



Co-funded by
the European Union



Empoderamiento de las comunidades mediante ciencia ciudadana

**Herramientas para monitorear los impactos
de las industrias de combustibles fósiles e
impulsar el cambio.**



Illustrations by Storyset



ERICA – Monitoreo ambiental a través del compromiso cívico

El proyecto ERICA es una colaboración entre la Universidad Erasmus de Róterdam, la Universidad de Barcelona, la Universidad Adam Mickiewicz, Source International, la Asociación Europea para la Democracia Local (ALDA), Cova Contro y Social IT. El proyecto ha recibido financiación del programa Erasmus+ 2023 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929.

Publicado en línea en noviembre de 2024

Coordinado y editado por Rachele Ossola (Source International)

Maquetación por Eleonora Tassan, Michele Maistrelli y Rosalia Giuga (Social IT)

Autores colaboradores: Rachele Ossola, Diana Alonso, Flaviano Bianchini, Karolina Dziubata-Smykowska, Laura Grassi, Marek Jaskólski, Aleksandra Lis-Plesińska, Clara Masetti, Gorka Muñoa, Martí Orta-Martínez, Lina Pita, Lorenzo Pellegrini, Neus Roig, Giorgio Santoriello y Francesca Savoldi.

Revisado por Alice Lazzarin, Alessia Marzotto y todos los autores colaboradores.

Este documento debe citarse como: R. Ossola, D. Alonso, F. Bianchini, K. Dziubata-Smykowska, L. Grassi, M. Jaskólski, A. Lis-Plesińska, C. Masetti, G. Muñoa, M. Orta-Martínez, L. Pita, L. Pellegrini, N. Roig, G. Santoriello y F. Savoldi (2024), *Empoderar a las comunidades mediante la ciencia ciudadana – Herramientas para monitorear los impactos de las industrias de combustibles fósiles e impulsar el cambio*. Proyecto ERICA, <https://www.ericaproject.eu/>

Este documento está disponible en línea en el siguiente enlace:

<https://www.ericaproject.eu/project/#ebooklet>

Todas las ilustraciones fueron creadas por Rachele Ossola, Eleonora Tassan, Michele Maistrelli y Rosalia Giuga, y pueden reutilizarse con la atribución adecuada.

Este proyecto ha recibido financiación del programa Erasmus+ 2023 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.



Índice

Índice	1
1. Introducción	3
2. ¿Qué son los combustibles fósiles y cómo se extraen?	7
2.1. ¿Qué son los combustibles fósiles?	8
2.2 Petróleo y gas – Extracción y procesamiento	10
2.2.1 Extracción	10
2.2.2 Procesamiento del petróleo – Refinería	11
2.2.3 Procesamiento del petróleo – Plantas petroquímicas	13
2.3 Carbón – Extracción y procesamiento	13
3. ¿Cómo impacta la industria de los combustibles fósiles al medio ambiente?	15
3.1 ¿Cuáles son los contaminantes que emiten las industrias de combustibles fósiles?	16
3.1.1 Resumen por matriz ambiental	16
3.1.2 Resumen por tipo de combustible fósil y etapa del proceso	20
3.2 ¿Cómo son de peligrosos estos compuestos químicos?	24
3.2.1 Efectos en la salud - ¿Qué contaminantes debemos vigilar?	24
3.2.2 Normas y directrices de calidad ambiental - ¿a partir de qué concentraciones deberíamos preocuparnos?	28
4. ¿Qué herramientas puede usar la ciudadanía para monitorizar la salud ambiental?	34
4.1 Herramientas para el monitoreo del aire	38
4.1.1 Sensores comerciales de bajo y medio coste	38
4.1.2 Sensores DIY	39
4.1.3 Muestreadores comerciales y DIY	40
4.1.4 Otras estrategias	42
4.2 Herramientas para el monitoreo del agua	44



