialización a partir preponderantemente de fuentes renovables. Las dos características técnicas más importantes de cualquier máquina son su rendimiento y su potencia. Un historiador como Osterhammel (2013) señala erróneamente que «si la máquina de vapor empezó siendo una fuente de energía más eficiente que la rueda hidráulica, ésta ya invirtió la situación en la segunda mitad del siglo XIX, con el desarrollo de la turbina». Otro historiador, Ferguson (2011), destaca admirativamente que «la máquina de Newcomen quemaba 20 kilogramos de carbón para producir un solo caballo-hora», mientras que «una máquina de vapor de finales del siglo XIX podía hacer lo mismo con menos de medio kilogramo». Ciertamente. Pero lo que Osterhammel ignora y Ferguson no incluye en su afirmación, es el dato de que las máquinas de Newcomen apenas superaban el 0,5% de rendimiento, lo que implicaba lisa y llanamente que el 99,5% de la energía calorífica del carbón se desperdiciaba. Ni entonces ni después fue la máquina de vapor más eficiente que la rueda hidráulica.

John Smeaton, un ingeniero mecánico algo mayor que Watt, consiguió duplicar el rendimiento de la primitiva máquina de Newcomen; aun así seguía siendo extremadamente bajo en relación al ren-

dimiento que podían alcanzar las ruedas hidráulicas de la época, que Smeaton había estudiado con anterioridad: una eficiencia de más del 20% en las que tenían una alimentación hídrica inferior, y de más del 60% en aquellas que recibían el agua por su parte superior. Y aunque las máquinas más perfeccionadas de Watt se aproximaron al 5% de rendimiento, la máquina de expansión doble de McNaught (1845) superó el 10%, y las máquinas de vapor más evolucionadas de finales de siglo (en línea con lo apuntado por Ferguson) rebasaron el 20%, las turbinas hidráulicas desarrolladas en los dos últimos tercios del siglo XIX superaron con creces el 90% (por condicionantes termodinámicos solo una parte del calor desprendido por un combustible puede transformarse en trabajo, mientras que la práctica totalidad de la energía cinética del agua puede convertirse en energía útil, incluso en electricidad).

Tampoco en cuanto a su potencia presentaban las máquinas de vapor una indiscutible ventaja frente a los aprovechamientos hidráulicos. Si la máquina atmosférica de bombeo de agua de Newcomen venía a tener una potencia en torno a los 5 HP, una generación antes, a finales del siglo XVII, la máquina de Marly, una rueda hidráulica que desde el Sena alimentaba de agua los jardines de Versalles, alcanzaba los 75 o 100 HP. Más aún, la bomba de los molinos instalados por Peter Morice en Londres a finales del siglo XVI, debía tener una potencia más o menos semejante a la de Marly, a tenor de los volúmenes de agua que al parecer podía elevar utilizando la energía de las mareas. Con anterioridad a 1800 ninguna máquina de Watt llegó a los 50 HP, y aunque una década después las máquinas de alta presión de Richard Trevithick y de Oliver Evans rebasaban los 100 HP, todavía en 1835 la máquina de vapor más frecuente en Inglaterra era de solo 15 HP. En aquellos mismos años la turbina hidráulica instalada por Fourneyron conseguía 50 caballos de vapor, y a mediados de siglo se construyeron turbinas de 500 HP. Y si en 1876 se puso en marcha en Estados Unidos una máquina gigante de vapor de 2.500 HP, cada una de las dos turbinas Fourneyron que empezaron a funcionar en el Niá-

gara durante 1895 para generar electricidad alcanzaba –como hemos visto- los 5.500 caballos de vapor.

Progresos en la utilización de las energías eólica y solar

Fueron razones económicas, sociales, políticas y culturales, no tecnológicas, las que condujeron más y más a la industrialización por la vía del vapor y del carbón, a despecho de los avances producidos no solo en el aprovechamiento del agua (que hemos visto con cierto detalle), sino también del viento e incluso del sol a lo largo del siglo XIX. Así, la energía eólica no solo resistió en enclaves tradicionales que la habían usado, sino que su utilización se amplió. En la última década del siglo XIX por ejemplo, existían en Holanda en torno a 9.000 aeromotores, y en Dinamarca unos 3.000 de uso industrial y otros 30.000 en granjas y hogares. Fue justamente en este último país en donde el físico y meteorólogo La Cour construyó un primer aerogenerador que convertía la energía eólica en electricidad, al que siguió en 1897 otro de mayores dimensiones. Centenares de aerogeneradores se instalaron en aquel país durante los años inmediatamente siguientes, siendo un componente fundamental en la electrificación habida en Dinamarca.

Por su parte, las aplicaciones térmicas de la energía solar se multiplicaron a lo largo del siglo XIX: cultivo en invernaderos, climatización de edificios, secado de producciones agrícolas e industriales, obtención de agua caliente, etc. Incluso en la segunda mitad del siglo, la energía solar comenzó a poder utilizarse –aunque de una forma muy limitada- para nutrir dispositivos que generaban vapor. El matemático e inventor Augustin Mouchot patentó su primer artilugio solar en 1861; en 1878 montó en París un artefacto de mayores dimensiones que alcanzaba ya los 2,5 HP de potencia y que en circunstancias lumínicas favorables posibilitaba el bombeo de 2.000 litros de agua cada hora o incluso obtener hielo a partir de la radiación solar, abriéndose así la posibilidad de instaurar refrigeradores solares en climas cálidos. Al otro lado del Atlántico, el ingeniero John Ericson trabajó también con

máquinas solares de vapor, habiendo construido su primer dispositivo en 1870.

Es de destacar que estos pioneros comprendieron tempranamente el principal problema que presentaba el aprovechamiento energético del sol. Así, Ericson manifestaba honestamente en 1876 que no podía «recomendar la creación de motores solares en lugares donde el soleamiento no es permanente hasta tanto no se hayan ingeniado los medios adecuados para almacenar la energía radiante de manera que sea posible obtener energía regular de una irradiación solar irregular» (Ericson, 1876). Pero tres años más tarde, Mouchot imaginó para ello una vía que le pareció particularmente prometedora: «utilizaría la energía solar para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno, almacenando luego ambos gases en cilindros separados», reseñan Butti y Perlin (1980). «Cuando se produjese la demanda de calor sólo habría que recombinar ambos elementos y la reacción química desencadenada generaría todo el calor necesario», prosiguen. La descomposición del agua se haría mediante electrolisis, y la electricidad necesaria se generaría mediante un dispositivo termoeléctrico compuesto por diferentes metales puestos en contacto y sometidos al calor solar.

Ahí es nada, quemar el hidrógeno obtenido del agua por electrolisis solar desprendiendo energía al combinarse con el oxígeno anteriormente separado formando nueva agua... Suena increíblemente actual, *hidrógeno solar como combustible*... Por lo demás, Mouchot convertía el calor solar en electricidad mediante una batería termoeléctrica Clamond que funcionaba a partir de los principios descubiertos en 1822 por Thomas Seebeck, pero ya en 1839, el físico Edmund Becquerel descubrió el efecto fotoeléctrico. Aunque el mismo permaneció durante décadas prácticamente ignorado, a partir de él el ingeniero Charles Fritts construyó en los años 80 las primeras células solares de selenio (Fritts, 1885). De nuevo, y tal como había ocurrido con las aportaciones de Fournayron, Faraday o Seebeck, el fundamento científico y técnico de todos estos avances en el aprovechamiento de las energías renovables existía desde las primeras décadas del siglo XIX.

Un contrafactual convertido en futurible

Conforme iba avanzando el siglo XIX, por tanto, distintos dispositivos de aprovechamiento mecánico y térmico de energías renovables como la hidráulica (muy en primer lugar), la eólica o incluso la solar, iban apareciendo o perfeccionándose. Verosímilmente una industrialización centrada en esas fuentes renovables (comprendiendo la extracción sostenible de madera) hubiera supuesto un empleo considerablemente menor de energía primaria (la directamente captada de la naturaleza), pero el diferencial hubiera sido mucho más reducido respecto a la energía útil (la efectivamente disponible para usos humanos). La brecha planteada podría haberse disminuido todavía más –incluso hasta hacerla desaparecer– con mejoras de la eficiencia energética en aquellos procesos en que la energía se utilizaba. Y con un empleo amplio, pero auxiliar, complementario o subsidiario del carbón.

Pues bien, aunque pueda parecer sorprendente, *eso es lo que realmente ocurrió* en muchas regiones de Europa en las que no se daban la abundancia y baratura del carbón ni la facilidad de su transporte por puertos, canales y ferrocarriles, como sí ocurría en Gran Bretaña. Eso hizo que en múltiples lugares la penetración del carbón y del vapor fuera tardía y lenta. Osterhammel (2013) comenta que «en los Países Bajos se recurrió a las bombas de vapor hacia 1850 –relativamente tarde– para el drenaje y desecación de los pólderes», pero «en 1896, todavía el 41% de las superficies desecadas se drenaba con molinos de viento». Al concluir el siglo XIX –incluso en los inicios del XX– en múltiples zonas industriales europeas se daba una amplia coexistencia entre la fuerza motriz hidráulica mecánica, el empleo del carbón en la máquina de vapor y la utilización de electricidad (fuera ésta de origen térmico o hidráulico), en particular cuando la actividad industrial de esos enclaves era diversa, no especializada en una única rama productiva. Así sucedió por ejemplo en la bilbaína cuenca del Nervión, en la que los usos hidráulicos mecánicos no disminuyeron, sino que aumentaron en las primeras décadas del siglo XX en relación con los de medio siglo antes (la energía que generaban se multiplicó por dos veces y media entre 1880 y 1930), pese a la gran expansión del vapor

y a la emersión de la nueva energía hidroeléctrica. Como resume la historiadora Francesca Antolín (1988), el estudio de este caso «sirve para constatar dos hechos. Primero que esta pervivencia fue prolongada y no se redujo a un mero languidecer de lo antiguo», la hidráulica mecánica. «Segundo, que no se trató sólo de un fenómeno de inercia, sino que tuvo una justificación lógica en términos económicos».

Más aún. En no pocos lugares de Europa, especialmente en la Europa mediterránea (en los que el carbón propio era inexistente y el importado caro y de difícil acceso) el uso del carbón fue simplemente un paréntesis, siendo sustituido tras unos pocos lustros o decenios por energía eléctrica, preponderantemente hidroelectricidad. De esta forma, con un más o menos breve interludio carbonífero se pasó de un uso hidráulico mecánico a una utilización hidroeléctrica de los cursos de agua. Otro ejemplo igualmente extraído de la Península Ibérica, puede ilustrar lo dicho: el caso de la ciudad valenciana de Alcoy, una de las primeras áreas industriales españolas. Aquí el originario aprovechamiento mediante ruedas hidráulicas de los ríos alcoyanos –el Barxell y el Molinar– en la manufactura textil dio paso a las máquinas de vapor impulsadas por carbón británico, traído desde el puerto de Gandía por un ferrocarril inaugurado en 1892 y construido *ex profeso* para tal fin, *el tren de los ingleses* como fue llamado. Es de destacar aquí lo apuntado por Osterhammel (2013) cuando escribe que «en muchos lugares el paso al vapor solo fue rentable cuando una conexión ferroviaria permitía traer el carbón a bajo precio». Ese fue precisamente el caso de Alcoy, pero solo durante pocos lustros, porque conforme fue avanzando el siglo XX las máquinas de vapor y el carbón fueron a su vez sustituidos por una electricidad que acabaría siendo preponderantemente hidráulica.

Todo lo que aquí ha sido expuesto constituye otra útil aportación del pasado para un tiempo como el nuestro en que debemos emprender el camino opuesto al que siguió la civilización industrial en el siglo XIX: el de *descarbonizar* y no el de *carbonizar* la economía. El *contrafactual* que hemos presentado (algo que verosímilmente pudo suceder pero que no sucedió, o no con la amplitud y rapidez que se hubiera

requerido) puede aportar luz a un *futurible* deseable (un futuro razonablemente posible, aunque no tiene necesariamente por qué ocurrir). Ciertamente hay una evidente diferencia entre un contrafactual y un futurible. Como expresa adecuadamente Ferguson (2011), «de hecho, no existe nada parecido al futuro, en singular; solo futuros en plural». En cambio «hay, ciertamente, múltiples interpretaciones de la historia, ninguna de ellas definitiva; pero solo un pasado».

Pues bien, en ese mismo pasado decimonónico hubo voces que propugnaron algo muy próximo al contrafactual que hemos explicitado, siquiera para poder proseguir con el ritmo industrializador que había caracterizado al siglo XIX. Mouchot, en su libro *El calor solar* de 1869, afirmaba que «la industria terminará por no encontrar más en Europa los recursos con que satisfacer esta prodigiosa expansión [...] Indudablemente, el carbón se agotará», añadía. Y concluía: «¿qué hará entonces la industria»? Una pregunta que también preocupaba a Rudolf Clausius, el físico introductor del término *entropía*. En una conferencia impartida en 1885 (véase Martínez Alier, 1984), se refirió así a la situación energética entonces existente:

“Vivimos actualmente por lo que respecta al uso de energía mecánica en una época espléndida [...].

Hemos encontrado que bajo el suelo yacen reservas de carbón desde tiempos remotos [...]. En la actualidad, las gastamos y nos comportamos exactamente como felices herederos que consumen un rico patrimonio. De la tierra se extrae tanto como la fuerza humana y los medios técnicos lo permiten, y se utiliza como si fuera inagotable [...].”

Ahora bien, el ilustre físico –uno de los *grandes* de la termodinámica-, continuaba con estas palabras a modo de advertencia (Clausius, 1885):

“Cuando esta reserva se haya gastado [...] los hombres se verán obligados a arreglarse solo con la energía que el sol les ofrezca continuamente mediante sus rayos a lo largo de los tiempos futuros [...]. Esta energía se concreta, de

un lado, en el material susceptible de oxidación producido por el crecimiento continuado de las plantas, y de otro, en movimientos del viento y del agua que cae y corre, y que igualmente están generados por el efecto de los rayos solares. En particular, los movimientos del agua pueden proporcionar tanta energía útil que un salto de agua puede sustituir a una mina de carbón de dimensiones notables [...].”

Clausius finalizaba su disertación con un explícito llamamiento a la responsabilidad generacional y a la prudencia energética:

“Mientras que el siglo que ahora acaba se ha distinguido por la invención o el perfeccionamiento de máquinas, entre las que destaca la máquina de vapor, y el uso de las fuentes naturales de energía en una extensión hasta ahora desconocida, [...] los siglos siguientes tendrán la tarea de introducir una sabia economía en el gasto de las fuentes energéticas que la naturaleza nos ofrece y especialmente en no malgastar de forma despilfarradora las que encontramos debajo de la tierra como herencia de épocas pasadas y que son insustituibles. Cuanto antes se produzca un cambio en este sentido, mejor será para el futuro.”

¿Qué más puede decirse hoy respecto a este planteamiento energético de Clausius, una reflexión que parece plenamente actual?. Nos encontramos aquí con otra aportación del siglo XIX. Porque si bien no hay duda de que hace doscientos años, en 1815-1820, la corriente principal del desarrollo tecnológico e industrial entonces emergente se decantó por lo que prometía la lámpara de seguridad (expandir el uso de una energía no renovable como el carbón, explotando más minas y más profundas) y no por lo que aportaba la draisiana (recibida con hilaridad, pese a lo que procuraba a la hora de transformar eficientemente la energía metabólica humana en kilómetros de desplazamiento), dos siglos después la situación se ha invertido: la corriente principal de la tecnología energética precisa inclinarse en la dirección de mesura y renovabilidad que Clausius tan elocuentemente apuntó.



Londres a finales del siglo XIX con una contaminación atmosférica desbordada procedente principalmente de la combustión industrial y doméstica del carbón. En las tres últimas décadas de ese siglo hubo en esta ciudad varios episodios agudos de contaminación que mataron a miles de personas.

- VIII -
**LA ALTERACIÓN INDUSTRIAL DE LA ATMÓSFERA
COMO MANIFESTACIÓN DEL CAMBIO GLOBAL**

La contaminación de la nueva industria

Volvamos ahora a la industrialización que realmente se produjo: la que se nutrió de un recurso no renovable como el carbón. Desde el principio, el uso de carbón mineral en Gran Bretaña conllevó la contaminación del aire. Andrews (1991) señala que este carbón «sustituyó ya en el siglo XIII a la madera en hogares domésticos», pero nunca fue muy apreciado como combustible; generalmente «era blando, estaba cargado de azufre y producía un humo sofocante». A partir del siglo XVIII su combustión mejoró cuando se calentaba previamente en atmósfera reductora, obteniéndose así coque -en gran medida libre de azufre y de otras impurezas-, aunque durante mucho tiempo el coque así obtenido quedó limitado a la obtención de cerveza (el azufre del carbón estropeaba su sabor) y a la producción de hierro.

Con la multiplicación de la extracción y combustión del carbón, la contaminación atmosférica que provocaba también se extendió e intensificó. Y sus efectos atmosféricos fueron cada vez más difíciles de ocultar; hasta para la aristocracia, incluso para la realeza, habitualmente protegida de desagradables vivencias de este tipo. «En el otoño de 1832», relata el historiador Simon Schama (2002), «a sus trece años, la entonces princesa Victoria había tenido su primer contacto con la Gran Bretaña industrial durante un viaje a Gales». «Las visitas

que realizó [...] fueron cuidadosamente orquestadas para desarmar la hostilidad de las *clases trabajadoras*», continúa Schama. «Pero en algún rincón de las proximidades de Birmingham, el carruaje de Victoria atravesó una comarca minera». Y Victoria recogería sus impresiones con las siguientes palabras de su diario (Schama, 2002):

“Los hombres, las mujeres, los niños, el paisaje y las casas son negras. Pero no puedo dar una descripción que permita hacerse una idea del extraño y curioso aspecto de todo el conjunto. El paisaje es muy desolado; hay carbón por todas partes y la poca hierba que queda está negra. Acabo de ver un edificio extraordinario envuelto en llamas. El campo sigue siendo negro, lleno de máquinas y carbón en combustión, montones de carbón humeante y de brasas en medio de miserables barracas y criaturas cubiertas de harapos.”

Pronto se vio que las implicaciones sobre la salud y el entorno que trajo consigo la particular «revolución industrial» centrada en el carbón y el vapor —la que históricamente triunfó— no quedaban restringidas a obreros y operarios, ni siquiera a sus familias. Ya en 1814 «el comisionado industrial prusiano May, durante una misión en Inglaterra, reconoció la ciudad de Manchester por la vasta nube de humo que podía apreciarse desde varios kilómetros a la redonda antes de llegar» (Föhlen, 1971). Por lo demás, como relató el comisionado, «las casas estaban completamente ennegrecidas», y el río sobre el que se estableció Manchester, «llevaba unas aguas tan saturadas de colorante que parecía una tina de tinte». Pero, tras reconocer que «todo el paisaje resultaba melancólico», el visitante prusiano añadió que, «sin embargo, deambulan por doquier gentes atareadas, felices y bien nutridas, y eso levanta el ánimo de quien lo contempla», un comentario ciertamente sorprendente. «Ninguno de los que visitaron Manchester en los años 30 y 40 —y fueron muchos— reparó en sus gentes felices y bien nutridas», destaca con sorna Hobsbawm (1999).

La población de los nuevos distritos industriales pagaba «un atarador y constante tributo a los dos grandes grupos de aniquiladores

urbanos del siglo XIX: la polución atmosférica y la del agua, es decir, a las enfermedades respiratorias y digestivas» (Hobsbawm, 1999). Un observador externo, Léon Faucher (1856), describía así la insalubridad de las fábricas británicas a mediados de la década de 1840:

“Los obreros empleados en el cardado de algodón deben cambiar frecuentemente de ocupación y de taller so pena de caer rápidamente en el marasmo y la tisis. Lo mismo ocurre en las operaciones de blanqueo y tinte, así como en la preparación de los metales. Determinados trabajos actúan como un envenenamiento a plazo fijo, y cuando un obrero los ejerce, se podría determinar de antemano el fin de su vida. En Sheffield, un afilador, por fuerte que sea, no supera la edad fatídica de treinta y cinco años.”

De todas las formas de contaminación, la contaminación del aire era la más extendida y la más visible. «Un cielo claro en un distrito industrial era el signo de un cierre o de una depresión en la industria», precisó muchas décadas después Mumford (1934). «Incluso allí donde no había en absoluto fábricas [...], el ferrocarril distribuía suciedad y polvo; el tufo del carbón era el verdadero incienso del nuevo industrialismo».