4.2.1 kits comerciales de bajo coste	44
4.2.2 Sensores comerciales de bajo coste	45
4.2.3 Otros enfoques	46
5. ¿Cómo usar los datos ambientales para impulsar un cambio?	47
5.1 ¿Qué es el conocimiento accionable?	48
5.2 ¿Cómo puede uno activar la información ambiental?	49
6. Algunos ejemplos para inspirarse, en Europa y más allá	52
6.1 El complejo petroquímico de Tarragona	54
6.1.1 El problema	54
6.1.2 Las iniciativas	54
6.1.3 Los resultados	55
6.2 La refinería de petróleo de Sarlux	57
6.2.1 El problema	57
6.2.2 La iniciativa	57
6.2.3 Los resultados	58
6.3 La extracción de carbon en Poland	59
6.3.1 El problema	59
6.3.2 La iniciativas y los resultados esperados	60
6.4 Ejemplos exitosos fuera de Europa	61
6.4.1 La prohibición de una planta de gas en Ecuador	61
6.4.2 Mejorando las prácticas de minería en Myanmar	63
7. Referencias seleccionadas y lecturas reomendadas	65
Sección 2	67
Sección 3	67
Secció 4	68
Sección 5	69
Sección 6	70



Illustrations by Storyset

1. Introducción



La industria de los combustibles fósiles se ha vuelto cada vez más central en el equilibrio geopolítico y en el estilo de vida moderno: necesitamos gas natural para calentar nuestros hogares, gasolina para conducir nuestros coches y plásticos para casi todo. A pesar de las importantes mejoras en la legislación ambiental y en las técnicas industriales en las últimas décadas, la extracción y el procesamiento de petróleo, gas y carbón siguen siendo actividades “sucias”, incluso en los países desarrollados. Las comunidades que viven cerca de las instalaciones de combustibles fósiles sufren olores molestos, degradación ambiental, problemas de salud y los consiguientes impactos sobre la sociedad local, tanto en zonas remotas de la Amazonía ecuatoriana como en concurridos puertos europeos.

En las dos últimas décadas, la ciencia ciudadana ha emergido como una herramienta poderosa para recopilar datos científicos mientras educa y empodera a la ciudadanía. La ciencia ciudadana implica a personas no científicas en la definición del alcance del proyecto, así como en la recolección, análisis y difusión de los resultados; existen distintos niveles de participación que se adaptan al tiempo, los intereses y las necesidades de los ciudadanos. Este enfoque participativo de la ciencia ya ha sido aprovechado por miles de comunidades para reunir pruebas independientes de la degradación ambiental, apoyar campañas de base, dialogar con políticos e instituciones, impulsar investigaciones académicas y sensibilizar a la sociedad local.

En este contexto, [ERICA](#) – Environmental monito**R**ing through Civic eng**A**gement – tiene como objetivo educar a los ciudadanos que viven cerca de industrias de combustibles fósiles para que puedan llevar a cabo un monitoreo ambiental independiente y utilizar esta información para generar un cambio positivo. Este Proyecto ERASMUS+ involucra instituciones académicas (la [Erasmus University Rotterdam](#), la [Universitat de Barcelona](#), y la [Adam Mickiewicz](#)



[University](#)), organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil ([Cova Contro](#), [Source International](#), y la [European Association for Local Democracy](#)), socios técnicos ([Social IT](#)), y “focus groups” (grupos focales o grupos de discusión) de los sitios piloto en Tarragona (Cataluña, España), Val d’Agri (Italia), y la región minera de Konin (Polonia). El proyecto se desarrollará desde noviembre de 2023 hasta 2026, producirá material educativo gratuito sobre monitoreo participativo y pondrá en práctica estas herramientas en iniciativas de ciencia ciudadana en los tres sitios piloto.

Este e-booklet – (folleto digital) —el primer resultado del proyecto— resume herramientas y buenas prácticas para llevar a cabo iniciativas de ciencia ciudadana que maximicen el impacto social, con un enfoque en la extracción y el procesamiento de gas natural, petróleo y carbón en Europa. Esta publicación es el resultado de una revisión exhaustiva de la literatura realizada por los socios durante el primer año del proyecto, y representa el punto de partida para el desarrollo de la metodología de formación y la plataforma de aprendizaje en línea de ERICA.

El folleto está estructurado en siete partes. Tras esta introducción, la [Sección 2](#) ofrece información de contexto sobre los combustibles fósiles: qué son y cómo se procesan. La [Sección 3](#) analiza los principales contaminantes emitidos durante la extracción y el procesamiento de combustibles fósiles, sus impactos en la salud humana y ambiental, así como la legislación y directrices existentes para protegernos. La [Sección 4](#) presenta herramientas y tecnologías asequibles adecuadas para iniciativas de ciencia ciudadana sobre los impactos ambientales de las industrias de combustibles fósiles. La [Sección 5](#) describe buenas prácticas para maximizar la cantidad de conocimiento accionable generado en proyectos de ciencia ciudadana. Finalmente, la [Sección 6](#) presenta ejemplos inspiradores de proyectos liderados por comunidades afectadas por la explotación de combustibles fósiles,



tanto en Europa como fuera de ella. Las publicaciones, libros, páginas web y herramientas más relevantes de las que hemos extraído información están integradas como hipervínculos en el texto o listadas en la [Sección 7](#).



Illustrations by Storyset

2. ¿Qué son los combustibles fósiles y cómo se extraen?



Esta sección ofrece una visión general de los conceptos básicos sobre el petróleo, el gas y el carbón: qué son, cómo se forman y cómo se procesan industrialmente. Más allá del conocimiento básico, esta información ayuda a comprender los impactos ambientales que pueden esperarse en cada etapa del procesamiento, y a explicar, por ejemplo, por qué los residentes del complejo petroquímico de Tarragona están preocupados por el 1,3-butadieno ([Sección 6.1](#)), mientras que no lo están por la conductividad del agua de los ríos, que sí es la principal preocupación de los ciudadanos en la zona minera de carbón de la Alta Silesia ([Sección 6.3](#)). Las referencias bibliográficas de este capítulo se encuentran en la [Sección 7](#).

2.1. ¿Qué son los combustibles fósiles?

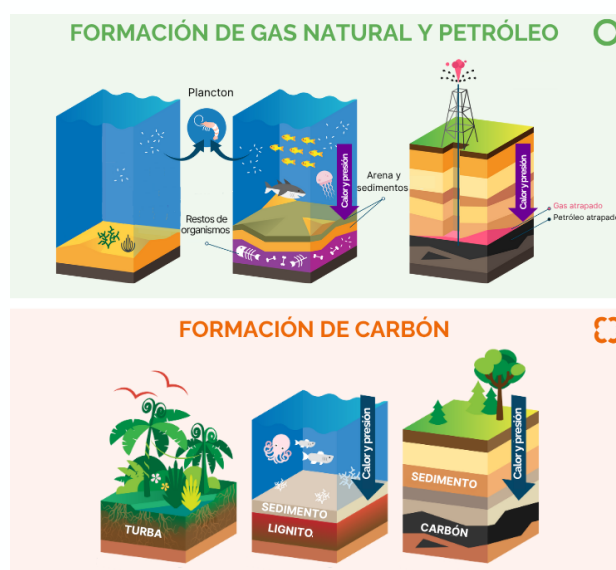
Los combustibles fósiles son materiales ricos en carbono que se acumulan bajo tierra durante el proceso geológico de descomposición de organismos muertos. Dependiendo de los organismos y de las condiciones del proceso, los combustibles fósiles pueden presentarse en forma gaseosa, líquida o sólida — conocidos, respectivamente, como gas natural, petróleo y carbón. Aunque su composición química varía, todos contienen carbono (junto con hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno) y liberan calor al quemarse.

El gas natural y el petróleo suelen formarse y encontrarse juntos, aunque uno de los dos puede predominar. Se originan a partir del plancton que vivió en océanos poco profundos y cálidos hace millones de años. Tras morir, el plancton se depositó en el fondo marino y fue cubierto por sedimentos. Con el tiempo, el calor y la presión subterráneos lo transformaron en querógeno y, posteriormente, en petróleo. Debido a su viscosidad, el petróleo se desplazó hacia las rocas porosas hasta quedar atrapado por capas



impermeables, formando un yacimiento de petróleo (o gas) (Figura 1, arriba). Estos reservorios presentan siempre una composición heterogénea, que incluye gases (por ejemplo, metano) y líquidos, tanto hidrocarburos como agua. Esta agua representa un residuo importante en el proceso de extracción de petróleo (véase la [Sección 2.2.1](#)). El carbón se formó en bosques pantanosos durante el período Carbonífero, hace entre 300 y 350 millones de años. Los árboles muertos caían en los pantanos, donde la falta de oxígeno impedía su descomposición. Con el paso del tiempo, estos árboles se convirtieron en turba y, finalmente, en distintos tipos de carbón: lignito, carbón sub-bituminoso, carbón bituminoso y antracita (Figura 1, parte inferior). Entre otros elementos, el carbón contiene carbono y azufre.

El contenido de azufre es un factor clave en lo que respecta al procesamiento del carbón y sus impactos ambientales. El carbón también contiene pequeñas cantidades de metano y otros compuestos orgánicos volátiles, que quedan atrapados en su estructura sólida y se liberan durante la extracción.