La convivencia de los seres humanos, trabajadores o no, con diferentes contaminantes atmosféricos estaba a la orden del día: cenizas, partículas finas, aerosoles y gases impregnaban las poblaciones industriales. Fábricas, viviendas y ropas estaban ennegrecidas por el hollín; los efluvios de los tintes se respiraban por doquier; los sulfatos y mercaptanos asociados a los curtidos resultaban vomitivos. El anhídrido sulfuroso sofocaba los pulmones; se inhalaban metales pesados como el plomo de las fábricas cerámicas; el monóxido de carbono debido a la combustión incompleta de hornos, estufas y braseros aturdiría hasta la muerte; los aerosoles de ácido clorhídrico vertidos por la industria química corroían las vías respiratorias. Y la falta de vitamina D por la mengua de radiación solar debida al persistente *smog* hacía que el raquitismo se convirtiera en crónico.

La creciente concentración de la industria en determinados enclaves –signo de los nuevos tiempos- multiplicó la gravedad de todas esas emisiones industriales. «La contaminación y la suciedad de una pequeña fábrica de hierro situada en campo abierto podía absorberse o eliminarse con facilidad. Al reunirse veinte grandes fábricas de hierro, concentrando sus efluvios y productos de desecho, era inevitable el deterioro completo del medio ambiente», resaltaba Mumford en 1934.

La nueva industria química, por ejemplo, pronto mostró su tendencia a las grandes instalaciones. Los productos para el blanqueo de los tejidos de algodón se habían hecho indispensables con la expansión de la producción algodonera. Originariamente eran blanqueados al sol durante muchos días, pero pronto quedó claro que «no había bastantes prados baratos [...] en todas las Islas Británicas para blanquear solamente los tejidos de Lancashire una vez que la *water frame* y la *mule Jenny* sustituyeron al torno manual», recuerda Landes (1965). En los últimos años del siglo XVIII, Charles Tennant y Charles Macintosh empezaron a fabricar un polvo de blanquear a partir de la acción del cloro sobre la cal apagada. «La aparición del polvo blanqueador», señalan Dervy y Williams (1960), «fue un acontecimiento de la mayor importancia para la industria textil, y sin él la industria del algodón no hubiera podido alcanzar la enorme expansión que tuvo».

En 1825, Tennant empezó a fabricar sosa por el método del químico Nicolás LeBlanc –que había obtenido una patente en la Francia revolucionaria de 1791- en Glasgow. Pronto su inmensa fábrica se convirtió en la mayor fábrica química de Europa, empleando a más de un millar de trabajadores. No sin *daños colaterales*, ciertamente. Johnson (1991) los describe así:

“En Glasgow, la fábrica de soda Saint Rollox, de Charles Tennant, que era la principal planta química del mundo, abarcaba 50 hectáreas de territorio circundante, y al verter ácido sulfúrico sobre sal, producía inmensas nubes de gas de ácido clorhídrico, uno de los primeros casos conocidos de contaminación

industrial moderna a gran escala. Las protestas originadas por los ciudadanos ofendidos y los terratenientes indujeron a Tennant a construir una chimenea de 455 pies de altura para dispersar el humo venenoso a gran altura en la atmósfera. Pero ese horrible artefacto provocó casi la misma cantidad de objeciones, pues era más alto que una catedral y podía verse desde una distancia de 50 millas.”

Analizado desde el presente, el caso de esta fábrica de Glasgow de las primeras décadas del siglo XIX *lo tiene todo*: concentración fabril, tosca tecnología, desprecio a la salud de sus obreros, indiferencia por el medio ambiente, externalidades económicas negativas sobre ciudadanos y terratenientes, solución paliativa de «final de tubería» y no de cambio en los procesos de producción, disminución de la contaminación local a costa de su exportación a mayores distancias, desconsideración estética al crear un impacto paisajístico en un área particularmente extensa, etc. Todo un anticipo de lo que se ha visto una y otra vez durante los siglos XX y XXI, que cualquier estudioso de impacto ambiental conoce bien.

Al menos la contaminación por ácido clorhídrico de las fábricas británicas de sosa, tuvo un efecto positivo: la creación de una Comisión Real en 1862 para analizar este problema, y la promulgación de la primera ley (*Alkali Act*) en un país industrial contra la contaminación atmosférica en 1863. Los sociólogos Luis Lemkow y Fred Buttel (1983) señalan que:

“La Comisión recomendó que sólo se debería permitir que un 5 por 100 de cloruro de hidrógeno, tras una dilución previa, pasara de forma aceptable a la atmósfera: el resto debía ser eliminado antes de entrar en contacto con el aire. La *Alkali Act* requería de los industriales que se sirvieran de los «medios más prácticos» para reducir al mínimo la emisión de gases tóxicos. Se estableció un nuevo servicio de Inspección (*Alkali Inspectorate*) para hacer efectiva la Ley.”

A pesar de su insuficiencia (bien que se redujera el 95 por 100 de las emisiones, el 5 por 100 restante seguía siendo lesivo para la salud humana y el medio ambiente) y de su ámbito restrictivo (solo se aplicó a la industria de álcali y a sus emisiones de ácido clorhídrico), los ecos de esta primera ley británica contra la contaminación atmosférica se hallan en múltiples disposiciones legislativas que a lo largo de los siglos XX y XXI han sido promulgadas para la mejora de la calidad del aire. Una aportación más del siglo XIX....

Ahora bien, incipientes normativas como ésta eran inexistentes en aquellos países que suministraban materias primas vitales para la voraz industria química. En Andalucía, bajo el dominio de la británica *Rio Tinto Company Limited*, el mineral de cobre era calcinado en cenitales de piras al aire libre –conocidas como teleras- que producían densas humaredas sulfurosas que quemaban los pulmones de los mineros y arruinaban los cultivos de los agricultores. En 1888 miles de afectados protestaron contra esta forma de contaminación del aire, siendo tiroteados por un regimiento militar que mató a un centenar (quizás a dos) de manifestantes, en la que está considerada como la primera gran protesta ambientalista europea. Una protesta que también tuvo lugar en idéntico siglo...

La mirada del arte y la contaminación del aire

De nuevo, y como había sucedido con las crisis climáticas generadas por el vulcanismo catastrófico, expresiones artísticas como la literatura o la pintura reflejaron a lo largo del siglo XIX la creciente incidencia de la contaminación –y muy particularmente de la atmosférica- en las sociedades crecientemente industrializadas de la época. De manera solo aparentemente paradójica, y como Mumford (1934) señalara, «la misma desolación del nuevo medio ambiente» que la industrialización provocó, también consiguió crear ciertas «compensaciones estéticas». Este autor las describió así:

“El ojo, privado de la luz del sol y del calor, descubrió un nuevo mundo en el crepúsculo, la niebla, el humo, las diferencias tonales. La niebla de la ciudad fabril ejercía su propia magia visual: los feos cuerpos de los seres humanos, las sórdidas fábricas y los montones de basura, desaparecían en la niebla, y en vez de las desagradables realidades que se encontraba uno bajo el sol, había allí un velo de tiernos azules, grises, amarillos nacarados y azules tristes.”

Y comentando los cuadros de Turner, que «durante la última parte de su carrera sólo tenían dos temas: la niebla y la luz», Mumford añadía:

“Turner fue quizás el pintor que asimiló y expresó directamente los efectos característicos del nuevo industrialismo; su pintura de la locomotora de vapor, surgiendo de la lluvia, fue posiblemente la primera imagen lírica inspirada por la máquina de vapor.”

El industrialismo ligado al carbón (y sus emisiones atmosféricas) incidió crecientemente en la estética pictórica del paisaje urbano, con las ciudades británicas a la cabeza. «La contaminación atmosférica de Londres en el siglo XIX», escribe Fagan (2000), «queda reflejada en las obras de arte: los barcos, los remolcadores y los cargueros suben por el Támesis en medio de una luz amarillenta o rosado grisácea, y en los atardeceres sobre la catedral de San Pablo resplandece un cielo rojo brumoso desconocido en siglos anteriores».

La literatura se convirtió también en espejo de la contaminación atmosférica provocada por la nueva «civilización industrial». En su obra *El Rin*, el escritor Victor Hugo, que visitó el valle belga del Mosa en 1839, lo describía así (véase Andrews, 1991):

“Todo el valle parecía arder: de aquí brotaba humo, de allí surgían llamas; podríamos imaginar ciertamente que un ejército había asolado la comarca y que los veinte distritos, en aquellas tinieblas nocturnas, presentaban los aspectos y fases de una conflagración: en unos prendía el fuego, en otros envolvía el

humo y en otros ceñían las llamas [...]

Pero este aspecto bélico es producto de la paz; este espantoso símbolo de la devastación es hijo de la industria. Los humos de las fabricas siderúrgicas de *mister Cockerill*, en las que se funden cañones del mayor calibre y se hacen potentísimas máquinas de vapor, es lo único que se contempla.”

Los Cockerill eran una familia de industriales de origen británico que se había establecido en Europa continental, alcanzando aquí un poder industrial sin parangón. Por lo demás, en el país de origen de los Cockerill, el escritor Charles Dickens realizaba una memorable descripción –en su novela *Tiempos difíciles (1854)*- de la nueva ciudad industrial, denominada por él Coketown, la *ciudad del carbón de coque*. Aun siendo una ficción literaria, resumía y condensaba múltiples aspectos de la nueva urbe industrial:

“Era una ciudad de ladrillos rojos o de ladrillos que hubieran sido rojos si el humo y la ceniza se lo hubiesen permitido; pero tal y como estaban las cosas era una ciudad de un rojo y negro antinatural, como el rostro pintado de un salvaje. Era una ciudad de máquinas y altas chimeneas de donde escapaban incansablemente eternas serpientes de humo que se arrastraban hacia el infinito, sin jamás desenroscarse. Había en ella un canal de aguas negras, y un río morado por sus pigmentos malolientes. Tenía enormes bloques de edificios con múltiples ventanas, en los que todo vibraba y retumbaba durante todo el día, y donde los pistones de las máquinas de vapor subían y bajaban monótonamente, como las cabezas de elefantes sujetos a una melancólica demencia. Contaba con varias calles principales, todas ellas muy parecidas, y calles pequeñas aún más parecidas, habitadas por personas igualmente semejantes, que salían y volvían a sus casas todas a la misma hora, que caminaban con idénticos pasos sobre los mismos pavimentos, y para quienes cada jornada era semejante a la víspera y al día siguiente, y cada año similar al anterior y al posterior.”

Esta descripción –una versión de ficción, pero seguramente más rica y precisa que las descripciones contenidas en obras de no ficción

sobre el industrialismo de la época- sigue siendo, más de siglo y medio después, espléndida en su capacidad evocadora. Las humanidades representadas por la literatura, aquí por el arte de la narrativa, superaban en amplitud y precisión al discurso de ciencias naturales como la química y al de ciencias humanas como la sociología en relación a la nueva realidad urbana de aquellos años. Y las referencias a multitudes anónimas que se movían bajo un cielo urbanoindustrial difuso y gris –cuando no amarillento o rojizo gracias a la contaminación atmosférica- aparecían profusamente hasta en la literatura más popular, aquella leída masivamente por esas mismas anónimas multitudes urbanas. «Durante la tercera semana de noviembre de 1895», escribió Arthur Conan Doyle en uno de sus relatos de Sherlock Homes, «una niebla amarilla y densa cubrió la ciudad de Londres», desesperando a su personaje, encerrado en *Baker street*, que veía como entre el lunes y el jueves de dicha semana «seguía pasando frente a nuestras ventanas un espeso remolino parduzco que se condensaba en gotas aceitosas en la superficie de los cristales» (véase Fagan, 2000). Los efectos de la combustión en el Londres de finales del siglo XIX de carbón rico en azufre, quemado en miles de chimeneas industriales y hogares domésticos, cobraban así protagonismo (y repercusión en el gran público) gracias al arte de la narrativa.

Quizás sea casualidad (¿o no?), pero ese valle del Mosa cuya contaminación atmosférica fue detalladamente descrita por Hugo en 1839, alcanzó en diciembre de 1930, casi un siglo más tarde, tales niveles que provocaron la muerte fulminante de más de 60 personas. Y en diciembre de 1952, medio siglo largo después de los comentarios de Doyle, una densa niebla sulfurosa incrementó en 4.000 personas las cifras de mortalidad de Londres. Ambos casos se incorporaron, por cierto, a todos los libros científicos y técnicos que en la segunda mitad del siglo XX ilustraban la gravedad de la contaminación del aire.

Prosigamos ahora con otra manifestación artística de esas últimas décadas de siglo; de nuevo la pintura, y de nuevo con Mumford (1934) como guía. «Fue la falta misma de sol, la ausencia de color, el

hambre dentro de las ciudades industriales por la visión de escenas rurales, lo que elevó el arte del paisaje durante este periodo», dejó escrito Mumford en 1934. Impresionistas y postimpresionistas reflejaron la llegada de la industrialización (como Armand Guillaumin, que en su *Puesta de sol en Ivry* (1873) pintó cómo las humaredas de las nuevas fábricas junto al Sena oscurecían un esplendoroso atardecer), y también participaron en un movimiento de huida (y de redescubrimiento de la luz y el color) hacia enclaves menos industrializados. Mumford ponía aquí a Vincent Van Gogh como ejemplo particularmente apropiado:

“Van Gogh conoció [...] el Londres sucio, enlodado, alumbrado por el gas de los años 1870. También la fuente misma de sus oscuras energías, lugares como las minas de Le Borinage en donde vivió con los mineros. En sus primeras pinturas [...] trazó los retorcidos cuerpos de los mismos, el estupor casi animal de sus rostros inclinados sobre sus sencillos platos de patatas, los negros, grises, azules oscuros y sucios amarillos de sus casas arruinadas por la pobreza.”

Le Borinage... «esa región aparentemente maldita, donde se yergue, bajo un cielo azul pardusco y saturado de gas carbonífero, una especie de infierno, con pirámides negras formadas por los residuos de los depósitos de carbón», como evoca el biógrafo de Van Gogh, Marc Edo Tralbaut. El pintor, que ejerció en semejante entorno de predicador, fue testigo de reiteradas explosiones de grisú en las minas, por cierto muchas décadas después de la invención de las lámparas de seguridad de Stephenson y Davy. No se dio tregua en tales situaciones, «recortando día y noche la ropa que le quedaba a fin de fabricar vendajes embebidos de cera y aceite de oliva para aliviar las heridas graves» (Tralbaut, 1969), deshaciéndose así de casi toda su ropa y teniendo finalmente que hacerse camisas con papel de empaque.

Antes de huir a Francia, «Van Gogh se identificó con esta lúgubre rutina» (Mumford, 1934). Pero tras pasar un tiempo en París, y aconsejado por Toulouse-Lautrec, viajó hacia el Mediodía francés,

«el país de las adelfas y del sol de azufre» como refirió Van Gogh a un colega pintor también norteño, Eugène Boch. Allí, en la Provenza mediterránea, primero en Arlés y luego en Saint-Rémy-de-Provence, el pintor sufrió un verdadero proceso de «desintoxicación». Tras él «los sentidos, no cubiertos ya ni amortiguados por el humo y la suciedad respondieron con un éxtasis brillante», en palabras de Mumford. «El color es para el cuadro lo que el entusiasmo para la vida», escribió el propio pintor a su hermano Theo, desvelando, exaltando y trascendiendo en sus cuadros los característicos colores del Mediterráneo: «esa gama de azules claros, azules intensos, verdes oscuros y colores tierra». Colores que, por lo demás, convertidos en genuinos indicadores cromáticos, nos revelan las limitaciones ecológicas de los mares y tierras mediterráneos (Almenar, 2000b). Así surgieron en Van Gogh sus obras más famosas.

Contaminación atmosférica y cambio climático

El que Turner se convirtiera en el primer pintor del «nuevo industrialismo», reflejando en sus cuadros el *smog* atmosférico producido por fábricas, talleres, ferrocarriles y hogares, ¿no se encontraba conectado, si no directamente ligado, a que hubiera estado inmediatamente antes influido por «la niebla y la luz» que produjo en la atmósfera europea la erupción del Tambora?. Y tal semejanza en los efectos ópticos del vulcanismo natural y del industrialismo antrópico, manifestada por el artista, ¿no presagiaba una cierta identidad entre lo uno y lo otro, no ya en sus efectos ópticos, sino en sus consecuencias climáticas?. ¿No se adelantaba -con Turner- el arte a la ciencia en barruntar tal identidad, con independencia de que el pintor nada supiera ni de las implicaciones ópticas ni de las climáticas de las erupciones volcánicas o de las emisiones industriales?. La impresión estética, ¿no alcanzó a ir -al menos en este caso- por delante del análisis científico?.

Porque cualquier investigador que a lo largo del siglo XIX estudiara la composición y las características del aire de los distritos indus-

triales, se habría apercibido de su similitud con las partículas, aerosoles y gases vertidos por las grandes erupciones volcánicas acontecidas en ese mismo siglo, las provocadas por el Tambora y el Krakatoa. Y si éstas habían producido un enfriamiento generalizado del clima planetario en los meses (incluso en los años) inmediatamente posteriores a su ocurrencia, probablemente nuestro investigador concluiría que la rápida extensión de la industrialización –íntimamente ligada a la quema de un combustible fósil como el carbón- debería provocar idéntico resultado. Era verdad que las descargas a la atmósfera derivadas de la industrialización resultaban cuantitativamente muy inferiores a las generadas por las grandes erupciones volcánicas (que además, alcanzaban la alta atmósfera, la *estratosfera*, donde en razón de su estabilidad podían permanecer muchos meses; el seguimiento de la erupción del Krakatoa mostró esa permanencia). Pero, en contraposición, las emisiones industriales eran continuadas en el tiempo, *continuadamente crecientes* habría que precisar, y no puntuales, bien que catastróficas en ciertos momentos. Así que muy posiblemente nuestro científico hubiera concluido que, caso de que la actividad humana estuviera induciendo un cambio en el clima del planeta, tal alteración antropogénica lo empujaría hacia el enfriamiento. Y conforme la industrialización fuera ampliándose, sería razonable esperar que ese efecto refrigerante cobrara con el paso de los años más y más importancia.

No obstante, en la segunda mitad del siglo XIX tal conclusión resultaba incoherente con la tendencia general que semejaba exhibir el clima planetario. A partir de 1850, la Tierra parecía que había salido ya de la Pequeña Edad de Hielo, y el rigor y el extremismo climático que la habían caracterizado fueron disipándose progresivamente. Los hechos parecían apuntar a que, o bien el efecto refrigerante de la industrialización no era tal, o bien que siendo real era lo suficientemente reducido como para no influir en el clima general del planeta. Como había indicios –aunque no del todo concluyentes- de que el clima local de las áreas industriales y urbanas envueltas en un continuado *smog* era algo más frío que el de sus alrededores por la considerable men-

gua en la radiación solar directa que recibían (aunque los fenómenos de reflexión de la luz y las múltiples combustiones existentes en el interior de esas áreas con el calor que desprendían complicaban esta conclusión), la segunda alternativa parecía ser la correcta. La actividad humana inducida por la revolución industrial no era lo suficientemente importante como para variar el clima, más allá de determinadas áreas de alta industrialización.

Y sin embargo, la anterior afirmación no resultó ser cierta: la industrialización *sí* estaba empezando a influir en el clima del planeta. Pero el origen de tal influencia no era –o no principalmente- la contaminación del aire por partículas y aerosoles descargados en las áreas industriales y urbanas, sino otra forma de contaminación atmosférica. Una contaminación que hasta ahora no hemos presentado: la provocada por los conocidos como *gases de efecto invernadero*. Para conocer primero su existencia y después su importancia, hemos de retroceder de nuevo a comienzos del siglo XIX.

Los gases de efecto invernadero

Dos decenios más tarde de la comunicación conjunta de Humboldt y Gay-Lussac al *Institut National des Sciences et des Arts* de París en 1805, en la séptima conferencia impartida por Humboldt durante el curso 1827-28 -esta vez en Berlín, en la *Singakademie*, la Academia berlinesa de Canto– Alexander von Humboldt centró su intervención en tal auditorio en las relaciones mutuas existentes entre la tierra, el agua y el aire. En ella, y a propósito de la atmósfera (*Luftmeer*, un bello término: mar de aire), relató que:

“Desde el año 1782, los seres humanos han comenzado a surcar por sí mismos ese mar de aire que rodea la superficie de la tierra y el océano [...] La ascensión más significativa, también la más importante para la ciencia, fue la emprendida en París por Gay-Lussac en el año 1804 [...] El aire que trajo de allí, y que yo analicé conjuntamente con él, demostraba por su extraordinaria

dilatación la enorme altitud a la que había sido tomado, aunque por lo demás, contenía los mismos componentes que el que nos rodea, las mismas 21 partes de oxígeno, e incluso la misma proporción de ácido carbónico, aunque esta clase de gas, que se genera sobre todo por la respiración y la combustión, es más pesado que el aire atmosférico.”

Así que Gay-Lussac y Humboldt constataron ya en 1805 que la proporción de los diferentes gases atmosféricos se mantenía constante con independencia de la altitud (incluso el ácido carbónico, «más pesado que el aire atmosférico»), al menos hasta siete kilómetros por encima del suelo. Años más tarde, mediciones efectuadas por el químico, discípulo y amigo de Humboldt, Jean-Baptiste Boussingault, publicadas en los *Annales de Chimie et de Physique* (1834), remarcaron dicha estabilidad gaseosa; investigaciones posteriores de este último autor mostraron incluso que en lugares industriales y no industriales la concentración atmosférica de ácido carbónico apenas si variaba, situándose entre las 280 y 310 partes por millón en volumen.

Cuatro años antes de la conferencia berlinesa de Humboldt había aparecido, también en los *Annales de Chimie et de Physique*, una contribución del matemático y físico Jean-Baptiste Joseph Fourier en la que realizaba una serie de cálculos para demostrar por qué el planeta Tierra no se calentaba más y más conforme iba absorbiendo, año tras año, la radiación que recibía del Sol. «La respuesta de Fourier», escribe Weart (2003), «fue que la superficie calentada emite radiación invisible infrarroja que se lleva la energía térmica al espacio». En efecto, hoy sabemos que la radiación solar que llega a la Tierra (y que Fourier, siguiendo a Herschel, denominó *calor luminoso*) es en su práctica totalidad radiación ultravioleta, visible e infrarroja corta –formas de radiación que se distinguen entre sí por su creciente longitud de onda-, y que la radiación que la Tierra reemite al espacio es en cambio, y también en su práctica totalidad, infrarroja larga (*calor oscuro*, en la terminología de Herschel y Fourier). Esta radiación infrarroja equilibra el balance térmico del planeta y evita que éste se caliente de forma indefinida.

Ahora bien, Fourier se encontró con algo en principio desconcertante. Sus cálculos mostraban que la temperatura media que la Tierra debería tener, la resultante del balance entre la radiación solar entrante y la radiación térmica saliente, era mucho más baja que la que en realidad se daba. Como relata al respecto Flannery (2005):

“Según sus cuentas, la Tierra debería ser un bloque de hielo, un sólido congelado a -15 °C. Entonces, en un arrebato de inspiración, Fourier comprendió que sus cálculos de la energía térmica eran correctos pero que no todo el calor se escapaba al espacio. Comprendió que dentro de la atmósfera había algo que retenía ese calor.”

Weart (2003) añade que «Fourier intentó explicarlo comparando la Tierra y su cubierta con una caja cerrada por una lámina de cristal», en razón a que «el interior de la caja se calienta cuando la luz del sol se introduce en ella, mientras que el calor no puede escapar». Así pues la atmósfera se comportaba como una *caja caliente*, caja de madera o corcho de color negro revestida de una o varias láminas de vidrio, con la que se puede alcanzar en su interior elevadas temperaturas. Desde el primer modelo construido en 1767 por de Saussure estas cajas calientes gozaron en décadas sucesivas de una amplia popularidad. Como la caja caliente, el *océano aéreo* atmosférico era, por tanto, transparente al *calor luminoso* (las radiaciones de onda más corta) pero opaco al *calor oscuro* (las de mayor longitud de onda). Este es el origen del hoy ampliamente popularizado «efecto invernadero». En realidad la analogía no es muy adecuada: el interior de la caja caliente o del invernadero se calienta no sólo por tal *efecto invernadero*, sino también porque ese mismo cristal impide que el aire más caliente de su interior ascienda y se mezcle con el más frío de su entorno.

Fourier creía en la estabilidad de este mecanismo de retención de calor del planeta Tierra, pero en su texto de 1824 introdujo una reflexión sobre la capacidad humana para alterar la superficie del planeta que sería profética:

“El establecimiento y el progreso de las sociedades humanas más la acción de las fuerzas naturales pueden cambiar notablemente, y en amplias regiones, el estado de la superficie del suelo, la distribución de las aguas y los grandes movimientos del aire. Estos efectos pueden hacer variar, en el curso de varios siglos, el grado de calor medio.”

Varias décadas más tarde, en 1859, el físico John Tyndall inició una serie de experimentos en su laboratorio para intentar determinar qué gases podían estar detrás de semejante efecto invernadero de la atmósfera terráquea. Probó primero con el nitrógeno y el oxígeno –los más abundantes- y concluyó que ambos eran transparentes a la radiación infrarroja larga. Entonces, como Weart (2003) describe:

“Tyndall se disponía a abandonar, cuando se le ocurrió probar con gas de hulla. Se trataba de un gas industrial compuesto en su mayor parte por metano, producido a partir de la hulla y utilizado en el alumbrado. Lo tenía al alcance de la mano, en su laboratorio, a donde llegaba por las cañerías de servicio. Y descubrió que, para los rayos de calor, aquel gas era tan opaco como una tabla. Así, la Revolución Industrial, que penetró en el laboratorio de Tyndall en forma de chorro de gas, dejó al descubierto su significado para el equilibrio térmico del planeta.”

Además del metano (CH_4) –el principal componente del grisú de las minas de carbón y del gas de alumbrado de las ciudades industriales- Tyndall pronto descubrió que también el dióxido de carbono (CO_2) era opaco a la radiación térmica; algo particularmente interesante porque, aunque es un gas muy minoritario en la composición química de la atmósfera terrestre, no lo es tanto como alcanza a ser el metano. Tyndall publicó sus resultados en 1861, en un artículo de la *Philosophical Magazine*.

Pero pronto se volcó en el vapor de agua (H_2O), ya que aunque variaba grandemente en el aire según la mayor o menor sequedad de

éste, se encontraba ordinariamente en mucha mayor proporción que el CO_2 y no digamos que el CH_4 (los tres gases que conforman en la atmósfera el *crystal de invernadero* de Fourier). En otro artículo publicado en 1863, también en la *Philosophical Magazine*, llegó a afirmar sobre el agua atmosférica que «para la vida vegetal de Inglaterra, es un manto más necesario que la ropa para los seres humanos». Añadió que «si retiráramos del aire el vapor de agua sólo una noche de verano», para asombro de sus pobladores «el sol saldría sobre una isla inmovilizada por la garra del férreo hielo» (Tyndall, 1863).

Gases de invernadero y clima planetario: Högbom y Arrhenius

Estas últimas especulaciones de Tyndall sobre el comportamiento invernadero del vapor de agua apuntaban hacia una posible explicación de los periodos glaciales que durante el Cuaternario había sufrido el planeta y que habían constatado los geólogos en años precedentes. Amplias variaciones del vapor de agua atmosférico (H_2O) podían así incidir en el clima, pero tal influencia climática alcanzaría a ser todavía mayor si también variaran las concentraciones de los otros gases atmosféricos de efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4).

En 1894 el geólogo Arvid Gustav Högbom, en un artículo editado en una revista científica sueca, afirmaba que «un simple cálculo nos muestra que la temperatura de las regiones árticas ascendería de ocho a nueve grados centígrados si el ácido carbónico aumentara dos veces y media o tres veces su valor actual» (ácido carbónico, anhídrido carbónico o dióxido de carbono son designaciones que a lo largo de la historia de la química se han empleado para designar a un mismo gas: el CO_2). Weart (2003) señala que:

“Högbom había recopilado cálculos sobre la circulación del CO_2 a través de los procesos geoquímicos naturales (emisiones de los volcanes, absorción por los océanos, etc.) y había planteado una idea rara y novedosa. Se le había

ocurrido calcular las cantidades de CO₂ emitidas por fábricas y otras fuentes industriales. Y había descubierto, sorprendentemente, que la tasa de aportación de ese gas a la atmósfera debida a las actividades humanas era, aproximadamente, la misma tasa a la que emitían y absorbían los procesos naturales.”

En su artículo de 1894, Högbom señalaba que ya «la producción actual de carbón en el mundo alcanza, en números redondos, los 500 millones de toneladas por año, o una tonelada por kilómetro cuadrado de la superficie de la Tierra». Y había que tener en cuenta que el CO₂ procedente de su quema (más de 1.800 millones de toneladas, por tanto), aunque comparativamente una masa muy pequeña en relación al dióxido de carbono total existente en la atmósfera terrestre, se vertía *año tras año* y en *cantidades ascendentes*. ¿Qué efectos alcanzaría a tener semejante liberación progresiva de CO₂ en la temperatura media terrestre, teniendo además en cuenta que un aire más caliente podría albergar una mayor cantidad de vapor de agua, otro gas que desde Tyndall se sabía que era también un gas de *efecto invernadero*?

En 1896, un compatriota de Högbom, el químico Svante Arrhenius, publicó un artículo en la *Philosophical Magazine*, la misma revista en que Tyndall había expuesto sus consideraciones en 1861 y 1863. En él, tras reseñar –rememorando a Fourier- que «en la temperatura de la Tierra y de su atmósfera impera un equilibrio» por el que «la Tierra, mediante radiación al espacio, pierde el mismo calor que el que gana absorbiendo los rayos del Sol», proseguía el camino abierto en su día por Tyndall manifestando que «he calculado la alteración media de la temperatura que tendría lugar si la cantidad de ácido carbónico se separara de su valor medio actual». Para esto último, Arrhenius acrecentó, contrastó y completó las primeras estimaciones de Högbom. A lo largo de meses y meses, durante muchas horas al día, realizó infinidad de cálculos en los que tenía en cuenta no sólo un hipotético descenso o incremento del CO₂, sino también los cambios previsibles en el vapor de agua de la atmósfera en función de que ésta se enfriara o se calentara.

Sus conclusiones fueron que si la concentración atmosférica de CO₂ caía a la mitad, el clima planetario se enfriaría unos 4 grados centígrados, descenso que podría provocar un nuevo periodo glacial. Y de manera simétrica, si la concentración de CO₂ se doblaba en la atmósfera, la temperatura media del planeta podría elevarse también 4 grados. Lo primero podría ocurrir, por ejemplo, si disminuyera drásticamente la actividad volcánica; lo segundo si prosiguiera la combustión ascendente de carbón por parte de las sociedades humanas, algo que ciertamente había acontecido a todo lo largo del siglo XIX. Ahora bien, Arrhenius estimó que la duplicación del CO₂ atmosférico a consecuencia de la quema antrópica de combustibles fósiles tardaría mucho en producirse: al menos 2000 años, según sus cálculos.

Por lo demás, ese lento calentamiento planetario no le preocupó particularmente; al fin y al cabo vivía en un frío país del norte de Europa, un continente que hasta hacía pocas décadas había estado inmerso en un subperiodo todavía frío, la Pequeña Edad de Hielo. De hecho, en un artículo posterior aparecido en la *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, escribió que «a causa del aumento del ácido carbónico en el aire, podemos esperar periodos que ofrecerán al género humano temperaturas más igualadas y unas condiciones climáticas más suaves». Y en un tono ciertamente complaciente subrayó que «estos periodos permitirán a los suelos producir cosechas mucho más abundantes que hoy» (Arrhenius, 1899).



Nueva Orleans en la segunda mitad del siglo XIX con un Misisipi por el que circulaban, gracias a los barcos de vapor, las nuevas producciones agrícolas, ganaderas y forestales de las tierras recientemente colonizadas del centro de Estados Unidos.

- IX -
**LAS CIENCIAS SOCIALES Y LAS HUMANIDADES
EN AUXILIO DE LAS CIENCIAS NATURALES**

Por qué las predicciones de Arrhenius estaban infravaloradas (I)

Dejando de lado su visión inequívocamente optimista sobre las consecuencias esperables de un cambio climático («podemos esperar periodos que ofrecerán al género humano temperaturas más igualadas y unas condiciones climáticas más suaves»), si bien –visto desde hoy- el cálculo de Arrhenius del incremento de la temperatura planetaria que provocaría una duplicación del dióxido de carbono atmosférico resulta ser básicamente correcto, el periodo de tiempo necesario para alcanzar tal duplicación según el químico sueco y premio Nobel, aparece como extremadamente dilatado. La razón no estriba en que los datos sobre la utilización humana de carbón en su época fueran sustancialmente erróneos, o que tanto Högbom como él no tuvieran suficientemente en cuenta el efecto de otros combustibles fósiles como el petróleo o el gas natural de incipiente uso todavía. Había dos razones mucho más importantes que provocaron tan falsamente tranquilizadora estimación. Estos dos motivos eran que la cantidad de CO₂ que anualmente se descargaba a la atmósfera era *mayor* que la calculada por ambos científicos, y que además las emisiones de este gas invernadero crecían *más rápidamente* de lo que ellos estimaban. Vayamos primero a analizar la segunda de tales razones, para considerar posteriormente la primera.

La segunda causa de la previsión harto optimista de Arrhenius consistía –como hemos dicho- en no haber considerado de forma adecuada el esperable crecimiento exponencial del empleo de carbón, y adicionalmente de otros combustibles como el petróleo y el gas natural, que previsiblemente lo sustituirían al menos parcialmente a lo largo del siglo XX. No es demasiado sorprendente. Incluso muchas décadas después, hasta bien entrada la segunda mitad de ese siglo XX, «casi nadie había comprendido aún el hecho prodigioso de que tanto la población como la industrialización se expandían exponencialmente» (Weart, 2003), con lo que ello significaba para la extracción de recursos (como los combustibles fósiles) o el vertido de desechos (como el CO₂), que *también* crecían exponencialmente. Y si así ocurría respecto a la gran mayoría de los expertos, incluidos los de formación científiconatural, menos aún tal «hecho prodigioso» era percibido por el gran público. Tuvo que llegar el célebre (y altamente controvertido en su momento) informe del Club de Roma *Los límites del crecimiento* (Meadows *et al*, 1972, con sus actualizaciones de 1991 y 2004) para que algo tan aparentemente elemental como la particular dinámica explosiva del crecimiento exponencial y sus efectos disruptivos sobre sistemas finitos y limitados, pasara a convertirse en una cuestión relevante (Hall y Day, 2009).

Jevons y la cuestión del carbón

Sin embargo, la inexorabilidad cuantitativa de un crecimiento exponencial y la imposibilidad de mantenerlo a largo plazo en cualquier sistema finito en extensión y limitado en recursos –como el planeta Tierra- no fue, en realidad, algo ajeno a las preocupaciones propias del siglo XIX. Un destacado exponente de la imposibilidad de mantener a largo plazo un crecimiento exponencial, fue la publicación del libro *La cuestión del carbón* en 1865, por parte del entonces joven economista William Stanley Jevons. «Escribió el libro en un verano, con la clara intención de causar sensación para conseguir un puesto de profesor». La recepción fue extraordinaria», comentan Martínez Allier

y Schlüpmann (1991). «Día a día se va haciendo más evidente», exponía Jevons al comienzo de su libro –que además de una gran acogida suscitó una polémica no menor-, «que el carbón, del que afortunadamente poseemos en excelente abundancia y calidad, es el origen de la moderna civilización industrial». Se trataba de una afirmación que ya por entonces aparecía como incuestionable. Ahora bien, «este hecho, que a ojos británicos podía verse como una bendición, era *también* un problema, al tratarse el carbón no de un recurso renovable, sino de un combustible fósil de carácter no-renovable» (Almenar, 2012). Jevons, desde luego, lo percibía con claridad:

“Una granja agrícola con un cultivo apropiado puede continuar rindiendo una cosecha constante indefinidamente. Pero en una mina no existe reproducción: una vez que ha proporcionado todo lo que puede dar, comenzará pronto su caída y descenso hasta cero.”

Y esta radical diferencia existente entre lo renovable y lo agotable tenía inexorables consecuencias para Gran Bretaña, pues como Jevons (1865) remarcaba, «mientras otros países pueden subsistir sobre la renta anual y constante de las cosechas, nosotros nos hemos de servir cada vez más de un capital, no de un interés, y que una vez convertido en luz y calor necesariamente se pierde para siempre en el espacio».

El autor de *La cuestión del carbón* exponía que durante 1861 se habían extraído casi 90 millones de toneladas de carbón de las minas inglesas. Una parte menor se había exportado (unos dos millones de toneladas a España y otras tantas a Francia, por ejemplo), pero la gran mayoría de esta extracción se había quemado en las Islas Británicas. Jevons argumentaba que en las décadas precedentes, posiblemente desde 1820, la extracción de carbón había crecido a una tasa anual media en torno al 3,5%, lo que implicaba una duplicación en la producción carbonífera aproximadamente cada veinte años («entre las décadas de 1820 y 1860, la producción anual de las minas de carbón bri-

tánicas se cuadruplicó», confirma Ferguson, 2011). Si ese crecimiento exponencial de alrededor del 3,5% anual se mantuviera durante un siglo más, proseguía Jevons (1865), se alcanzaría una producción de 2600 millones de toneladas en 1961 y el total de carbón extraído a lo largo de ese siglo superaría los 100.000 millones de toneladas. Algo poco verosímil, porque las reservas totales inglesas de carbón estimadas entonces como accesibles no llegaban a esta última cantidad.

¿Qué es lo que pasaría, en consecuencia?. Pues que semejante crecimiento exponencial *no se daría*, o al menos *no se daría en la tasa que se había producido* en el inmediato pasado (sin embargo, conviene destacar que aunque el periodo de extracción pudiera así alargarse, finalizaría de todos modos; recuérdese que estamos hablando de un recurso finito no renovable cuyo aprovechamiento crece en proporción geométrica). Ahora bien, mucho antes de que el *recurso carbón* desapareciera *físicamente*, lo haría *económicamente*. Como Jevons argumentaba convincentemente en su libro, «el carbón terminaría por menguar, los costes de extracción se dispararían y al final sólo quedarían los yacimientos más profundos, más pobres y de peor calidad, cuya explotación carecería de toda rentabilidad» (Almenar, 2012). De todo lo cual, Jevons sacaba las conclusiones pertinentes:

“Estamos enriqueciéndonos gracias a una fuente cuya fertilidad, aparentemente, no decrece a medida que nuestras demandas se incrementan. De ahí la extraordinaria y uniforme tasa de crecimiento que presenta actualmente nuestra nación. Somos como colonos que se expanden por un nuevo y rico país cuyos límites son todavía desconocidos y no se perciben [...] Y en la profundidad y dificultad creciente para explotar las minas de carbón encontraremos el difuso pero inevitable límite que entorpecerá nuestro progreso [...] Y puesto que nuestra riqueza y nuestro progreso dependen de la alta disponibilidad de carbón, no sólo deberemos detenernos sino que tendremos que retroceder.”

Jevons era perfectamente consciente de lo que suponía el carbón, no solo para la industria, sino también para el comercio británico,

haciendo mucho más fácil gracias a él la importación de recursos lejanos y la exportación de bienes industriales desde Gran Bretaña. Así, en un largo párrafo de su libro resaltaba que un «comercio ilimitado», posible gracias a «la base material de nuestros recursos de carbón», había «convertido las distintas partes del Globo en nuestros servicios tributarios». Y ponía múltiples ejemplos:

“Las llanuras de Norteamérica y Rusia son nuestros campos de cereales; Chicago y Odesa, nuestros graneros; Canadá y el Báltico, nuestros bosques maderables; Australia alberga nuestro rebaño de ovejas; y en Argentina y en las praderas del oeste de Norteamérica se crían nuestras manadas de reses; Perú nos envía su plata, y el oro de Sudáfrica y Australia fluye hacia Londres; los hindúes y los chinos cultivan el té para nosotros, y nuestras plantaciones de café, caña de azúcar y especias están por todas las Indias. España y Francia son nuestros viñedos, y el Mediterráneo, nuestro huerto de frutales; y nuestros campos de algodón, que durante mucho tiempo ocuparon el sur de Estados Unidos, se están extendiendo ahora por doquier en las regiones cálidas de la Tierra.”

Todo esto peligraba con la inevitable mengua y ulterior hundimiento de la extracción de carbón. ¿Se podía hacer algo para evitar, o al menos demorar, semejante desagradable desenlace?. Siendo optimistas cabría esperar que la mejora continuada en los rendimientos de la utilización de carbón para usos térmicos o mecánicos fuera disminuyendo las necesidades de combustible. La máquina de vapor –el destino tecnológico y económico más relevante del carbón– tal y como se comentó en el capítulo séptimo, multiplicó efectivamente su rendimiento. Pero Jevons no creía que esas indiscutibles mejoras en la eficiencia de las máquinas de vapor fueran a disminuir, ni siquiera a estabilizar, la demanda de carbón. Pensaba por el contrario que incrementarían su consumo, al hacer al carbón tecnológicamente más capaz y económicamente más competitivo en relación a otras fuentes de energía.