Source: <https://www.yaclass.in/p/science-cbse/class-8/coal-and-petroleum-18085/different-types-of-natural-resources-4863/re-5b0f4cd9-5f99-4128-98d4-5dcace8dfc25>

Figura. Esquema general de cómo se forman el gas natural, el petróleo y el carbón.



2.2 Petróleo y gas – Extracción y procesamiento

2.2.1 Extracción

Después de que se descubre un yacimiento de petróleo, los ingenieros perforan un primer pozo para evaluar la calidad y cantidad de hidrocarburos. Si los resultados son positivos, se construye una planta de extracción: una serie de pozos diseñados para extraer el petróleo o gas de manera eficiente. El funcionamiento de la instalación depende de la mezcla de hidrocarburos y de la etapa de extracción. En la fase inicial, el gas y el petróleo son impulsados de forma pasiva hacia la superficie por la presión subterránea. Hasta el 90 % del gas natural y el 30 % del petróleo se extraen de esta manera. En una segunda etapa, se inyectan gas y agua en los pozos para recuperar un 10 a 15 % adicional del petróleo. El paso final utiliza emulsiones y disolventes químicos, que se bombean al subsuelo para extraer otro 10 a 15 % del petróleo restante.

Una vez extraído, el material crudo se estabiliza y se envía a una refinería a través de oleoductos. El proceso de estabilización consiste en la separación de los líquidos del gas, seguida por la eliminación del agua (deshidratación), del sulfuro de hidrógeno (desulfuración) y de las sales (desalinización). El gas contiene metano e hidrocarburos ligeros, y se procesa para su venta o se elimina mediante la **quema en antorcha** (recuadro 1). La deshidratación genera **aguas residuales** ricas en sales, hidrocarburos, metales pesados, radionúclidos y – si provienen de la tercera etapa de extracción – disolventes orgánicos y emulsionantes. Estas aguas residuales se tratan y generalmente se reinyectan en el subsuelo.



Recuadro 1. Quema de gas y sus impactos ambientales

La quema de gas es una práctica controvertida que consiste en quemar el gas que se libera durante la extracción de petróleo, ya que no todas las empresas cuentan con la infraestructura necesaria para recolectar, procesar y transportar los gases presentes en los yacimientos petrolíferos (véase la Figura 1, parte superior). La quema y el venteo de gas también se utilizan como medida de seguridad para evitar acumulaciones peligrosas de presión. La quema convierte el gas residual en CO₂, lo que contribuye aproximadamente al 1 % del calentamiento global; sin embargo, liberar el gas sin quemarlo (venteo) es aún peor: el metano, su principal componente, es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el CO₂. La quema también emite contaminantes como el carbono negro (componente del material particulado) y el dióxido de azufre, lo que degrada la calidad del aire local y contribuye a la acidificación del agua y del suelo. Finalmente, la quema de gas representa un desperdicio de recursos naturales: si se recolectaran, los 150.000 millones de m³ de gas quemados cada año podrían cubrir las necesidades energéticas de todo el continente africano. En 2015, el Banco Mundial lanzó una iniciativa para eliminar esta práctica **pledge to end all flaring by 2030**, antes de 2030, pero los esfuerzos para alcanzar este objetivo avanzan lentamente.

2.2.2 Procesamiento del petróleo – Refinería

Después de la extracción y el pretratamiento, el crudo se envía a las refinerías, donde se transforma en una variedad de productos. El proceso comienza calentando el crudo a 400 °C en la base de una torre



de destilación (Figura 2). A medida que el petróleo se calienta, sus componentes se evaporan y ascienden. Al alcanzar una altura con la temperatura adecuada, se condensan y se recolectan. Este proceso – llamado fraccionamiento de hidrocarburos – separa los grupos de hidrocarburos según sus puntos de ebullición, los cuales están relacionados con el número de átomos de carbono. Los hidrocarburos ligeros como el propeno y el buteno se recogen como gases en la parte superior de la torre, mientras que los más pesados permanecen en la parte inferior y se separan en combustibles, lubricantes y otros productos. Después del fraccionamiento, todos los productos pasan por procesos adicionales como el craqueo, la alquilación y la reformación, que modifican su composición química y los convierten en productos utilizables.