Otro planteamiento optimista respecto a la «cuestión del carbón» era la creencia en la emersión de nuevas fuentes de energía que sustituyeran a este combustible, fueran éstas renovables o no-renovables. Pero Jevons, «aunque no se cerraba a la posibilidad de encontrar sustitutos, pensaba que no iba a haber grandes descubrimientos de nuevas fuentes energéticas durante un buen periodo de tiempo» (Almenar, 2012). En esto Jevons volvió a acertar, porque si bien cuando publicó su libro existía ya una incipiente explotación de petróleo (que llevaba ya décadas en Bakú, en el Cáucaso, y cuya extracción comercial moderna comenzó en 1859 en Pensilvania, Estados Unidos), y la hidroelectricidad pronto iniciaría un camino particularmente prometededor, ni petróleo ni electricidad parecían tener todavía la capacidad de sustituir al carbón como energía básica de la «moderna civilización industrial».

Existían otras posibles iniciativas a emprender, bien que imbuidas de menor optimismo. Habían llegado a proponerse, como la prohibición de exportar carbón inglés a otros países, la instauración de un impuesto que gravara su extracción o la promulgación de normativas que empujaran a su ahorro. Pero, por distintas razones, Jevons no creía tampoco en ellas. Para él la cuestión del carbón podía en último término resumirse así: «tenemos que hacer una elección trascendental entre una breve, pero verdadera opulencia, y un periodo más largo, pero de continuada mediocridad» (Jevons, 1865). Y él, desde luego, puestos a elegir, se inclinaba por lo primero.

Durante el resto del siglo XIX, el crecimiento exponencial de la extracción de carbón en Inglaterra y Gales continuó, si bien a tasas algo más bajas de las que había alcanzado en décadas anteriores. En 1900, el último año del siglo, la explotación carbonífera rozó los 230 millones de toneladas; la tasa anual media de crecimiento desde 1861 se situó por debajo del 2,5%, un punto menos de lo considerado por Jevons. Ya en el siglo XX la extracción alcanzaría su máximo en 1913, año en que comenzó un largo declive, iniciado por el cese de las exportaciones carboníferas en la Primera Guerra Mundial y prose-

guido por el estancamiento económico británico en los años 20 y la depresión mundial en los años 30. Durante las décadas siguientes la expansión del petróleo, y pronto de la energía nuclear, hicieron el resto: en 1960 la producción británica de carbón apenas superó los 195 millones de toneladas, frente a los 2600 millones del cálculo de Jevons para 1961 si el crecimiento exponencial existente en su época hubiera continuado invariable.

Pero aunque la extracción de carbón inglés en las últimas cuatro décadas del siglo XIX moderó su dinámica exponencial, multiplicándose por menos de tres, la producción francesa de carbón se multiplicó por cuatro, la alemana, incluyendo hulla y lignito, por nueve, y la de Estados Unidos lo hizo por catorce. A nivel mundial, los 500 millones de toneladas que Högbom había calculado para el comienzo de la última década del siglo se convirtieron en más de 800 millones al término de la misma (otras estimaciones las aproximan a los 1000 millones), con un crecimiento anual medio, por tanto, en torno al 4,5%. A esa tasa la extracción mundial de carbón se multiplicaría por noventa entre 1890 y 1990, una cifra no muy diferente a como lo había hecho entre 1790 y 1890, multiplicadores que serían básicamente los mismos para las emisiones de dióxido de carbono provenientes de su combustión. Y si finalmente el empleo mundial de carbón solo lo hizo por ocho entre 1890 y 1990, fue porque otro combustible fósil –el petróleo, generador en su quema también de CO₂– lo hizo por ciento setenta y cinco. Sí, Arrhenius debió introducir en sus cálculos el crecimiento exponencial de la liberación atmosférica de dióxido de carbono a una tasa anual aproximada como la que en su época (última década del siglo XIX) se estaba produciendo en la extracción de carbón, o sea, a ese 4,5%.

Por qué las previsiones de Arrhenius estaban infravaloradas (II)

Había una segunda causa que, unida a la consideración inadecuada del crecimiento previsible de las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de carbón, rebajó ostensiblemente las cifras manejadas

por Högbom, los posteriores cálculos de Arrhenius y su estimación de en qué plazo se produciría una duplicación del CO₂ atmosférico: la no inclusión de las muy elevadas cantidades de dióxido de carbono precedentes, no ya de la combustión del carbón, sino provocadas por la expansión agraria humana en dilatados territorios del Globo que hasta esa segunda mitad del siglo XIX habían estado ocupados mayoritariamente por bosques y pastizales naturales. Unos ecosistemas que de forma generalizada fueron radicalmente transformados en campos de cultivo y en pastos para ganado. «En los países nuevos», señala el físico e historiador Jean Paul Deléage (1991), «el bosque [...] se taló para la roturación agrícola o para aprovisionarse de combustible a un ritmo sin precedentes». Y así, «los europeos llevaron a cabo unas deforestaciones de niveles desconocidos en las nuevas regiones que colonizaron». Tal proceso de transformación implicó la emisión de ingentes cantidades de dióxido de carbono provenientes de la quema intencionada de la vegetación o de la descomposición de la biomasa arrasada, en combinación con la conversión en CO₂ de una gran parte de la materia orgánica acumulada en sus suelos.

Y todo este proceso de agrarización –espectacularmente visible desde Norteamérica a Nueva Zelanda- no era ajeno precisamente a la industrialización carbonífera, sino que constituía un efecto secundario de la misma. Pues no se trataba simplemente de que «incluso allí donde no había en absoluto fábricas», como Mumford (1934) afirmara, «el ferrocarril distribuía suciedad y polvo». Sino que, más allá de la mera expansión geográfica del uso industrial de carbón en lugares donde antes era inexistente, «el impulso generado por la actividad agrícola de los pioneros, iniciada por la emigración a gran escala y el desarrollo del ferrocarril y los barcos de vapor» (Fagan, 2000) desencadenó la transformación agraria, primero, y la exportación rentable de sus nuevas producciones después.

Entre 1817 y el *crash* bursátil de 1929, unos 50 millones de europeos se instalaron en territorios de ultramar, fundamentalmente y por este orden, Norteamérica, Sudamérica, Oceanía, Asia y África. Se

trató, según el historiador Alfred W. Crosby (1986), «de la mayor oleada humana que haya jamás atravesado los océanos, y probablemente la mayor que nunca llegue a hacerlo». En los tiempos en que Arrhenius estaba realizando sus cálculos –las dos últimas décadas del siglo XIX- 2,6 millones de británicos, 2 millones de alemanes, 2,5 millones de italianos o 1,3 millones de españoles emigraron a ultramar. Incluso «Rusia, que había enviado a 5 millones a Siberia entre la década de 1880 y la Primera Guerra Mundial, mandó a otros 4 millones a los Estados Unidos» (Crosby, 1986). El impacto de todos estos colonos en las Nuevas Europas ultramarinas resultó espectacular. «Los recién llegados cortaron millones de árboles para despejar el terreno y poder instalar sus granjas o proveer de la leña y madera utilizaba para el desarrollo de las urbes», refiere Fagan (2000).

Durante la segunda mitad del siglo XIX en su conjunto, toda esta liberación de dióxido de carbono por el cambio en el uso del suelo, llegó a ser mucho más importante que la quema directa de carbón en industrias y hogares. Este efecto lateral de la industrialización carbonífera pasó grandemente inadvertido en esa época, y fue la causa de que tanto la emisión antropogénica de CO₂ entonces estimada por Högbom, como las previsiones sobre su futura influencia sobre el clima hechas por Arrhenius, resultaran manifiestamente infravaloradas.

Y sin embargo se conocía lo suficiente durante esa segunda mitad de siglo sobre las interrelaciones entre el suelo, la vegetación y el clima como para que semejante efecto sobre las características de la atmósfera fuera, al menos, plausible. Durante la segunda mitad del siglo XVIII y la primera mitad del XIX habían proliferado los argumentos sobre que la existencia, o por el contrario, la desaparición de bosques y arbolados, tenían una clara influencia sobre el clima local e incluso sobre la climatología regional a través de la modificación de variables climáticas como el albedo (la proporción de radiación solar incidente que es reflejada por la superficie terrestre), la temperatura, el contenido de vapor de agua en el aire y la cuantía, frecuencia o intensidad de las precipitaciones. Cabría pensar que quizás tal influencia, además

de ser local o regional, pudiera llegar a ser global; al menos si los cambios en la vegetación y los suelos preexistentes fueran extensos, continuados y profundos. La acción humana podría así tal vez alterar sustancialmente el clima planetario en su conjunto, como lo había hecho o estaba haciéndolo con otros componentes o aspectos de la naturaleza.

El cambio global antropogénico de Marsh

En 1864, un año antes de que Jevons publicara *La cuestión del carbón*, el diplomático, filólogo y políglota norteamericano George Perkins Marsh hacía lo propio con su libro *El hombre en la naturaleza o geografía física modificada por la acción humana*. Marsh había aprovechado el haber sido nombrado embajador estadounidense para viajar por el Mediterráneo y el Próximo Oriente, quedando profundamente impresionado por la degradación física y biológica de gran parte de ambas regiones provocada por una presión humana mantenida durante siglos. En *El hombre en la naturaleza*, su autor comentó la existencia de desiertos en el Próximo Oriente «sublimes pero monstruosos» que no provenían de que la naturaleza hubiera sentenciado a estos espacios con «el maleficio de la esterilidad y ruina perpetuas», sino cuyo origen era la propia acción antrópica. El legado de las antiguas civilizaciones no sólo cabía encontrarlo, pues, en las ya entonces admiradas ruinas de sus pasadas edificaciones, sino en una vegetación y unos suelos arruinados por siglos de ocupación humana. Marsh creía, por ejemplo, que en el hundimiento del Imperio Romano había jugado un papel fundamental el continuado esquilme de sus bosques y suelos.

Pero el gran mérito de Marsh fue que no circunscribió sus reflexiones en el tiempo al Mundo Antiguo, ni en el espacio las restringió a las tierras circunmediterráneas, sino que las extendió a su propia época y al Nuevo Mundo americano en que había nacido. «El hombre en todas partes es un agente perturbador», afirmaba. Y desde que el

Homo sapiens Europeae -como calificó a la población de colonos- llegó a América, una ola de destrucción fue desplazándose progresivamente de este a oeste del continente. Bosques enteros desaparecían cuando su madera se utilizaba como combustible, vigas de edificación o traviesas de ferrocarril (Marsh incluía en su libro cálculos meticulosos de la madera necesaria para cada milla de vía férrea). Las praderas se convertían en campos de cultivo (y muchos de estos acababan como terrenos yermos por obra de la erosión). Y las producciones agrícolas no sólo podían exportarse gracias a las máquinas de vapor de trenes y barcos, sino que el vapor empezó a utilizarse por primera vez ya en la propia explotación agraria: la mecanización conquistaba también al campo.

Marsh no llegó a ligar la desaparición de bosques y pastizales naturales con un cambio climático generalizado a consecuencia de la liberación consecuente de dióxido de carbono. Pero concedió gran importancia al papel de suelo y vegetación en el conjunto del clima, incluida la cantidad de vapor de agua en el aire. Completó *El hombre en la naturaleza* en Italia a mediados de 1863, el mismo año en que Tyndall publicaba su artículo sobre la importancia del efecto invernadero del vapor de agua en el clima planetario; a Marsh no le habría sorprendido. De hecho, en el capítulo de su libro centrado en los bosques, dedicaba amplios comentarios a la incidencia de las áreas forestales en la humedad del aire y de la tierra.

Enseñanzas de un científico social

El creciente uso industrial del carbón, así como la propulsión gracias a idéntico combustible de modos de transporte que posibilitaron la colonización agraria de dilatadas regiones hasta entonces no abiertas a la explotación agraria moderna incrementaron por tanto, continuada y rápidamente, las emisiones de dióxido de carbono a lo largo del siglo XIX. Sin conocer la íntima relación entre el uso humano de carbón o la transformación antrópica de los ecosistemas y las descargas de ga-

ses de efecto invernadero a la atmósfera con sus consecuencias en el clima planetario, Jevons (1865) y Marsh (1864) ofrecieron a sus contemporáneos (y a las generaciones futuras) dos libros particularmente sugerentes. Obras que anticiparon problemas, planteamientos y respuestas que hoy, más todavía que entonces, reclaman (o deberían reclamar) nuestra atención, como el deterioro progresivo de muchos de los recursos renovables disponibles para la humanidad, de un lado, y la inexorable mengua de aquellos otros de carácter no-renovable que en el inmediato pasado han sustituido parcial aunque no totalmente a los anteriores, de otro.

Hay que destacar que ambas obras, aportaciones sobresalientes del siglo XIX, no fueron escritas contra lo que en principio parecería lógico por dos científicos naturales, sino por un científico social (un economista como Jevons) y un humanista (un filólogo y diplomático como Marsh). Los dos libros eran muy diferentes: uno –el de Jevons– es una obra de juventud redactada apresuradamente; el otro una obra de madurez, el resultado de muchos años de recopilación de datos de múltiples fuentes (su dominio de lenguas clásicas y modernas le fue aquí a Marsh de gran utilidad) y de largas reflexiones propias. El libro de Jevons causó sensación y fue un inmediato éxito editorial; el de Marsh se vendió muy lentamente y no salió una segunda edición hasta diez años más tarde.

¿Qué nos aportan estas dos obras del siglo XIX para mejor comprender –y en la medida de lo posible, encarar– grandes problemas ambientales del siglo XXI, como la pérdida de biodiversidad, la degradación de los ecosistemas, los efectos de la contaminación, la extracción y declive de los combustibles fósiles o el cambio climático antropogénico, todo lo que incluimos en la expresión *cambio global antropocénico*? ¿Qué enseñanzas decimonónicas nos muestran ambas obras, *La cuestión del carbón* y *El hombre en la naturaleza*, y sus dos autores, William Stanley Jevons y George Perkins Marsh?

Comencemos por Jevons y *La cuestión del carbón*. La primera aportación de autor y obra es que un combustible fósil (como en su

tiempo era el carbón y hoy, aparte de éste, el petróleo o el gas natural) no se agotará cuando se extraiga del subsuelo la última tonelada de carbón (o el postrer barril de petróleo o el último metro cúbico de gas), sino cuando los costes de su extracción superen los beneficios de su explotación. Jevons se refería concretamente a costes económicos, o para ser más precisos, dinerarios. Este límite económico (o dinerario) puede también ampliarse y formularse en términos físicos: la explotación de un combustible fósil cesará cuando la energía que se emplee en su extracción alcance a ser la misma que se consiga con su combustión. Dicho en otros términos, cuando la tasa de retorno energético (el cociente entre energía obtenida y energía utilizada) alcance la unidad.

Pero aunque este último límite físico aparezca como más inexorable que el límite económico enunciado por Jevons, en el mundo humano del siglo XIX –y en el mundo humano del siglo XXI– el límite económico resultaba entonces o resulta ser hoy más relevante que el límite físico por una razón muy sencilla: porque la existencia o inexistencia de una actividad humana se decide en términos de costes y beneficios dinerarios, no físicos. Esta prevalencia de lo dinerario sobre lo físico explica el porqué en años recientes la obtención de etanol a partir del cultivo de maíz, por ejemplo, haya llegado en algunos países a resultar rentable dinerariamente (entre otras razones, por las subvenciones que recibía) cuando su tasa de retorno era próxima o incluso inferior a 1 (se gastaba la misma o más energía en su obtención, mayoritariamente combustibles fósiles, que la que se aprovechaba con su quema).

Una segunda enseñanza, directamente derivada de la anterior, es que cualquier extracción de un recurso no-renovable (y no digamos, cualquier extracción de éste que crezca exponencialmente a lo largo del tiempo) no puede prolongarse indefinidamente y tanto menos puede hacerlo cuanto mayor sea la tasa que alcance ese crecimiento exponencial. «En la profundidad y creciente dificultad para explotar las minas de carbón», escribió Jevons como fue comentado páginas

atrás, «encontraremos el difuso pero inevitable límite que entorpecerá nuestro progreso», lo que llevará finalmente a que «no solo deberemos detenernos sino que tendremos que retroceder». O sea, que antes o después, en función de las reservas geológicas totales, la parte de las mismas tecnológicamente explotables y la fracción de estas últimas que resulte económicamente aprovechable, la explotación de todo recurso no renovable terminará por declinar, adquiriendo entonces una dinámica de *decrecimiento exponencial* del todo punto comparable al *crecimiento exponencial* de su fase de expansión. Esto que hoy nos resulta familiar por las consideraciones que en las últimas décadas se han hecho sobre la llegada -más o menos próxima, incluso inminente- a un pico o cénit de la extracción de petróleo, está ya perfectamente formulado en el texto de Jevons.

Algo que puede considerarse como una tercera enseñanza de *La cuestión del carbón* es lo que actualmente se suele designar como *paradoja de Jevons*, que él adelantó en su libro cuando afirmó que la mejora en el rendimiento industrial del carbón -y en especial de la máquina de vapor que se alimentaba del mismo- no iba a disminuir las necesidades de este combustible, sino todo lo contrario, al aumentar su competitividad frente a otras fuentes de energía, antiguas o nuevas. Según esta paradoja, y en palabras del economista Jesús Ramos (2012), «una mejora en la eficiencia de uso de un recurso no conlleva», como parecería lógico, «una disminución del uso total del mismo, sino un aumento de las actividades económicas que lo consumen». Esto se origina porque al aumentar la eficiencia en el empleo de ese determinado recurso, se produce en paralelo una caída del precio que tenía inicialmente, lo que provoca un aumento en su demanda. En nuestro tiempo hay múltiples ejemplos de esta paradoja que Jevons enunció tempranamente en 1865: el incremento, por ejemplo, del recorrido medio de los automóviles conforme ha ido disminuyendo su consumo de combustible por kilómetro, el aumento de la capacidad de los refrigeradores al compás de su mayor rendimiento energético, o la multiplicación de puntos de luz en paralelo a la mejora en la eficiencia lumínica del alumbrado.

Una última enseñanza aportada por Jevons y *La cuestión del carbón* es una cosa algo más complicada de explicar pero que no resulta de menor importancia, sino de mayor. Quien esto escribe la calificaría como la *segunda paradoja de Jevons* para distinguirla de la primera, ya comentada. Consiste en que como Pacey (1980) describe, «la visión de Jevons sobre el futuro [...] era pesimista -demasiado pesimista, como resultó después-, pero él combinaba sus severas predicciones con una esperanza resuelta y casi irracional en el futuro de la civilización como conjunto». Puesto a elegir «entre una breve pero verdadera opulencia y un periodo más largo, pero de continuada mediocridad» (según sus propias palabras), él -tal y como se vio páginas atrás- se inclinaba por lo primero, justificándolo con la creencia -la fe, podríamos mejor decir- de que «al proseguir temerariamente nuestros instintos de crecimiento rápido podremos mantener un tejido de variada civilización, podremos desarrollar talentos y virtudes, y podremos propagar una influencia que no habría derivado de un crecimiento lento y restringido, por prolongado que fuera».

La segunda paradoja de Jevons consiste, pues, en agarrarse a una *convicción irracional* -todo un acto de fe en la capacidad humana- para superar un *análisis racional* cuyas conclusiones no son agradables: la imposibilidad de mantener (y más aún de ampliar) indefinidamente la actividad económica, la complejidad social y la influencia política de una sociedad, como la británica, que era altamente dependiente de un recurso agotable como el carbón. Una sociedad, por consiguiente, que no podía independizarse del mismo sin menoscabar drásticamente ese nivel económico, esa estructura social y ese poder político que había alcanzado gracias a su uso. No es preciso resaltar que tal dilema sigue existiendo en las sociedades industrializadas hoy -incluso aunque se caractericen ya como postindustriales- del mismo modo que en la Gran Bretaña industrial de Jevons. Y que tal como en su día este autor propuso y defendió, se repiten actualmente una y otra vez tranquilizadores mensajes bajo forma de convicciones irracionales sobre la inmensa capacidad -*infinita* incluso se llega a decir- del

género humano a la hora de resolver cualquier problema al que se enfrente.

Enseñanzas de un humanista

Continuemos ahora –un útil contrapunto a lo inmediatamente anterior- con Marsh y *El hombre en la naturaleza*. O mejor, como figuraba en el título de su segunda edición, *La modificación de la Tierra por la acción humana*. En primer lugar, cabe decir que a diferencia de Jevons que analizaba una problemática ligada a un determinado territorio (Gran Bretaña) y a un tiempo dado (el de la industrialización de su economía), Marsh se centró en el planeta Tierra en su conjunto y extendió sus consideraciones en el tiempo, *hacia atrás* (las antiguas civilizaciones del Viejo Mundo) y *hacia adelante* (los resultados esperables de la colonización del Nuevo Mundo y las probables consecuencias sobre la naturaleza ocasionadas por la moderna civilización industrial). De su examen diacrónico del pasado nació la convicción en Marsh de que la degradación de los bosques, suelos, aguas y seres vivos, ocasionada en la Antigüedad (Cercano Oriente, Mediterráneo) volvería a repetirse, ampliada e intensificada, mientras los seres humanos coetáneos y venideros no modificaran su continuada ignorancia, imprevisión y brutalidad respecto a la naturaleza. Caso de que esto último no se diera, el conjunto del planeta acabaría con su «superficie esquilada», con una «productividad mísera», se producirían «extralimitaciones climáticas» y todo ello podría llevar incluso «hasta la extinción de las especies». Nos hallamos, pues, ante el primer autor que de forma pormenorizada introduce el concepto, hoy familiar, de cambio global y que anuncia que caso de no introducir profundos cambios en el comportamiento de las sociedades humanas, el resultado podría llegar a ser fatídico.

Una segunda aportación de Marsh era su convicción de que «toda la naturaleza está unida por lazos invisibles». Por ello la acción humana sobre la naturaleza adquiere una dimensión no solo *global*, planetaria, sino *global* en todos sus sistemas y componentes, a través de múltiples y muchas veces inadvertidas teleconexiones. «Y *Man*

and Nature mostraba un ejemplo tras otro», remarca Wulf (2015). Por ejemplo «cuando un sombrero parisino inventó los sombreros de seda, los de piel dejaron de estar de moda, y eso repercutió en las diezmadas poblaciones de castores en Canadá que empezaron a recuperarse». Los efectos de la acción o de la inacción humana sobre alguna parte o componente de la naturaleza podían así repercutir en otras partes o elementos a gran distancia –en el espacio o en el tiempo- de los primeros. Si la naturaleza era un todo, también la acción modificadora humana era *totalizante*, favorecida por la particularidad de que «la influencia de la acción humana sobre el mundo natural difiere de la del animal en que no se encuentra limitada ni por compensaciones ni por equilibrios», en palabras de Marsh. En términos algo más actuales, podríamos señalar que el cambio global contemporáneo, no sólo es global por su ámbito planetario y por su alcance generalizado sobre los diferentes integrantes de la naturaleza, sino que además es *continuadamente creciente* en su globalidad.

Estas dos características apuntadas por Marsh sobre el cambio global antropogénico (global como *planetario*, global como *tomado en su conjunto*), tuvieron consecuencias. Así, el geólogo Antonio Stoppani, convencido de sus argumentos tras leer una traducción italiana de la primera edición del libro de Marsh, introdujo en 1873 el término Antropozoico para referirse al periodo Cuaternario en razón del protagonismo geológico humano en él. A su vez, en la segunda edición de su libro, *La Tierra modificada por la acción humana*, que como ya hemos dicho apareció en 1874, Marsh escribió que:

“En un capítulo anterior, hablé de la influencia de la acción humana en la superficie del Globo como inmensamente superior a la que ejercen los animales salvajes, si no es enteramente diferente. El eminente geólogo italiano, Stoppani, va más allá de lo que yo me había atrevido a exponer, y trata a la acción humana como un elemento físico enteramente *sui generis*. Según él, la existencia del hombre marca un periodo geológico que designa como Era Antropozoica”.

Más aún. Marsh llegó a augurar la posibilidad –incluso la probabilidad- de una nueva era «de imprevisiones y desmanes» en la que semejante acción antrópica sobre los suelos, la vegetación, el clima o la biodiversidad convirtiera a la Tierra «en una morada inhóspita» para el propio género humano, en el marco de lo que hoy identificaríamos como Antropoceno. Marsh se convirtió de esta manera en el *profeta del Antropoceno*. Así lo indica Martínez Alier, cuando resalta que «la palabra *Antropoceno*, para bien o para mal, está siendo utilizada para indicar que estamos en un nuevo periodo geológico [...] por la influencia de la especie humana sobre la *faz de la Tierra*, como ya decía George Perkins Marsh en 1864» (Martínez Alier y Wagensberg, 2017).

Aunque Marsh entrevió un futuro sombrío para la civilización industrial si proseguía impertérrita la dinámica degradadora de la acción humana, no veía este destino como inevitable. Por ello propuso, entre otras cosas, «la necesidad de control sobre todas las obras que, a gran escala, interfieran con las condiciones físicas del mundo orgánico e inorgánico» Citó, como ejemplos de actuaciones a controlar, la excavación de canales, la supresión de dunas litorales, la desecación de humedales, la destrucción de bosques o la introducción de especies exóticas animales y vegetales, e incluyó aquí grandes modificaciones ya realizadas o en proyecto como el Canal de Suez, la desecación del Zuiderzee holandés o el desvío del Rin. De otro lado, planteó la conveniencia «de la restauración de las armonías alteradas y del mejoramiento material de las regiones asoladas y agotadas», cuando estas situaciones de degradación se hubieran producido. O sea, lo que postulaba era, ni más ni menos, que por un lado el estudio, minimización y corrección del impacto ambiental vinculado a las grandes obras, y de otro, la restauración de aquellas áreas que previamente hubieran sido degradadas; dos cuestiones que siglo y medio después han pasado a convertirse en actuaciones habituales, incluso en rutinarias, de la gestión ambiental tanto privada como pública. De nuevo, Marsh muestra sus dotes de anticipación.

Incluso expone lo que en nuestro tiempo –desde la Conferencia

de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992- suele conocerse como *principio de precaución* (Almenar *et al*, 2000), expresado eso sí en un florido estilo decimonónico: «la ecuación de la vida animal y vegetal es un problema demasiado complicado para que la inteligencia humana pueda resolverlo; nunca sabemos cuán ampliamente alteramos las armonías de la naturaleza al arrojar al océano de la vida orgánica el más pequeño guijarro» (Marsh, 1864). Puesto que las consecuencias de las actuaciones humanas llegan a ser, por tanto, en gran medida imprevisibles, «seamos prudentes» aconsejaba Marsh a sus contemporáneos estadounidenses y «aprendamos de los errores del pasado cometidos por nuestros hermanos mayores».

Por último, Marsh fue también un pionero a la hora de advertir cambios culturales y variaciones en las pautas de consumo que conducían a un incremento de la acción degradadora antrópica. Advirtió el crecimiento en la participación de la carne y otros derivados ganaderos en la dieta de cada vez más estadounidenses, lo cual tenía graves repercusiones porque –y aquí Marsh presentaba cálculos convincentes- la cantidad de tierra que el ganado requería para alimentar a una persona era muy superior a la precisada si el alimento era suministrado por vegetales como cereales y hortalizas. Volver a una dieta menos carnívora –incluso preponderante o exclusivamente vegetariana- era para Marsh, por tanto, un loable hábito de consumo que disminuiría la presión humana sobre las tierras.

Tres decenios atrás, un filósofo, Auguste Comte –al que debemos la invención del término *sociología*, un barbarismo de dos vocablos, *socius* y *logos*, uno latino y otro griego- había adelantado en la 40ª lección de su *Curso de filosofía positiva* que entre los organismos y su entorno había una influencia recíproca. «El sistema ambiente no sabría modificar al organismo sin que éste ejerza sobre su alrededor una influencia correspondiente», afirmaba. Este enunciado comtiano era una suerte de adaptación a la interrelación organismo-entorno del principio newtoniano de acción-reacción, la tercera ley de movimiento enunciada por Newton en sus *Principios* (1687). Ahora bien, Comte

consideraba despreciable la capacidad de los seres vivos de modificar aquel *systeme ambiant*, con una única excepción: el caso del hombre, gracias a la *action collective* de la especie humana. A otro cultivador de las humanidades, George Perkins Marsh, le correspondió señalar que esa *action collective* podía ser altamente perturbadora. Aunque ello no era inevitable, o al menos no en la escala e intensidad en que tales alteraciones se estaban dando. Pues, como escribió en el inicio de la primera edición, la de 1864, de su libro:

“El objeto del presente volumen es explicar la naturaleza, y de forma aproximada, la amplitud de las modificaciones introducidas por la acción humana en las condiciones físicas del mundo en que vivimos; poner de manifiesto los peligros de la imprudencia y la necesidad de control sobre todas las obras que, a gran escala, interfieran con las disposiciones espontáneas del mundo orgánico e inorgánico y sugerir la posibilidad y la importancia de la restauración de las armonías alteradas y del mejoramiento material de las regiones asoladas y agotadas.”

El relativo retraso de las ciencias naturales

Frente a lo aportado por estos dos últimos autores, ambos cultivadores de las humanidades –un filósofo, y un filólogo y diplomático- e incluso por la contribución de un científico social como Jevons (1865), las ciencias naturales, y dentro de ellas la biología, exhibían un notable retraso todavía en el último tercio del siglo XXI en la consideración de las interacciones de los seres humanos con el resto de la naturaleza. En 1866 –y solo de pasada en una obra mucho más amplia, *Morfología general de los organismos*- Haeckel –el estudioso que había dudado en dedicarse a la biología o a la pintura, a la ciencia o al arte- introdujo el término *oekologie*, definiéndolo así: «por *oekologie*, entendemos la ciencia de la totalidad de las relaciones del organismo con el entorno, que comprende en sentido amplio, todas las condiciones de existencia». Tres años después, en una conferencia reproducida al año siguiente en una revista, la *Jenaische Zeitschrift für Naturwis-*

senschaft (1870), Haeckel identificó a la ecología como «el campo del saber (*Wissenschaft*) que concierne a la economía de la naturaleza».

Con esta última definición, el zoólogo alemán hizo una traslación terminológica desde una ciencia social (la economía) a una nueva disciplina natural, la ecología. Ahora bien, si etimológicamente ambos términos eran próximos al compartir un mismo vocablo griego (*oikos*: casa, morada; por extensión, lugar en donde se vive, hábitat), la *administración de la casa* objeto de la economía (*nomos*: regla de gobierno; más ampliamente, administración, gestión) se encontraba ya a comienzos de esos años 70 muy distante del *discurso de la casa* (*logos*: palabra, razón; por extensión, discurso, disciplina), materia de la nueva ecología, por más que la primera se restringiera a la casa humana y la segunda la ampliase al conjunto de la naturaleza.

Aproximar la administración de la casa económica al discurso sobre la casa ecológica era muy problemático en el último tercio ya del siglo XIX, época en que el distanciamiento entre las «tres culturas» (y en consecuencia entre lo científiconatural y lo científicosocial) iba rápidamente agrandándose. Y tal distancia aumentó mucho más tras el giro que sufrió la economía como disciplina social con la sustitución de los planteamientos de la escuela económica clásica por los de la neoclásica, giro en el que Jevons por cierto, con su libro *La teoría de la economía política* (1871), tuvo mucho que ver. Con esta obra Jevons dio un giro radical respecto a la temática y preocupaciones que habían centrado su anterior publicación sobre el carbón, perdiendo la oportunidad de sentar las bases de una economía ecológica o, al menos, una economía de los recursos naturales.

La incomunicación entre la nueva economía y la emergente ecología fue casi total en los siguientes decenios: concebir la economía como «la mecánica de la utilidad y del interés propio» (Jevons, 1871) y despojarla de las frecuentes referencias de la economía clásica a la esfera de las ciencias naturales (población, alimentos, recursos, etc.) no ayudó, precisamente. «Y pese a la afirmación del gran sintetizador de esta economía neoclásica, Alfred Marshall, de que la economía

“es una ciencia de la vida, más próxima a la biología que a la mecánica”, fue la mecánica física, y no desde luego la biología, la que le sirvió como modelo para estructurar sus *Principios de economía* de 1890; obra a la que pertenece, precisamente, la cita anterior» (Almeñar, 2002).

Por lo demás, la ecología como disciplina natural apenas si contaba en esos años con algo más que con su inicial definición haeckeliana (Haeckel mismo no la desarrolló); costó mucho tiempo incluso que el propio término se generalizara. Y cuando lo hizo, no condujo a superar las divisiones entre disciplinas; todavía en las primeras décadas del siglo XX se mantuvo, por ejemplo, la separación entre ecología vegetal y ecología animal, o entre ecología terrestre y ecología acuática, y dentro de esta última, entre limnología (aguas dulces) y oceanografía (mares y océanos). Y hasta los años 20 de ese siglo no surgió lo que se podría empezar a calificar como *ecología humana*, la aplicación de los planteamientos, conceptos y métodos de la ecología general al caso concreto de la especie humana y de los ecosistemas mayor o menormente humanizados (Acot, 1988; Deléage, 1991).

Tuvo que llegar la segunda mitad del siglo XX (y más concretamente su último tercio) para que la ecología alcanzara un peso reconocido dentro de la biología y del conjunto de las ciencias de la naturaleza, y una –para muchos sorprendente– popularidad fuera del ámbito estrictamente académico. El origen de una y otra cosa se encontraba en la percepción científica y social de lo que aparentaba ser algo nuevo: las distintas (y múltiples) manifestaciones de una crisis ambiental generalizada. Crisis derivada de una serie de alteraciones antrópicas a escala planetaria (todo un cambio global) que demandaba para mejor ser comprendida y afrontada, igualmente de una ecología global, *global* en el doble sentido que repetidamente hemos dado en el presente libro a esta palabra: planetaria e integrada. Ahora bien, es justo señalar que, en realidad, esta ecología global no hubo de esperar al siglo XX para su aparición; fue –al menos incipientemente– una aportación también del siglo XIX, como tendremos ocasión de examinar en el próximo capítulo.



Retrato de Humboldt, por el pintor J.A. Stieler. Sostiene en él un ejemplar de Kosmos, su última magna obra, cuyo primer volumen fue publicado en 1845 y el último tras la muerte de su autor en 1859.

- X -

UNA ECOLOGÍA GLOBAL PARA COMPRENDER EL CAMBIO GLOBAL ANTROPOCÉNICO

La fundación de una ecología global: Humboldt

«¿Retroceder una vez más a los comienzos del siglo XIX para rastrear los orígenes de una ecología global?», quizás pregunte sorprendido el lector. En efecto, porque el nacimiento de tal ecología global –una aportación conceptual clave para comprender y afrontar nuestra alteración planetaria antropocénica- no tuvo que esperar ni a la primera ni a la segunda mitad del siglo XX. Surgió en los primeros años del siglo XIX, incluso en los últimos del siglo XVIII. Y semejante nacimiento está estrechamente ligado a un hombre en particular, un practicante en su propia persona de las «tres culturas», y al que en diferentes capítulos hemos tenido ya ocasión de presentar: Alexander von Humboldt. Y está vinculado también a un año concreto, 1799, y a un determinado lugar, Madrid.

Con el nuevo año de 1799, Humboldt y su acompañante, el botánico Aimé Bonpland, cruzaron a pie los Pirineos por La Jonquera. Venían de Marsella -desde donde habían intentado infructuosamente viajar al norte de África-, y su intención inicial era llegar hasta Cádiz y embarcarse a las Antillas holandesas. Humboldt y Bonpland atravesaron el principado de Cataluña y el reino de Valencia antes de dirigirse a través de la amplia planicie de La Mancha hasta Madrid, donde llegaron a finales de febrero. A lo largo de todo el recorrido hicieron múltiples mediciones longitudinales, latitudinales y altitudinales con las que elaboraron una nueva –hasta entonces- imagen orográfica de la Península Ibérica.

Llegados a Madrid cambiaron de planes. En el mes de marzo –gracias a varios contactos extranjeros y a la decisiva intervención del primer secretario de Estado, Mariano Luis de Urquijo, *ilustrado* y traductor de Voltaire- Alexander fue recibido por el rey y la reina en la corte de Aranjuez. Les expuso su intención de viajar a la América española y les entregó una Memoria junto a una relación autobiográfica. Lo que hasta ese momento podría haber parecido impensable ocurrió, y el rey Carlos IV autorizó su viaje. Como el propio Humboldt escribió años después, «obtuve dos pasaportes, uno del primer secretario de Estado y otro del Consejo de Indias. Nunca había sido concedido a un viajero un permiso tan amplio; nunca un extranjero había sido honrado con tal muestra de confianza por el Gobierno español» (Humboldt, 1814). Humboldt y Bonpland podían recorrer con entera libertad –eso sí, corriendo con los gastos de la expedición- todas las posesiones españolas de ultramar.

Y no solo con entera libertad. El documento expedido por Urquijo era bien explícito. «A fin de continuar el estudio de las minas, y hacer colecciones, observaciones y descubrimientos útiles para el progreso de las ciencias naturales», se ordenaba a diferentes autoridades «que no pongan embarazo alguno en su viaje a Don Alexander Federico, barón de Humboldt, y a su ayudante o secretario Bonpland, ni le impidan por ningún motivo la conducción de sus instrumentos de física, química, astronomía y matemáticas», ni el hacer «las observaciones y experimentos que juzguen útiles», al igual que «el coleccionar libremente plantas, animales, semillas y minerales, medir la altura de los montes, examinar la naturaleza de éstos y hacer observaciones astronómicas». «Por el contrario», continuaba el documento, «quiere el Rey que las personas a quienes corresponda, den al expresado D. Alexander Federico y a su ayudante todo el favor, auxilio y protección que necesiten» (Puig-Samper, 2005).

Humboldt había redactado para conseguir el beneplácito real una breve Memoria escrita en francés y fechada en Aranjuez el 11 de marzo de 1799. Conseguida la autorización regia (¡y en qué términos: nadie había logrado algo así!). Alexander envió desde Madrid –entre

otras muchas- una carta, esta vez en alemán, a su amigo David Friedländer, fechada justamente un mes después, el 11 de abril de ese año. En esos dos escritos –que exponen los objetivos de su viaje a América- se encuentra el nacimiento de una nueva ciencia, seguramente sería más adecuado decir de una nueva visión, una por entonces novedosa perspectiva en el conocimiento de la naturaleza que hoy podemos designarla adecuadamente como *ecología global*. Y empleando aquí, una vez más, el calificativo *global* en los dos significados que puede tomar este término y que profusamente hemos empleado a lo largo de este libro: *referido al Globo terráqueo y tomado en su conjunto*, respectivamente. Vayamos al primero de estos dos sentidos, tal y como quedó reflejado en el primer documento. Humboldt (1799a) se expresó así:

“Dedicado desde hace varios años al estudio de la naturaleza en Europa, deseo ardientemente trasladarme a esta parte del Globo cuyas comarcas, las más bellas y las más vastas, gozan de las gracias de Vuestra Majestad. Los progresos que han hecho desde hace algún tiempo las ciencias químicas y físicas, el uso de nuevos instrumentos contruidos para analizar la atmósfera, [...] la reunión de todos estos medios, auguran una rica cosecha al naturalista observador. No es, Señor, más que en la inmensa extensión de los reinos sometidos a vuestro cetro, donde puede estudiarse la composición del Globo, medir las capas que lo integran, y reconocer las relaciones generales que unen a los seres organizados.”

Como Humboldt expuso en este texto, llevaba dedicado «varios años al estudio de la naturaleza en Europa». Antes había pasado brevemente por las universidades de Frankfort del Oder y Gotinga y por la Escuela de Comercio de Hamburgo, estudiando finalmente en la célebre Escuela de Minas de Freiberg en Sajonia. Tras graduarse en ella en 1792, y con solo 22 años, fue nombrado inspector auxiliar del departamento de Minas de Prusia; pocos meses más tarde se convirtió en inspector jefe. Heredero de una considerable fortuna tras la muerte de su madre en 1796, al año siguiente renunció a su cargo

en la Administración prusiana (en la que muy probablemente hubiera llegado a ministro en pocos años). Se capacitó para usar múltiples instrumentos científicos e hizo diferentes tentativas de unirse a expediciones fuera de Europa. El fracaso de todas estas tentativas es lo que le llevó a España.

La mención a los instrumentos científicos en la Memoria dirigida a Carlos IV era plenamente pertinente. En los dos años anteriores, Humboldt reunió lo que sin duda era la mejor colección privada europea de los mismos. «Había adquirido más de cincuenta instrumentos científicos, en su mayor parte procedentes de Francia y Gran Bretaña», destaca el ingeniero Max Seeberger (2005); «el resto lo adquirió en Alemania, Italia, Suiza y España». Se trataba de «un instrumental que con su embalaje bien podía pesar unos 300 kilogramos»; solo el cuadrante de grandes dimensiones que llevaba consigo (y que resultó poco útil) precisaba todo un baúl que se cargaba entre dos mulos. Pero el instrumento más delicado de transportar era un barómetro de mercurio con el que podía medir la altitud; gracias a él – y a dos sextantes para medir la latitud y un cronómetro para averiguar la longitud- Humboldt pudo establecer un perfil de la Península Ibérica desde Valencia hasta Galicia, que mostró por primera vez que el interior de la Península era una meseta.