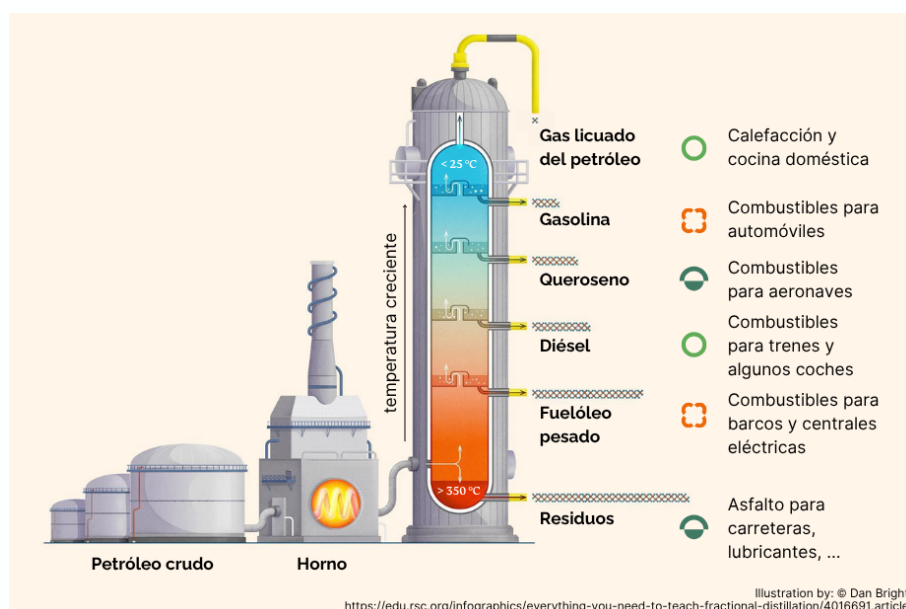


Figura 2. Fraccionamiento del petróleo crudo en una torre de destilación.
Las diferentes fracciones se recolectan y se procesan posteriormente para obtener combustibles, materias primas y otros productos de uso cotidiano.

Dado que el procesamiento del petróleo crudo requiere mucha energía, las refinerías suelen contar con su propia **planta de energía**, que funciona con combustibles líquidos y gaseosos, así como con subproductos del proceso de refinado. Al igual que en la extracción,



pueden estar presentes unidades de **venteo de gas** por razones de seguridad.

2.2.3 Procesamiento del petróleo – Plantas petroquímicas

Después del refinado, los productos derivados del petróleo pueden enviarse a una planta petroquímica para un procesamiento adicional. Estas plantas utilizan materias primas derivadas de combustibles fósiles para producir una amplia gama de productos: plásticos, cauchos, textiles, medicamentos y pesticidas. Debido a la gran variedad de opciones, es difícil proporcionar una descripción *general* del proceso y de los impactos ambientales esperados.

Como aprovechan los productos finales de la refinería, las grandes plantas petroquímicas suelen estar ubicadas junto a ellas, como ocurre en Tarragona ([Sección 6.1](#)) y Marsella.

2.3 Carbón – Extracción y procesamiento

El carbón puede encontrarse cerca de la superficie terrestre o en capas profundas del subsuelo. Los yacimientos superficiales se extraen mediante métodos como la minería a cielo abierto, la minería de contorno o la remoción de cumbres montañosas. En cambio, en el subsuelo, el carbón se extrae a través de métodos como la minería de pared larga (longwall) o la minería de cámaras y pilares (room-and-pillar). En general, la minería subterránea requiere más personal y presenta mayores riesgos laborales que la minería superficial: en Estados Unidos, se considera uno de los trabajos más peligrosos que se pueden desempeñar.