Pero era en la invocación a «la inmensa extensión de los reinos sometidos a vuestro cetro» donde aparecía la perspectiva global, planetaria, de Humboldt. Porque el escrito argumentaba que era, precisamente en esa dilatada extensión del planeta, «donde puede establecerse la composición del Globo, medir las capas que lo integran, y reconocer las relaciones generales que unen a los seres organizados». La carta que escribió a Friedländer un mes después (Humboldt, 1799b) partía de esa dimensión planetaria de su viaje americano, pero tras ella emergía el otro significado de la palabra *global*:

“Dirija Vd. una mirada al continente que pienso recorrer, desde California hasta la Patagonia. ¡Cómo me deleitaré en esta naturaleza inmensa y novedosa

[...] Coleccionaré plantas y animales, estudiaré y analizaré la temperatura, la elasticidad, el contenido magnético y eléctrico de la atmósfera, determinaré longitudes y latitudes geográficas, mediré montañas, por más que todo esto no sea la finalidad de mi viaje. Mi verdadera y única finalidad es investigar cómo se entretejen todas las fuerzas naturales, la influencia de la naturaleza muerta sobre el mundo viviente, animal y vegetal. De ahí las quejas de quienes no saben lo que pretendo cuando afirman que trato demasiadas cosas a la vez.”

Con este texto, la *globalidad espacial* pasó a convertirse en *globalidad funcional*. Ya no se trataba sólo de explorar y estudiar una muy considerable parte de la esfera terráquea, sino hacerlo además de una forma integradora, tratando de percibir las relaciones entre los factores abióticos (latitud, altitud, temperatura, magnetismo, electricidad...) y los seres vivos, vegetales y animales. En esta línea, y como afirma el historiador Frank Holl (2005a), «las enciclopedias actuales definen el lema *ecología* prácticamente con las mismas palabras que Humboldt utilizó hace doscientos años, cuando aún no existía el término».

Porque a Humboldt, aunque ineludiblemente lo precise, «no le basta con observar, describir, anotar y clarificar; ni siquiera se contenta con hacer determinados experimentos al aire libre. Pretende descubrir la unidad en la diversidad a través de esa interacción conjunta de todos los componentes de la naturaleza, de las influencias mutuas de lo orgánico y lo inanimado, de los lazos entre las distintas formas que adopta una misma vida» (Almenar, 2000a). He aquí una finalidad, un explícito propósito del viaje americano ciertamente coincidente con el ámbito de estudio que, dos tercios de siglo después, establecería Haeckel para la ecología como nueva disciplina: «la ciencia de la totalidad de las relaciones del organismo con el medio» (Haeckel, 1866).

No obstante, si bien la «ecología» vislumbrada por Humboldt comparte con la ecología de Haeckel esta pretensión totalizante, y por consiguiente *global* en el sentido de considerar los componentes y procesos naturales en su conjunto, se diferencia de esta última en su objeto fundamental y en su escala de aplicación. El sujeto de la ecolo-

gía haeckeliana es el organismo o la especie; el de la ecología humboldtiana, el conjunto de la vida en el Globo terráqueo, el otro significado del término *global*. A semejanza de la distinción hoy existente –y generalmente aceptada– en la ciencia económica entre microeconomía y macroeconomía (la primera centrada en la interacción de agentes económicos simples; la segunda en el análisis de grandes agregados económicos), podríamos caracterizar a la ecología haeckeliana como *microecología* y a la ecología humboldtiana como *macroecología*. Es verdad que Humboldt más bien vislumbró dicha macroecología que llegó a materializarla de manera efectiva y sistemática en sus trabajos, pero en tal empeño fue mucho más lejos que Haeckel y su microecología, área científica que este último apenas si practicó.

Tal macroecología inaugurada por Humboldt es, pues, doblemente global: en su escala de aplicación (los continentes, los océanos, la atmósfera, la superficie total del planeta Tierra) y en su pretensión de estudiar el conjunto de seres vivos y de factores ambientales en interacción. En cuanto a lo primero, Humboldt se adelantó un siglo al concepto de *biosfera*, «la región de la corteza terrestre ocupada por la vida» del geoquímico Vladímir Vernadsky (1929), y siglo y medio a la concepción de *ecología global* del climatólogo Mijaíl Budiko (1980). Respecto a lo segundo –la búsqueda de una aproximación a la naturaleza en su conjunto–, fue alimentada por Alexander a lo largo de toda su vida. *Der Einheit in der Vielheit*, la unidad en la multiplicidad, se convirtió para él, no en un simple lema o una mera declaración de intenciones, sino en un principio-guía para el conocimiento de los componentes y procesos naturales en interacción. «En esta gran cadena de causas y efectos», escribió en la introducción de la edición alemana de su *Ensayo sobre la geografía de las plantas* (1807), «no puede estudiarse ningún hecho de manera aislada». Algo a lo que ya se había referido al final del extracto de la carta que envió a Friedländer, antes citado: «de ahí las quejas de quienes no saben lo que pretendo cuando afirman que trato demasiadas cosas a la vez».

La inclusión de lo humano en la ecología global

Otra característica propia de la ecología global humboldtiana, que contrasta con el origen y evolución de la ecología haeckeliana, fue, desde su inicio, la plena inclusión de lo humano y de la acción antrópica en ella. A diferencia del tortuoso camino que tuvo que recorrer la ecología reglada –la de origen haeckeliano– hasta desembocar en una ecología humana como subdisciplina de la ecología general, en la macroecología humboldtiana los seres humanos y los efectos de las actuaciones antrópicas fueron desde el primer momento tenidos en cuenta. Como expone la biógrafa de Humboldt Lucrecia Maldonado (1984), «Humboldt quiso demostrar siempre que el hombre depende del suelo, del clima y de la vegetación, como la vegetación depende de los fenómenos físicos y estos, a su vez, dependen unos de otros. El estudio de un punto no era nunca independiente del conocimiento global de la Tierra». En efecto, Alexander siempre estuvo fascinado con «las conexiones que unen todos los fenómenos y todas las fuerzas de la naturaleza», como volvió a exponer en el primer volumen de *Cosmos* (1845), su última y prolija obra. *Alles ist Wechselwirkung*, todo está interrelacionado, escribió en distintas ocasiones.

Cuando Humboldt ejerció de inspector de Minas prusiano en la Alta Franconia entre 1792 y 1797, aparte de fundar para los mineros (en Bad Steben, en el Fichtelgebirge) una de las primeras escuelas de formación profesional que existieron en Alemania –que pagó de su bolsillo, algo que sería habitual en Alexander a lo largo de su vida– y de multiplicar exitosamente las producciones mineras, dedicó mucho tiempo a otras dos cosas. Por una parte, «inventó un respirador y cuatro lámparas de seguridad» (Botting, 1973), lustros antes de que Davy y Stephenson diseñaran las suyas; y en segundo lugar se preocupó por la falta de suficiente madera para las instalaciones mineras y fábricas derivadas. «A través de las cartas de Humboldt y de sus informes», destaca Weigl (2005), «se percibe como hilo conductor la cuestión de cómo podría reducirse el tan elevado consumo de madera en la minería y en las fundiciones. Humboldt se enfrentó a esa gra-

ve escasez de madera mediante mejoras técnicas, a través de medidas de reforestación y fomentando su sustitución por otras fuentes de energía», incluido el carbón o el sol.

Como alumno aventajado en la Escuela de Minas sajona de Freiberg, Alexander debió conocer las enseñanzas de otro inspector de minas sajón, Carl von Carlowitz, que en su *Sylvicultura oeconomica* (1713) se había enfrentado a idéntico problema. Carlowitz estaba ya muy preocupado por la sobreexplotación forestal y la falta de actuaciones de conservación de los bosques y de reforestación. «No se deberían talar las reservas de madera madura hasta asegurarse de que a cambio se hayan regenerado suficientes árboles» (Carlowitz, 1713). Y de esta manera «von Carlowitz introdujo en el discurso culto de la época el adjetivo de *nachhaltige*, sostenible» (Almenar, 2015), a fin de designar toda actuación forestal, no sólo para el «beneficio de la comunidad», de los humanos coetáneos, sino también para el de la «estimada posteridad», las generaciones futuras.

Así pues, cuando Humboldt y Bonpland pusieron pie en el continente americano –tras partir de La Coruña curiosamente el 5 de junio de 1799, fecha en la que actualmente se celebra el Día Mundial del Medio Ambiente- llevaban consigo múltiples experiencias de insostenibilidad forestal en Europa y también algunas de sostenibilidad. Pero, al menos en Humboldt, resalta Weigl (2005), «América, que entonces se veía como una tierra virginal le abrió también los ojos [...] respecto a la influencia del ser humano sobre su entorno». En los meses siguientes a su llegada a tierras venezolanas, Humboldt reflejó repetidamente esa influencia antrópica. En su *Diario* escribió (Weigl, 2005):

“Los propios ríos son actualmente menos caudalosos. Las cordilleras de los alrededores están deforestadas. Falta bosque para alimentar el vapor de agua, y proteger el suelo que se empapa de agua de una evaporación rápida. Como el sol provoca en todos sitios una evaporación libre, no se pueden formar los manantiales. Incomprensiblemente en la cálida América, tan escasa de agua en invierno, se desmontan los bosques tan furiosamente como en Franconia, provocando al mismo tiempo escasez de madera y de agua.”

Los viajeros visitaron el lago de Valencia, desagüe de una cuenca endorreica –sin salida al mar-, cuya continuada disminución del nivel de sus aguas preocupaba a algunos residentes. Tras examinar el lago y sus alrededores, Humboldt apuntó a dos causas, ambas de origen antrópico, que se hallaban detrás de dicha reducción. La primera era la detracción de caudales para el regadío de cultivos hídricamente intensivos, como la caña de azúcar, el algodón o el índigo. La segunda, la destrucción de la selva de la cuenca y la degradación edáfica consiguiente. (Un cuarto de siglo más tarde, y tras años de guerra, Boussingault constató que el nivel de las aguas del lago había crecido al compás del abandono de las plantaciones y la recuperación espontánea de la selva, tal y como explicó en una contribución a los *Annales de Chemie et Physique* publicada en 1837).

Encontrándose en América, Humboldt percibió que toda la tradición sostenibilista forestal europea, iniciada junto a otros precursores por Carlowitz, era todavía más válida allí; en las regiones tropicales y ecuatoriales, más aún que en las templadas. Y enunció una máxima general de sostenibilidad que fue repetida y difundida múltiples veces a lo largo del siglo XIX: «si se talan los árboles que se encuentran en las cumbres y laderas de las montañas, se produce un doble daño a las generaciones venideras en todas las zonas climáticas: escasez de leña y de agua», sentenció Humboldt en su *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente* (1814). Además, llegó hasta afirmar que los efectos provocados por semejante degradación vegetal y edáfica no quedaban circunscritos al ámbito local, ni siquiera al regional, sino que podrían afectar al clima a una escala suprarregional.

Ni la deforestación ni el regadío agotaban los casos de influencia antrópica sobre el clima. Humboldt incluyó también el efecto de determinadas infraestructuras. Así en la meseta mexicana, y en referencia al Real Desagüe, construido en el siglo XVII, «vio con mucho escepticismo esta obra pública», relatan Holl y Fernández (2002). «Por una parte admitía que el Desagüe servía para un drenaje eficaz de la capital, pero por otra aducía que el canal contribuía a desaguar cada

vez más las fértiles tierras de cultivo de los alrededores del Valle de México». La natural aridez climática en la meseta se intensificaba así por la disminución de la evapotranspiración de los humedales desecados. Humboldt en su *Diario* comentó lacónicamente al respecto que «los españoles tratan al agua como si fuera un enemigo», añadiendo con cierta amarga ironía: «parece que quieren esta Nueva España tan seca como el interior de la antigua. Pretenden que el aspecto físico del paisaje se parezca a su postura moral, y eso lo logran bastante bien» (Holl y Fernández, 2002).

Tras su viaje a Siberia y Asia Central efectuado en 1829, Alexander se convenció aún más de la capacidad humana de transformar y alterar el clima. En su libro *Asia central, investigaciones sobre las cadenas montañosas y la climatología comparada* (1843), estableció tres grandes procesos de cambio climático antropogénico: la regresión de la vegetación y la degradación de los suelos; la irrigación generalizada con su detracción de caudales; y «las grandes masas de vapores y gases» vertidos por la industrialización. La tercera y última de estas causas era nueva; no había aparecido en sus escritos de Venezuela o México. Pero a esas alturas del siglo XIX, las emisiones a la atmósfera de los cada vez más numerosos centros industriales eran lo suficientemente llamativas para incluirlas como potencial agente de cambio climático, con un alcance que quizás empezara a rebasar lo meramente local o incluso regional.

Todas estas reflexiones efectuadas por Humboldt (efectos de la deforestación y degradación edáfica, impacto de infraestructuras, cambios del clima, etc.) tuvieron gran influencia en Marsh. También se adelantó a Jevons en algunas de las consideraciones expuestas en *La cuestión del carbón*. Por ejemplo, las diferencias existentes entre una granja agrícola y una mina. En su *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España* (1811), Humboldt afirmaba ya que, a diferencia de las producciones mineras, «el único capital que crece con el tiempo es el producto de la agricultura». Algo bien conocido por Humboldt, que de minas sabía bastante más que Jevons...

Observar, medir, pensar, sentir

Alexander siempre valoró sobremanera la observación, la experimentación y la cuantificación. No importaba que estuviera en las selvas del Orinoco, en los volcanes de los Andes, en la altiplanicie de México o en la cuasi-infinita planicie siberiana. Hacía mediciones diurnas y nocturnas de casi cualquier cosa medible: la temperatura, la presión atmosférica, la humedad del aire, la carga eléctrica de la atmósfera, el grado de azul del cielo, la inclinación y declinación magnética, etc. Era un perfeccionista; la falta de rigor en las mediciones –ya fueran astronómicas, geográficas, meteorológicas o geomagnéticas– le exasperaba. Su insistencia en medir se convertía fácilmente en obcecación y ésta llegaba a derivar a simple y llana obsesión. Un ejemplo. Cuando contra su voluntad volvió a Berlín durante las guerras napoleónicas, realizó en esta ciudad entre 1806 y 1807 unas 6.000 medidas de declinación magnética (el desvío de la aguja imantada respecto al norte geográfico). Durante una «tormenta magnética» (término acuñado por Humboldt y que alcanzó la popularidad) estuvo siete días con sus correspondientes noches sin dormir, tomando una lectura cada media hora; una experiencia que en palabras de Alexander le dejó simplemente «un tanto cansado». Es que Humboldt era verdaderamente incansable y no dejaba que nada se interpusiera en su trabajo. En los tiempos en que vivió modestamente en París, cuando se le agotaba el papel escribía en la mesa de madera de su habitación; una vez que quedaba repleta de cifras y fórmulas llamaba a un carpintero para que la lijara y así poder disponer de ella en otra ocasión.

Pese a que en algunos momentos de su vida Alexander viera con simpatía los planteamientos filosóficos de la *Naturphilosophie*, la Filosofía de la Naturaleza alemana en boga a comienzos del siglo XIX, e incluso se carteara con Friedrich Schelling –su principal exponente–, la aplicación de la misma al estudio de las ciencias naturales no le convenció. En ninguna etapa de su vida pretendió Humboldt sustituir por la intuición, la deducción o la pura y simple revelación (como algunos *Naturphilosophen* proponían) las tareas de observación, experimenta-

ción y cuantificación. «Insistía en que resultaban imprescindibles para contrastar las conjeturas y condenaba la falsa idea de que la naturaleza puede entenderse con la sola imaginación o con las puras ideas» (Fernández, 2002). Lo cual no quería decir que apartara lo sensitivo, lo emocional y lo imaginativo en el acercamiento a la naturaleza. Todo lo contrario. En la introducción al primer tomo (1845) de su última y erudita obra, *Cosmos*, Alexander confesaba que el conocimiento «nunca podría matar la fuerza creativa de la fantasía». Pero esta aceptación de lo imaginativo y lo sentimental, en modo alguno anulaba en él la valoración del conocimiento empírico, liberado de las especulaciones de la Filosofía Natural. Esa misma introducción de *Cosmos* le sirvió a Alexander para exponer el planteamiento general de su libro y del conjunto de su actividad científica:

“Extraño a las profundidades de la filosofía puramente especulativa, mi ensayo sobre el cosmos es la contemplación del universo fundada en un empirismo razonado; es decir, sobre el conjunto de hechos registrados por la ciencia y sometidos a las operaciones del entendimiento que compara y combina.”

Así pues el acercamiento a la naturaleza –una unidad en su diversidad, una *realidad integrada*- tal como Humboldt defendía, debía de ser igualmente una *aproximación integral*, que abarcase también la unidad en su diversidad propia del sujeto; no solo de la capacidad intelectual de éste, sino de su intensidad emocional; no solo de su raciocinio, sino de su sentimiento; no solo de valoraciones cuantitativas, sino también de vivencias cualitativas. Para Alexander, la luz diurna de la razón y la magia nocturna de la emoción eran partes del mismo día; no cabía sacrificar una parte a la otra.

Ya en su viaje a América –y más tempranamente, desde su ascensión al Teide en la escala hecha en las Canarias-, «Humboldt construía el conocimiento científico desde una posición romántica, donde se superpone lo mensurable, como elemento objetivo, con la impresión sensorial del viajero, como elemento subjetivo» (Puig-Sam-

per y Rebok, 2007). Como dice la geógrafa Josefina Gómez Mendoza (2005) respecto a la percepción del paisaje propia de Humboldt, «en la concepción romántica, la naturaleza es entendida, y sentida, como una totalidad viva y organizada». Si Davy describía en una página sus experimentos, y en la siguiente las sensaciones subjetivas que le provocaban, Alexander intentaba conjugar ambas cosas (con suerte diversa, es verdad) en sus descripciones de paisajes.

Como Humboldt muy probablemente compartiría, sentir y pensar, emocionarse y medir, contemplar y experimentar no resultan ser manifestaciones contrapuestas –menos aún, antitéticas- de la experiencia vital del ser humano. Amputar una parte de esa experiencia vital, con la intención de magnificar la otra, no lleva sino a empobrecer la vida humana en su totalidad.

Humboldt como exponente de una única cultura

Si Alexander intentó (y en gran medida consiguió) integrar la observación, el análisis, la reflexión, la sensibilidad y la emoción en el conjunto de su obra, fue porque era un destacado representante de aquel tiempo particular, un tiempo en que como Johnson (1991) detallaba en el tercer capítulo de este libro, «la física y la química, la ciencia y la ingeniería, la literatura y la filosofía, el arte y el diseño industrial, la teoría y la práctica, todo formaba un *continuum* de saberes, y en él los hombres se desplazaban libremente». En buena medida Humboldt unió gran parte de todo esto en su propia persona. Ya en su nombramiento como inspector auxiliar del departamento de Minas de Prusia se justificaba tal designación, «en razón de los valiosos conocimientos tanto teóricos como prácticos que poseía en matemáticas, física, historia natural, química, artes de la minería y de la fundición, y funcionamiento general del comercio» (Botting, 1973). Tres años más tarde, en 1795, su hermano Wilhelm afirmó de él que parecía estar destinado «para conectar ideas, visualizar cadenas de cosas que a lo largo de generaciones, si no fuera por él, habrían permanecido ocultas» (Ette, 2005).

Alexander, más allá de su dominio en múltiples materias de las ciencias de la naturaleza, destacó también en el ámbito de las ciencias sociales con ejemplos sobresalientes como sus dos ensayos (geográficos, políticos y económicos) sobre el reino de Nueva España (México) y la isla de Cuba. Fue también alguien que diseñó en su juventud instrumentos mineros, y que en su madurez tuvo un importante papel en la difusión de innovaciones tecnológicas como la telegrafía o la fotografía. Y fue igualmente alguien que se sirvió de artes como la literatura y la pintura para expresar sus ideas y sensaciones.

En relación a esto último, Holl (2005b) refiere que «después de su expedición americana se cristaliza en él, de manera cada vez más clara, el objetivo de combinar ciencia y arte, no sólo en las ilustraciones de su obra, sino también en sus propios textos». Holl añade que esto se observa por primera vez en el grabado que acompañó a su *Ensayo sobre la geografía de las plantas* de 1807, texto cuya primera redacción fue hecha en Guayaquil (Humboldt, 1803), dedicada al insigne botánico José Celestino Mutis. Ese grabado en cobre –cuyo origen era una acuarela que el propio Humboldt había pintado también en 1803–, que llevaba por título *Geografía de las plantas en las tierras tropicales; una representación pictórica de la naturaleza en los Andes*, puede considerarse no sólo el comienzo tangible de la geografía de las plantas por él desarrollada, sino también el inicio de la propia ciencia ecológica. De hecho, en el mismo texto del *Ensayo*, expuso lo que no eran sino los primeros resultados de la materialización de los objetivos que se había planteado antes de salir de España, explicitados en su carta a Friedländer reproducida al comienzo de este capítulo (Humboldt, 1799b). Así, Alexander manifestaba en 1807:

“Me he propuesto reunir en un solo cuadro el conjunto de los fenómenos físicos que nos presentan las regiones equinociales desde el nivel del Mar del Sur [Océano Pacífico] hasta la cima más elevada de los Andes. Este cuadro representa la vegetación, los animales, los fenómenos geológicos, los cultivos, la temperatura del aire, el límite de las nieves perpetuas, la composición química

de la atmósfera, la tensión eléctrica, la presión barométrica, la disminución de la gravedad, la intensidad del color azul del cielo, el grado de extinción que sufre la luz al atravesar las capas del aire, las refracciones horizontales, y la temperatura del agua en su punto de hervor a diferentes alturas.”

Con independencia de que algunas de las variables físicas y químicas incluidas en este Cuadro no fueran adecuadas o relevantes, y del hecho de que no necesariamente lo que estuviera espacialmente ligado (organismos que coexistían con el valor de una determinada magnitud, por ej.) tenía por qué estarlo funcionalmente, este grabado coloreado de notables dimensiones (90 x 60 cm) y veinte columnas de observaciones y datos puede considerarse el primer resultado práctico de la ecología humboldtiana. Y además, un resultado expuesto en un soporte pictórico, o sea, artístico...

Al año siguiente del *Ensayo* publicó Humboldt su libro *Cuadros de la naturaleza* (Humboldt, 1808), cuya versión definitiva apareció en 1849. Recluido en Berlín a consecuencia de la derrota prusiana frente a Napoleón, Alexander volcó en dicha obra toda su nostalgia de las tierras tropicales «En este libro, que no contiene ninguna ilustración», señala Holl (2005b), «Humboldt pinta a la naturaleza con palabras». Más aún, en el capítulo de la edición de 1849 titulado *De la vida nocturna de los animales*, Alexander transmuta los sonidos de los bosques tropicales en genuina literatura. «Su descripción sobre la vida nocturna de la selva», escriben Holl y Fernández (2002), «es una invitación literaria para los que todavía no se iniciaron en la vida de los trópicos. Para cualquiera de los afortunados que haya pasado alguna noche en esos bosques del Orinoco, el relato no puede ser más veraz».

Cosmos o *Ensayo de una descripción física del Mundo*, fue su gran obra de madurez (podríamos quizás describirla mejor como de vejez; el primer tomo de los cuatro que se editaron en vida de su autor, se publicó en 1845, cuando Humboldt había cumplido los 75 años). En el segundo tomo de este libro, que vio la luz en 1847, Alexander incluyó una sección sobre arte y naturaleza, centrado en «los dos me-

dios que dispone el hombre para recrear la naturaleza: la palabra y el dibujo». Hacerlo así, en una obra que su autor veía «como un pormenorizado retrato científico de la estructura física del universo» (Botting, 1973), muestra el interés de Humboldt por mantener un diálogo fluido y una influencia mutua entre las dos grandes manifestaciones (ciencia y arte) de la expresividad humana. En Alexander, ya a mediados del siglo XIX, seguía permaneciendo plenamente viva una *única cultura* de carácter científiconatural, científicosocial, humanística y artística. Todo a la vez.

Humboldt y el conocimiento en red

Otra de las enseñanzas humboldtianas fue que la difusión y discusión del conocimiento es algo crucial; tan importante, si no más, que la adquisición de nuevo conocimiento. La comunicación siempre resultó para él fundamental. Por ejemplo, una gran parte de la vida intelectual de Alexander giró en torno a sus cartas. «Hay poca gente que haya escrito más cartas que él», declara Holl (2005a); al parecer superaron las 50.000 (y recibió más del doble). Botting (1973) refiere que «incluso para los niveles de su tiempo, la producción epistolar de Humboldt era prodigiosa». En efecto, «escribía entre mil y dos mil cartas al año, a menudo muy extensas y siempre de su puño y letra». Pero esta sobreabundancia epistolar aún le fue físicamente más costosa, que lo que estas cifras denotan. «Debido al reumatismo que le afectaba al brazo derecho desde su viaje a América, la escritura podía llegar a ser un sufrimiento físico», recuerda Fernández (2002), pues «tenía que ayudarse de su mano izquierda para levantar el brazo derecho».

Sin embargo siguió mandando y recibiendo cartas, hasta tal punto que pocas semanas antes de su muerte puso un anuncio en un periódico berlinés declarando que «bajo la presión de una correspondencia que no para de crecer», en la que se incluían «cartas, publicaciones sobre temas totalmente ajenos para mí, manuscritos sobre los

que se me solicita un dictamen, proyectos migratorios y coloniales, envío de modelos, máquinas y objetos naturales, preguntas sobre navegación aérea, incremento de colecciones de autógrafos, ofrecimientos a domicilio para cuidarme, divertirme y regocijarme, etc.», solicitaba públicamente «a las personas que me ofrecen su simpatía [...] que se ocupen menos de mi persona en ambos continentes y no utilicen mi domicilio como un gabinete de correspondencia, a fin de que pueda conservar mis fuerzas físicas e intelectuales, que disminuyen irremediablemente, para mi propio trabajo» (véase Holl y Fernández, 2002). Y acababa pidiendo que no se interpretara semejante «llamada de auxilio» como «una prueba de insensibilidad».

Así era Alexander, señores. ¡Disculparse por pedir un poco de tranquilidad a los 89 años! Bien, podemos coincidir con Ette (2005), que lo ha definido «como un adelantado de la Edad de la Red», el vértice de «una trama extendida por todo el mundo de intercambio de conocimientos y de información», el nodo de una «malla de transferencia intercontinental que alcanzaba a múltiples disciplinas». Siendo así, y lo era, Humboldt podía haber hecho una cosa para reducir su dependencia epistolar: descentralizar esa malla urdida en torno a su persona, convirtiéndola en una verdadera red —al ejemplo de Internet— dotada de múltiples nodos y no solo de uno de carácter preferente. Al fin y al cabo esto suponía simplemente la traslación al ámbito comunicativo de cómo veía Humboldt los fenómenos de la naturaleza, que según él respondían a «una concatenación general que no presenta una dirección simple y lineal, sino que conforma un tejido que se entrelaza en forma de red», como explicó en *Cosmos* (Humboldt, 1845).

Bueno, pues en parte sí lo hizo, aunque desgraciadamente sin abandonar, sin moderar siquiera, su desmesurada correspondencia. Con ocasión de su viaje a Siberia y Asia central, Humboldt había explicado a las autoridades rusas, «las ventajas científicas y prácticas que se conseguirían con el establecimiento de una serie de estaciones meteorológicas y magnéticas a través de la Rusia europea y asiática» (Botting, 1973). Los Estados Unidos tenían ya una red propia

de estaciones, y había otra red geomagnética en Europa organizada por Gauss, el matemático amigo de Humboldt. Valiéndose de su gran prestigio, Alexander consiguió el apoyo de la Royal Society, y finalmente del propio Gobierno británico, para la instauración de una nueva red en sus dominios, desde Canadá hasta Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda. Red que, integrada con las anteriores, formó parte de un gran esfuerzo geomagnético y meteorológico internacional impulsado por múltiples científicos de diferentes países. Hasta se envió una expedición a la Antártida comandada por James Clark Ross, que localizó el Polo Sur magnético.

Esta colaboración científica internacional –entusiásticamente apoyada personalmente por Humboldt– tuvo su continuidad en los Años Polares Internacionales de 1882-1883 y 1932-1933. Y en su directo sucesor, el Año Geofísico Internacional de 1957-1958, con motivo del cual se instalaron dos medidores continuos de dióxido de carbono en Mauna Loa (Haway) y el Polo Sur, que proporcionaron los primeros datos irrefutables del incremento de la concentración atmosférica del CO₂. Así, en 1960, tras dos años completos de mediciones, el geoquímico Charles D. Keeling pudo anunciar públicamente que la concentración de CO₂ en la atmósfera antártica había aumentado de algo más de 311 a cerca de 315 partes por millón (Keeling, 1960). Como en tantas otras cosas, la larga sombra de Alexander von Humboldt se encontraba detrás de este descubrimiento.

El esfuerzo divulgador de Humboldt

Una aportación más. «Acaso la mayor contribución de Humboldt a la cultura, ha sido su actividad de divulgación de la ciencia en una época en la que ésta era muy escasa; a través de sus múltiples conferencias, artículos y libros, transmitió a sus contemporáneos una visión rigurosa, amena y actualizada del mundo que nos rodea», exponen los astrónomos Arcadio Poveda y Christine Allen (2005). Así fue. Ya con solo 19 años, Alexander se preguntaba en una carta: «¿de qué sirven

los grandes descubrimientos si no existen medios para hacerlos accesibles a todos?» (Holl, 2005a). Medio siglo después, al escribir *Cosmos*, buscó «una forma que interesara al público instruido en general y estimulara la afición por la investigación científica entre los jóvenes profanos» (Botting, 1973).

Entre ambas fechas, Humboldt consiguió que un libro como su *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*, fuera leído durante las generaciones siguientes por una gran mayoría de los exploradores, científicos y artistas que pretendían viajar –siquiera con la imaginación– a tales regiones. «Antes admiraba a Humboldt», escribió el joven Charles Darwin en 1832 cuando desembarcó del Beagle en el Brasil tropical, «ahora casi le adoro; solo él da una idea de las sensaciones que brotan en la mente al entrar en los trópicos» (Moorehead, 1969). Y si Alexander invirtió una parte de su fortuna en los cinco años de su viaje americano, perdió el resto durante los cinco lustros siguientes en la edición de la treintena de libros resultado de tal viaje. Ya se contó en el capítulo quinto el enorme éxito de su ciclo de conferencias en Berlín, durante 1827-28, abiertas a todo el mundo (Alexander, a diferencia de las conferencias de Davy, se negó a cobrar entrada), y en las que no solía quedar ningún sitio libre una hora antes de su comienzo. Por no hablar de las incontables tertulias en las que participó a lo largo de su vida (en París, durante la tarde-noche solía asistir diaria y habitualmente a cinco).

La última enseñanza

Hay algo a resaltar en relación a su particular planteamiento divulgador. Humboldt creía en la «unidad en la multiplicidad» de la naturaleza, pero también en la unidad en su variedad de la humanidad (su rechazo a la existencia de razas inferiores, o su hostilidad a la esclavitud eran muestra de ello). E igualmente estaba convencido de la unidad en su diversidad del propio individuo humano, que no era solo racionalidad, análisis y reflexión, sino también (e indisolublemen-

te unido a lo anterior) sensibilidad, emoción y pasión. Así, en las conferencias de Berlín, «llamaba la atención sobre la compatibilidad entre la inteligencia y la imaginación, o entre el arte y la ciencia» (Fernández, 2002). Con anterioridad, Alexander le había reconocido a Schelling en 1805 que había que ir más lejos de «la árida recopilación de datos», y confesó a Goethe, cinco años más tarde, «que la naturaleza debe experimentarse a través del sentimiento» (Wulf, 2015). No *solo* del sentimiento, podríamos precisar, pero *también* del sentimiento.

De todas las enseñanzas de Humboldt vistas en este capítulo, «el pensador maestro del siglo XXI» según Ette (2005), quizás esta última sea la más importante. En la actualidad, la población humana planetaria es siete veces y media mayor que la que existía en 1815-1820, doscientos años atrás, y la actividad económica global se está aproximando a cien veces la de entonces. Frente a una expansión antrópica manifestada a través de la proliferación de seres humanos, sus cada vez más abundantes prolongaciones exosomáticas (utensilios, máquinas, vehículos, edificios, infraestructuras) y la exponencialmente creciente actividad económica posibilitada por unos y otras; frente a un cambio antropogénico del planeta que amenaza con transformarlo en Tierra, una «morada inhóspita» para el género humano como ya advirtiera Marsh en el siglo XIX; frente a una alteración tan generalizada en el espacio y tan continuada en el tiempo que ha llevado a la formulación de un nuevo periodo geológico, el Antropoceno, no parece que el mero ejercicio de la razón –incluso de una *razón ilustrada*- sea capaz de modificar expansión irrestricta y crisis global. Ni los datos desnudos, ni los hechos crudos –aunque imprescindibles- van a ser suficientes para provocar un cambio de sentido en el comportamiento exhibido por la civilización industrial en los dos últimos siglos.

Para que tal giro tenga lugar precisamos igualmente el concurso de sensibilidades, emociones, sentimientos y pasiones, toda una movilización de lo sensorial y lo afectivo. Pues siéndonos imprescindible de cara a una pervivencia humana sostenible el timón de la racionalidad (¡nadie lo dude!), el mismo no servirá de nada si, en paralelo,

no contamos igualmente con el motor de la emotividad. Sólo la sinergia entre «la inteligencia y la imaginación», entre «el pensar y el sentir» del conjunto de los seres humanos del siglo XXI, podrá llevar a comprender cabalmente y a afrontar adecuadamente nuestro actual cambio global antropocénico. Un cambio que la propia humanidad ha propiciado sí, pero que habiéndose escapado de sus manos ha adquirido una peligrosa vida propia. Otra enseñanza más –de lo más actual y pertinente- a extraer del siglo XIX...

BIBLIOGRAFÍA

Acot, P. (1988): *Histoire de l'ecologie*. Presses Universitaires de France, París. Trad. cast.: *Historia de la ecología*. Taurus, Madrid, 1990.

Almenar, R. (1991): «Desarrollo energético e informativo». En: Almenar, R.; Lapaz, J.: *Atlas de la gestión del medio ambiente en la Comunidad Valenciana*. Conselleria de Medi Ambient, Generalitat Valenciana, València, 1991.

Almenar, R. (2000a): «Ecología, economía y sostenibilidad global». En: Jiménez, L. M.; Hígón, F. J.: *Ecología y economía para un desarrollo sostenible*. Patronat Sud-Nord, Universitat de València, València, 2003.

Almenar, R. (2000b): «Los colores del Mediterráneo». En: Almenar, R.; Diago, M.: *El proyecto necesario. Construir un desarrollo sostenible a escala regional y local*. Patronat Sud-Nord, Universitat de València, València, 2002.

Almenar, R. (2002): *Desarrollo sostenible: indicadores. Su aplicación a la Comunidad Valenciana*. Tesis doctoral dirigida por el Dr. Juan Sánchez Díaz. Universitat de València, septiembre 2002.

Almenar, R. (2012): *El fin de la expansión*. Icaria, Barcelona.

Almenar, R. (2015): *El bosc protector. Una proposta per a la pervivència dels boscos valencians*. Bromera, Alzira.

Almenar, R.; Bono, E.; Garcia, E., dirs. (2000): *La sostenibilidad del desarrollo: el caso valenciano*. Universitat de València, València.

Antolín, F. (1988), «Energía e industrialización en la cuenca del Bajo Nervión 1880-1930: la explotación tradicional de la energía hidráulica». En Fernández, E.; Hernández, J.L. eds.: *La industrialización del norte de España*. Crítica, Barcelona, 1988.

Andrews, M. (1991): *The birth of Europe*. BBC Books, Londres. Trad. cast.: *El nacimiento de Europa*. RTVE-Planeta, Barcelona, 1992.

Arrhenius, S. (1896): «On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground». *Philosophical Magazine*, 41, págs. 237-276.

Arrhenius, S. (1899): «Les oscillations séculaires de la température à la surface du globe terrestre». *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, 10, págs. 337-342.

Ashby, E. (1958): *Technology and the academics*. MacMillan, Londres. Trad. cast.: *La tecnología y los académicos*. Monte Ávila, Caracas, 1969.

Bates, M. (1964): *Man in nature*. 2ª ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey. Trad. cast.: *El hombre en la naturaleza*. UTEHA, México, 1965.

Becquerel, E. (1839) : «Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires». *Comptes rendus de l'Académie de Sciences*, vol. 9, págs. 561-565.

Blanqui, A. J. (1828): «Essais sur le progrès de la civilisation industrielle des principales nations européennes». *Revue Encyclopédique*; tomo 38, junio 1828.

Blanqui, A.J. (1838) : *Cours d'économie industrielle*. París.

Blom, P. (2009): *The vertigo years*. Londres. Trad. cast.: *Años de vértigo. Cultura y cambio en Occidente, 1900-1914*. Anagrama, Barcelona, 2010.

Boussingault, J. B. (1834): «Recherches sur la composition de l'atmosphère». *Annales de Chimie et de Physique*, LVII, págs. 171-173.

Boussingault, J. B. (1837): «Mémoire sur l'in-

fluence des défrichements dans la diminution des cours d'eau». *Annales de Chimie et de Physique*, LXIV, págs. 113-141.

Botting, D. (1973): *Humboldt and the Cosmos*. Sphere Books, Londres. Trad. cast.: *Humboldt y el Cosmos*. Serbal, Barcelona, 1981.

Braudel, F. (1979): *Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XV-XVIII siècles*. Armand Colin, París. Trad. cast.: *Civilización material, economía y capitalismo: siglos XV-XVIII*. 3 vols. Alianza, Madrid, 1984.

Briavoine, N. (1839): *De l'industrie en Belgique. Causes de décadence et de prospérité. La situation actuelle*. 2 vols. Bruxelles.

Budyko, M. (1980): *Écologie global*. Ed. du Progrès, Moscú.

Buret, E. (1840): *De la misère des classes laborieuses en Angleterre et France*. 2 vols. París.

Butti, K.; Perlin, J. (1980): *A golden thread. Trad. cast.: Un hilo dorado. 2500 años de arquitectura y tecnología solar*. Hermann Blume, Madrid, 1985.

Carlowitz, H. C. v. (1713): *Sylvicultura oecologica*. Johann Friedrich Braun. Leipzig. 2 vols. Edición conmemorativa: Oekon, Munich, 2013.

Cearreta, A. (2018): «En busca de la huella humana en la geología». *El País*, 27 de mayo de 2018. Suplemento *Ideas*, pág. 4.

Clausewitz, K. v. (1831): *Vom Kriege*. Trad. cast.: *De la guerra*. La Esfera de los Libros, Madrid, 2005.

Clausius, R. (1885): *Ueber die Energievorläufe der Natur und ihre Verwerthung zum Nutzen der Menschheit*. Verlag Max Cohen und Sohn, Bonn.

Comte, A. (1830-1842): *Cours de philosophie positive*. 6 vols. Rouen Frères libraires-editeurs, París.

Crosby, A. W. (1986): *Ecological imperialism. The biological expansion of Europe, 900-1900*. Cambridge University Press, Cambridge. Trad. cast.: *Imperialismo ecológico. La expansión biológica de Europa, 900-1900*. Crítica, Barcelona, 1988.

Crutzen, P.J. (2002): «The geology of mankind. The Anthropocene». *Nature*, 415, 23.

Crutzen, P.J.; Stoerner, E.F.: «The Anthropocene». *Global Chance Newsletter*, 41, 17.

Davy, H. (1812): *Elements of chemical philosophy*. En: Davy, H.: *Collected works*. John Davy, ed. 9 vols. Londres, 1839-1840.

Davy, H. (1818): *On the safety lamp for coal mines, with some researches into flame*. En: Davy, H.: *Collected works*. John Davy, ed., 9 vols. Londres, 1839-1840.

Deléage, J.P. (1991): *Histoire de l'écologie. La Découverte*, París. Trad. cast.: *Historia de la ecología*. Icaria, Barcelona, 1993.

Derry, T. K.; Williams, T. I. (1960): *A short history of technology*. Oxford University Press. Trad. cast.: *Historia de la tecnología*. Siglo XXI de España, Madrid, 1987.

Dickens, C. (1854): *Hard times for these times*. Trad. cast.: *Tiempos difíciles*. Bruguera, Barcelona, 1985.

Diderot, D.; d'Alembert, J. R. (1751-1772): *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. 26 vols. Chez Briasson, David, Le Breton et Durand, París.