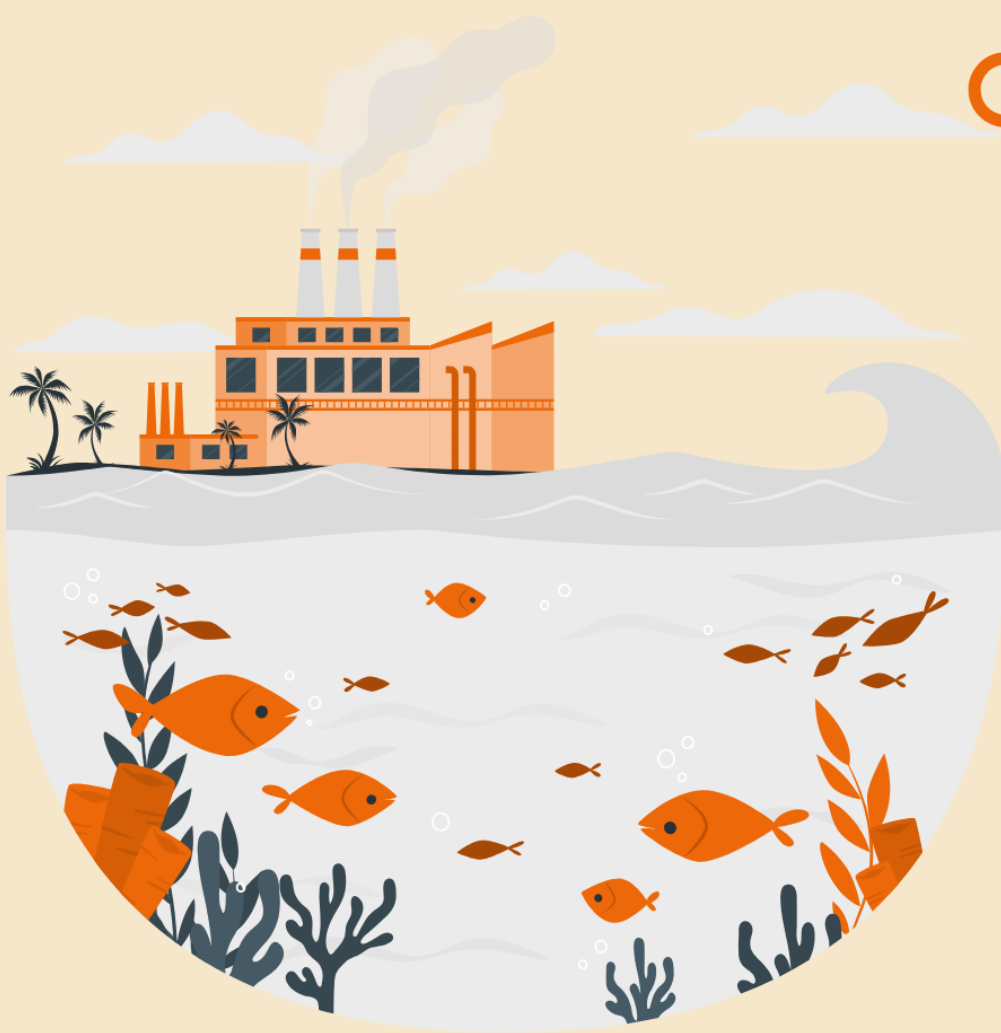
Después de la extracción, el carbón se tritura y se dimensiona para su combustión. La mayor parte del carbón, especialmente si contiene un



alto contenido de azufre, debe lavarse con agua o solventes químicos antes de su procesamiento. Este lavado puede eliminar hasta un 40% del azufre inorgánico, lo que reduce la cantidad de dióxido de azufre liberado durante la combustión, pero genera **aguas residuales**. Si no se gestionan adecuadamente, estas aguas pueden dañar el ecosistema debido a su acidez, alto contenido de metales pesados y, con frecuencia, alta conductividad. También se generan aguas residuales cuando las aguas subterráneas invaden la mina durante las operaciones regulares (por ejemplo, véase la [Sección 6.3](#)). Además del agua, el procesamiento del carbón produce grandes cantidades de **residuos sólidos** que deben eliminarse correctamente. Los residuos del carbón pueden autocombustionarse y generar drenaje ácido (véase, por ejemplo, la [Sección 6.4.2](#)). Algunos de estos impactos persisten más allá del cierre de la mina, lo que exige una desactivación y remediación exhaustivas.

En la etapa final, el carbón se quema para generar electricidad, a menudo en una **central eléctrica** cercana para reducir los costos de transporte. En comparación con otros combustibles fósiles, el carbón tiene una mayor probabilidad de producir material particulado y liberar metales pesados al medio ambiente, especialmente mercurio.

El material residual de la combustión, conocido como **ceniza volante** (*fly ash*), también es rico en metales pesados y requiere una **eliminación cuidadosa** para evitar la contaminación del suelo, del aire y de cuerpos de agua cercanos.



Illustrations by Storyset



3. ¿Cómo impacta la industria de los combustibles fósiles al medio ambiente?



3.1 ¿Cuáles son los contaminantes que emiten las industrias de combustibles fósiles?