Engels, F. (1845): *Die Lage der Arbeitenden Klasse in England*. Trad. cast.: *La condición de la clase obrera en Inglaterra*. Magisterio, Madrid, 1983.

Ericson, J. (1876): *Contributions to the centennial*. Nueva York.

Escrivà, A. (2017): *Encara no és tard. Claus per a entendre i aturar el canvi climàtic*. Bromera, Alzira.

Ette, O. (2005): «Ciencia, paciencia y conciencia en Alejandro de Humboldt: un pionero fascinante de la Edad de la Red». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

Fagan, B. (2000): *The Little Ice Age*. Basic Books. Trad. cast.: *La Pequeña Edad de Hielo. Cómo el clima afectó a la historia de Europa, 1300-1850*. Gedisa, Barcelona, 2008.

Fagan, B. (2016): «El año sin verano». *El País*, 12 de junio de 2016. Suplemento *Ideas*, págs. 4-5.

Faucher, L. (1856): *Etudes sur l'Angleterre*. 2 vols. París.

Ferguson, N. (2011): *Civilization: the West and the rest*. Trad. cast.: *Civilización. Occidente y el resto*. Debate, Barcelona, 2013.

Fernández Pérez, J. (2002): *El descubrimiento de la Naturaleza: Humboldt*. Nívola, Tres Cantos, Madrid.

Flannery, T. (2005): *The weather makers. The history and future impact of climate change*. Trad. cast.: *La amenaza del cambio climático. Historia y futuro*. Taurus, Madrid, 2006.

Föhlen, C. (1971): *Qu'est la révolution industrielle?* Robert Lafont, Paris. Trad. cast.: *La revolución industrial*. Vicens, Barcelona, 1978.

Fourier, J. (1824): «Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires». *Annales de Chimie et de Physique*, 1824, págs. 136-167.

Franciscus, P. (2015): *Laudato si'. Sobre el cuidado de la casa común*. San Pablo, Madrid.

Francis, P.; Self, S. (1997): «La erupción del Krakatoa». *Temas de Investigación y Ciencia* 8, págs. 20-31, 1997.

Fritts, C. (1885): «On the Fritt's selenium cells and batteries». *Van Nostrand's Engineering Magazine*, vol. 32, págs. 388-395.

Funtowicz, S. (1997): «Problemas ambientales complejos y ciencia post-normal». En Universitat Politècnica de Catalunya: *¿Sostenible? Tecnología, desarrollo sostenible y desequilibrios*. Icaria, Barcelona, 1997.

Funtowicz, S.; Ravetz, J. R. (2000): *La ciencia post-normal*. Icaria, Barcelona.

Goethe, J. W. v. (1790): *Versuch die Metamorphose der Pflanzen zu erklären*. Gotha.

Goethe, J. W. v. (1809): *Die Wahlverwandtschaften*. Trad. cast.: *Las afinidades electivas*. Cátedra, Madrid, 2002.

Goethe, J. W. v. (1817): *Zur Morphologie*. En: Jahn, I.; Lothar, R.; Senglaub, K. (1985): *Geschichte der Biologie*. Gustav Fisher, Jena. Trad. cast.: *Historia de la biología*. Labor, Barcelona, 1990.

Gómez Mendoza, J. (2005): «Alejandro de Humboldt y la geografía del paisaje». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

González de Azaola, C. (1829): *Hornaguera*

y hierro. Verdadero recurso poderoso que le queda a España para recuperarse de tantas pérdidas como ha sufrido en estos últimos doscientos años. Memoria sobre la formación de compañías que beneficiando las ricas minas de carbón de piedra de España [...] den un impulso grande a todas las ramas de la industria. Imp. de David, París.

Gribbin, J. (1982): *Future weather*. Penguin Books. Trad. cast.: *El clima futuro*. Salvat, Barcelona, 1989.

Guldi, J.; Armitage, D. (2014): *The history manifesto*. Cambridge University Press. Trad. cast.: *Manifiesto por la historia*. Alianza, Madrid, 2016.

Gutiérrez Aragón, M. (2013): «¿Y cómo se pinta un grito?» *El País*, 20 de junio de 2013, pág. 38.

Habakkuk, H.J. (1962): *American and british technology in the 19th century*. Cambridge University Press, Londres.

Haeckel, E. (1866): *Generelle Morphologie der Organismen*. George Reimer, Berlin.

Haeckel, E. (1870): «Ueber Entwick Lungsgang und Aufgabe der Zoologie». *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft*, 5, págs. 353-370.

Haeckel, E. (1899-1904): *Kunstsformen der Natur*. Verlag des Bibliographischen Instituts, Leipzig y Viena.

Hall, C. A. S.; Day, J. W. (2009): «Los límites del crecimiento tras el cenit del petróleo». *Investigación y Ciencia*, nº 397, págs. 69-75, octubre 2009.

Hobsbawm, E. (1999): *Industry and empire. From 1750 to the present day*. Trad. cast.: *Industria e imperio. Historia de Gran Bretaña desde 1750 hasta nuestros días*. Crítica, Barcelona, 2016.

Hobson, J.M. (2004): *The Eastern origins of Western Civilization*. Cambridge University Press. Trad. cast.: *Los orígenes orientales de la Civilización Occidental*. Crítica, Barcelona, 2006.

Högbom, A. G. (1894): «Om sannolikheten för fösekulära förändringar i atmosfärens kolsyrehalt». *Svensk Kemisk Tidskrift*, 4, págs. 169-177.

Holl, F. (2005a): «Redescubriendo a Alejandro

de Humboldt». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

Holl, F. (2005b): «Ciencia y arte». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

Holl, F.; Fernández Pérez, J. (2002): *El mundo de Alexander von Humboldt. Antología de textos*. Real Jardín Botánico-Lunweg, Barcelona.

Holmes, R. (2008): *The age of wonder. How the romantic generation discovered the beauty and terror of science*. Hasper Press. Trad. cast.: *La edad de los prodigios. Terror y belleza en la ciencia del romanticismo*. Turner, Madrid, 2012.

Humboldt, A. v. (1799a): *Memoria dirigida a Su Majestad Carlos IV por Alexandre de Humboldt*. En Puig-Samper, M.A. (2005): «Alejandro de Humboldt en la Península Ibérica». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

Humboldt, A. v. (1799b): *Carta a David Friedländer, desde Madrid, el 11 de abril de 1799*. En: Holl, F.; Fernández Pérez, J. (2002): *El mundo de Alexander von Humboldt. Antología de textos*. Real Jardín Botánico-Lunweg, Barcelona.

Humboldt, A. v. (1803): «Geografía de las plantas o Cuadro físico de las regiones equinocciales y de los países vecinos». *Semanario de Nueva Granada*, nº 16, vol. 23, abril, 1809.

Humboldt, A. v. (1807): *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer*. J. G. Cotta, Tubinga.

Humboldt, A. v. (1808): *Ansichten der Natur mit Wissenschaftlichen Erläuterungen*. 3ª ed., 1849. J. G. Cotta, Tubinga. Trad. cast.: *Cuadros de la naturaleza*. Gaspar y Roig, Madrid, 1876.

Humboldt, A. v. (1811): *Essai politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne*. Vol. 2. Chez F. Schoell, Paris.

Humboldt, A. v. (1814): *Voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent*. Vol. 1. Chez F. Schoell, Paris.

Humboldt, A. v. (1828): *Über das Universum*.

Die Kosmos-Vorträge 1827/28 in der Berliner Singakademie. Berlin. En: Holl, F.; Fernández Pérez, J. (2002): *El mundo de Alexander von Humboldt. Antología de textos*. Real Jardín Botánico-Lunweg, Barcelona.

Humboldt, A. v. (1843): *Asie centrale. Recherches sur les chaines de montagnes et la climatologie comparée*. 3 vols. Gide Libr., Paris.

Humboldt, A. v. (1845, 1847): *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. J. G. Cotta, Stuttgart y Tubinga. Trad. cast.: *Cosmos o Ensayo de una descripción física del mundo*. Tomos I y II. Ramón Rodríguez de Ribera, Madrid, 1851, 1852.

Humboldt, A. v.; Gay-Lussac, J.F. (1805): «Expériences sur les moyers audiométriques, et sur la relation des constituants de l'atmosphère». *Annales de Physique*, part. 7ª, págs. 6-39.

Jevons, W. S. (1865): *The coal question. An inquiry concerning the progress of the nation, and the probable exhaustion of our coal mines*. MacMillan, Londres.

Jevons, W. S. (1871): *The theory of political economy*. Londres. Trad. cast.: *La teoría de la economía política*. Pirámide, Madrid, 1998.

Johnson, P. (1991): *The birth of the modern world*. Harper, Collins. Trad. cast.: *El nacimiento del mundo moderno*. Javier Vergara, Barcelona, 2000.

Keeling, C. (1960): «The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in the atmosphere». *Tellus*, 12 (1960), págs. 200-203.

Krugman, P. (2016): «Y el planeta, ¿qué?» *El País*, 9 de octubre de 2016. Suplemento *Negocios*, pág. 18.

Krugman, P. (2017): «El "eje del mal" del cambio climático» *El País*, 13 de agosto de 2017. Suplemento *Negocios*, pág. 17.

Landes, D.J. (1965). «Technological change in industrial development in Western Europe 1750-1914». En Habakkuk, H.J.; Postan, M. dir.: *The Cambridge economic history of Europe*, vol. VI. Cambridge, 1965.

Landes, D.S. (1969): *The unbound Prometheus: technological change and industrial development in Western Europe from 1750*. Cambridge University Press, Londres.

Lemkow, L.; Buttel, F. (1983): *Los movimientos ecologistas*. Mezquita, Madrid.

Lilley, S. (1970): «The technological progress and the industrial revolution». En Cipolla, C.M. ed. (1973): *The Fontana economic history of Europe, The industrial revolution*. Collins-Fontana, Londres.

Löwy, M.; Sayre, R. (1992): *Révolution et mélancolie. Le romantisme à contre-courant de la modernité*. Payot, Paris. Trad. cast.: *Rebelión y melancolía. El romanticismo como contracorriente de la modernidad*. Nueva Visión, Buenos Aires, 2008.

Madison, A. (1995): *Monitoring the world economy 1820-1992*. OECD, Paris.

Madison, A. (2001): *A millennial perspective*. OCCD, Paris. Trad. cast.: *La economía mundial: una perspectiva milenaria*. Mundi-Prensa, Madrid, 2002.

Maldonado, L. (1984): *Humboldt*. Hispanoamérica ediciones, Buenos Aires.

Marcel, J. (1806): *Conversations on chemistry, intended more especially for the female sex*. 12ª edición: *Conversations on chemistry*, Londres, 1832.

Marsh, G. P. (1864): *Man and nature or physical geography as modified by human action*. Low, Son and Marston, Londres. 2ª edición: *The Earth as modified by human action*. Scribner, Armstrong y cia, Nueva York, 1874

Marshall, A. (1890): *Principles of economics*. MacMillan, Londres. Trad. cast.: *Principios de economía*. Aguilar, Madrid, 1957.

Martínez Alier, J. (1984): *L'ecologisme i l'economia*. Ed. 62, Barcelona.

Martínez Alier, J. ; Schlüpmann, K. (1991) : *La economía y la ecología*. Fondo de Cultura Económica, México.

Martínez Alier, J.; Wagensberg, J. (2017): *Solo tenemos un planeta. Sobre la armonía de los humanos con la naturaleza*. Icaria, Barcelona.

McNeill, J.R.; McNeill, W. (2003): *The human web*. Trad. cast.: *Las redes humanas. Una historia global del mundo*. Crítica, Barcelona, 2004.

Meadows, D. et al (1972): *The limits of growth*. Universe Books, Nueva York. Trad. cast.: *Los límites del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica, México, 1972.

Meadows, D. et al (1992): *Beyond the limits*. Chelsea Green, Post Mills. Trad. cast.: *Más allá de los límites del crecimiento*. Aguilar, Madrid.

Meadows, D. et al (2004): *Limits to growth. The 30 year update*. Trad. cast.: *Los límites del crecimiento, 30 años después*. Círculo de Lectores, Galaxia Gutemberg, Barcelona, 2006.

Moorehead, A. (1969): *Darwin and the Beagle*. George Rainbird, Londres. Trad. cast.: *Darwin. La expedición del Beagle*. Serbal, Barcelona, 1981.

Mouchot, A. (1869): *La chaleur solaire*. 2ª edición: Gauthier-Villars, 1879.

Mumford, L. (1934): *Technics and civilization*. Hancourt, Brace y World. Trad. cast.: *Técnica y civilización*. Alianza, Madrid, 1971.

Newton, I. (1687): *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Londres. Trad. cast.: *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Alianza, Madrid, 1987.

Osterhammel, J. (2013): *Die Verwandlung der Welt*. C.H. Beck, Munich. Trad. cast.: *La transformación del mundo. Una historia global del siglo XIX*. Crítica, Barcelona, 2015.

Pacey, A. (1980): *El laberinto del ingenio. Ideas e idealismo en el desarrollo de la tecnología*. Gustavo Gili, Barcelona.

Parker, G. (2013): *Global crisis*. Trad. cast.: *El siglo maldito. Crisis, guerra y catástrofe en el siglo XVII*. Planeta, Barcelona, 2013.

Parra, S. (2012): *Faraday. La inducción electromagnética*. National Geographic, RBA, Barcelona, 2017.

Post, J. D. (1997): *The last great subsistence crisis in the Western World*. John Hopkins University Press, Baltimore.

Poveda, A.; Allen, C. (2005): «La astronomía de Humboldt y sus observaciones en el Nuevo Continente». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

Puig-Samper, M. A. (2005): «Alejandro de Humboldt en la Península Ibérica». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunweg, Madrid, 2005.

- Puig-Samper, M. A.; Rebok, S. (2007): *Sentir y medir. Alexander von Humboldt en España*. Doce calles, Madrid.
- Ramos, J. (2012): «Economía biofísica». *Investigación y Ciencia*, junio 2012, págs. 68-75.
- Rosenberg, N. (1976): *Perspectives on technology*. Cambridge University Press, Londres. Trad. cast.: *Tecnología y economía*. Gustavo Gili, Barcelona, 1979.
- Rufián, A. (2012): *Una revolución en teoría de números: Gauss*. RBA, Barcelona.
- Seeberger, M. (2005): «Humboldt y sus instrumentos científicos». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo Nacional de Ciencias Naturales-Lunwerg, Madrid, 2005.
- Schama, S. (2002): *A history of Britain. The fate of empire. 1776-2000*. Trad. cast.: *Auge y caída del Imperio Británico, 1776-2000*. Crítica, Barcelona, 2004.
- Shelley, M. W. (1818): *Frankenstein or the modern Prometheus*. Lackington, Allen y cia, Londres. 2ª edición, Bentley's Standard Novels, Londres. Trad. cast.: *Frankenstein. El moderno Prometeo*. Oticil, Buenos Aires, 1980.
- Shelley, P.B. (1819): *Prometheus unbound: an epic poem in 4 acts*. Trad. cast.: *Prometeo liberado*. Hiperión, Madrid, 1988.
- Smiles, S. (1861): *Lives of the engineers*. 3 vols., Londres. 2ª ed.: 5 vols., Londres, 1874. Reimpr.: David and Charles, 1968.
- Smil, V. (1999): *Energies*. Massachusetts Institute of Technology. Trad. cast.: *Energías*. Crítica, Barcelona, 2001.
- Smith, C. U. M. (1975): *The problem of life*. MacMillan, Londres. Trad. cast.: *El problema de la vida. Ensayo sobre los orígenes del pensamiento biológico*. Alianza, Madrid, 1977.
- Snow, C. P. (1959, 1964): *The two cultures. A second look*. Cambridge University Press. Trad. cast.: *Las dos culturas y Un segundo enfoque*. Alianza, Madrid, 1997.
- Somerville, M. (1834): *On the conexión of the physical sciences*. Murray's Family Library, Londres.
- Somerville, M. (1874): *Personal recollections from early life to old age of Mary Somerville*. Robert Brothers, Boston.
- Trabault, M. E. (1969): *Van Gogh*. Lausana. Trad. cast.: *Vincent van Gogh*. Blume, Barcelona, 1973.
- Tyndall, J. (1861): «On the absorption and radiation of heat and gases and vaporous, and on the physical connection of radiation, absorption and conduction». *Philosophical Magazine Series 4* (22), págs. 169-184 y 273-285.
- Tyndall, J. (1863): «On radiation through the Earth's atmosphere». *Philosophical Magazine* 4, 25. (1863), págs. 204 y ss.
- Ure, A. (1839): *Dictionary of arts, manufactures and mines*. 2 vols., Londres. 2ª edición: Londres, 1853.
- Verbeek, R. D. M. (1884): «The Krakatoa eruption». *Nature*, vol. 30, nº 757, págs. 10-15, mayo 1884.
- Vernadsky, V. (1929): *La biosphère*. Felix Alcon, París.
- Weart, S. R. (2003): *The discovery of global warming*. Harvard University Press, Cambridge, Mass. Trad. cast.: *El calentamiento global. Historia de un descubrimiento científico*. Laetoli, Pamplona, 2006.
- Weigl, E. (2005): «Agua, bosque y clima: la contribución de Humboldt al debate sobre el medio ambiente del siglo XIX». En AAVV: *Alejandro de Humboldt. Una nueva visión del mundo*. Museo de Ciencias Naturales-Lunwerg, Madrid, 2005.
- Wiener, N. (1952): *The human use of human beings. Cybernetics and society*. Houghton Mifflin, Boston. Trad. cast.: *Cibernética y sociedad*. Sudamericana, Buenos Aires, 1969.
- Withington, J. (2008): *A disastrous history of the world*. Piatkus. Trad. cast.: *Historia mundial de los desastres*. Turner, Madrid, 2009.
- Wright, R. (2004): *A short history of progress*. Conongate, Edimburgo. Trad. cast.: *Breve historia del progreso*. Tendencias, Barcelona, 2006.
- Wulf, A. (2015): *The invention of nature*. Trad. cast.: *La invención de la naturaleza. El nuevo mundo de Alexander von Humboldt*. Taurus, Barcelona, 2016.

edición
 REGIDORIA D'ENERGIES
 RENOVABLES I CANVI CLIMÀTIC
 (AJUNTAMENT DE VALÈNCIA)
 impresión
 GRÁFICAS PELUFO
 diseño y maquetación
 RAFAEL TEJEDOR
 © textos:
 RICARDO ALMENAR

ISBN: 978-84-9089-176-6
 depósito legal: V-773-2019

RICARDO ALMENAR (Tànger, 1953) es biólogo y experto independiente en desarrollo humano, sostenibilidad medioambiental y desarrollo sostenible. Ha sido profesor visitante de las cátedras UNESCO y Mediterrània de la Universitat de València y participado en diferentes proyectos de investigación de la realidad económica, social y medioambiental valenciana.

Además de impartir con frecuencia cursos y conferencias sobre temas de su especialidad, ha participado en el máster de Cooperación al Desarrollo de la Universitat de València y en la diplomatura de Ética Ecológica, Sostenibilidad y Educación Ambiental de la Universidad Politécnica de València.

Es autor o coautor de una quincena de libros, siendo los más recientes *El fin de la expansión* (Icaria, 2012), *El bosc protector* (Bromera, 2015) con el que ganó el XVI Premi d'Assaig Mancomunitat de la Ribera Alta dentro de los premios literarios Ciutat d'Alzira, y *El ingreso mínimo garantizado* (El Libro Editorial, 2016).

La Delegación de Energías Renovables y Cambio Climático del Ayuntamiento de València, inicia con este primer volumen la serie Monografías Divulgativas sobre el Cambio Climático, que nace con vocación de documentar con rigor y desde el conocimiento objetivo e independiente un proceso en curso de notoria complejidad y muy diversa expresión.

Modestamente, se persigue proporcionar a la sociedad valenciana información veraz que estimule y respalde su imprescindible participación, pues solo mediante el concurso de todos nosotros conseguiremos hacer frente al cambio climático.

El primer número de esta colección está constituido por el libro del biólogo y experto en sostenibilidad ambiental Ricardo Almenar, autor especialmente conocido por sus trabajos en materia de investigación y divulgación medioambiental. Esperamos, como él mismo, que esta obra –que vuelve la vista al pasado para mejor comprender el presente– sea del agrado del lector, cosa que no ponemos en duda, a la vez que contribuya a una mayor concienciación sobre la relevancia actual y futura del cambio global en su conjunto y del cambio climático como parte especialmente destacada del mismo.



AJUNTAMENT DE VALÈNCIA

REGIDORIA D'ENERGIES RENOVABLES I CANVI CLIMÀTIC