Aunque todos somos conscientes de los impactos globales de los combustibles fósiles en términos de emisiones de CO₂, las comunidades que viven cerca de las plantas de extracción y procesamiento enfrentan un conjunto adicional de preocupaciones ambientales y de salud. Esta sección resume los principales contaminantes que se pueden esperar alrededor de estas instalaciones. Este resumen se basa en la edición 2023 [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) y en discusiones con grupos focales, y se refiere principalmente a **emisiones de proceso** – es decir, contaminantes emitidos durante las operaciones regulares, no durante accidentes. Los accidentes también liberan todos los contaminantes listados a continuación, pero en concentraciones significativamente más altas, con efectos dramáticos y duraderos en las comunidades cercanas. Además de los productos químicos específicos, las actividades de extracción y procesamiento también tienen impactos ambientales más amplios, incluyendo cambios en el microclima, reducción de los niveles de aguas subterráneas y superficiales, deformación del suelo y deslizamientos de tierra.

3.1.1 Resumen por matriz ambiental

La extracción y el procesamiento regular de combustibles fósiles afectan **principalmente al aire**, aunque también pueden dañar cuerpos de agua y ecosistemas terrestres.

Los principales contaminantes del aire específicos de las industrias de combustibles fósiles son los **compuestos orgánicos volátiles (COVs)**. Los COVs son sustancias químicas que contienen carbono y que, en su



mayoría, se presentan como gases a presiones y temperaturas habituales, aunque algunos compuestos también pueden detectarse en el agua y el suelo. El metano, el benceno, el tolueno y los **hidrocarburos aromáticos policíclicos** (HAP) pertenecen todos a esta categoría (véase el **Recuadro 2**). Etapas específicas del refinado del petróleo y de la combustión del carbón también liberan gases que contienen azufre, como el **dióxido de azufre** (SO₂) y el **sulfuro de hidrógeno** (H₂S). Algunos COVs específicos y compuestos que contienen azufre son los principales responsables de los **malos olores** que suelen reportarse en zonas industriales.

Las industrias de combustibles fósiles también emiten contaminantes asociados a los procesos de combustión en general, como **material particulado** (PM), **óxidos de nitrógeno** (NO y NO₂, indicados colectivamente como NO_x), **SO₂**, **monóxido de carbono** (CO) y **dióxido de carbono** (CO₂). Estas industrias también liberan metales pesados, ya sea en forma gaseosa (como el mercurio) o adheridos a partículas. La mezcla exacta de contaminantes depende de factores como el tipo de combustible, su composición específica y las características técnicas del proceso industrial (véase la [Sección 3.1.2](#)).

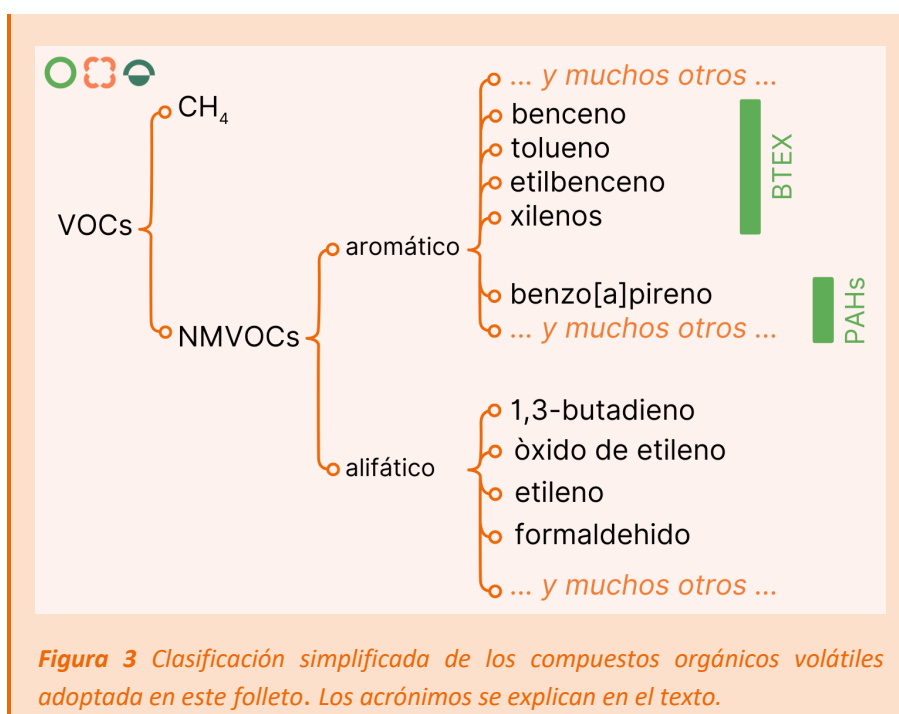


Box 2. ¿Qué son los compuestos orgánicos volátiles? (COVs)?

Los compuestos orgánicos – sustancias químicas que contienen solo carbono (C), hidrógeno (H) y, a veces, oxígeno, nitrógeno y azufre – abarcan miles de especies con una amplia variedad de propiedades. Debido a esta diversidad, clasificar estas moléculas resulta un desafío.

En este contexto, definimos los compuestos orgánicos volátiles (COVs) como aquellas moléculas que se encuentran principalmente en el aire a temperaturas y presiones estándar, aunque algunas también pueden encontrarse en el agua y el suelo (véase el Recuadro 3). Los COVs incluyen el metano (CH_4) y otros compuestos conocidos colectivamente como compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM). Los COVNM abarcan compuestos alifáticos como el 1,3-butadieno, el óxido de etileno, el etileno y el formaldehído, así como compuestos aromáticos como el benceno (B), tolueno (T), etilbenceno (E), xilenos (X) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), como el benzo[a]pireno.

NMHCs – hidrocarburos no metánicos – es otro acrónimo común en la literatura sobre contaminación por petróleo. Los NMHCs son un subconjunto de los COVNM que incluye moléculas compuestas solo por carbono e hidrógeno. Por ejemplo, incluyen el 1,3-butadieno (C_4H_6) y el etileno (C_2H_2), pero no el óxido de etileno ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) ni el formaldehído (CH_2O), que también contienen oxígeno (O). Para evitar confusiones, esta publicación adopta la clasificación mostrada en la Figura 3.



Las industrias de combustibles fósiles también pueden contaminar los **ecosistemas acuáticos**, aunque, durante las operaciones normales, esto se refiere principalmente a las aguas residuales generadas durante la extracción y el preprocesamiento. Dependiendo de la geología local, el tipo de combustible y la etapa del proceso, estas aguas residuales pueden contener altos niveles de **sales** (a menudo cloruro de sodio), **ácidos** (principalmente ácido sulfúrico), **metales pesados**, **compuestos orgánicos** y **elementos radiactivos** (principalmente radio). Los compuestos orgánicos pueden derivar del combustible (llamados hidrocarburos totales de petróleo o TPH; ver **Recuadro 3**) o de aditivos utilizados durante la extracción de petróleo. Si no se gestionan adecuadamente, estas aguas residuales pueden filtrarse en cuerpos de agua cercanos, aguas subterráneas y ecosistemas terrestres, causando daños significativos



Box 3. ¿Qué son los hidrocarburos totales del petróleo (TPHs)?

El acrónimo TPH se refiere a una colección poco definida de compuestos químicos que incluye tanto compuestos alifáticos como aromáticos. Al igual que los productos derivados del refinado del petróleo (véase la [Sección 2.2.2](#) y la Figura 2), los TPHs se clasifican según su número de átomos de carbono. Por ejemplo, Los "compuestos orgánicos del rango de la gasolina" tienen entre 6 y 10 átomos de carbono, mientras que los "compuestos orgánicos del rango del diésel" tienen entre 10 y 22 átomos de carbono. Estos dos subgrupos incluyen los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos), presentes principalmente en la gasolina, y HAPs (hidrocarburos aromáticos policíclicos), típicos del diésel. Aunque estas sustancias se detectan principalmente en el aire (como parte de los NMVOCs; ver Recuadro 2), también pueden encontrarse en el agua y el suelo.

3.1.2 Resumen por tipo de combustible fósil y etapa del proceso

Aunque la explotación de combustibles fósiles libera una mezcla relativamente constante y característica de contaminantes, cada tipo de combustible y etapa del proceso tiene una “huella de emisión” única. Comprender el origen de estas firmas permite a los ciudadanos identificar qué sustancias químicas deben priorizar en sus iniciativas de monitoreo comunitario.

La [Figura 4](#) (parte superior) destaca los principales contaminantes atmosféricos liberados durante la **extracción y el procesamiento de petróleo y gas**. Durante la extracción, las principales emisiones son **compuestos orgánicos volátiles** (COV) provenientes de fugas de gas,



venteo, tratamiento de aguas residuales y estabilización del crudo. En instalaciones que adoptan la práctica de quema de gas (gas flaring), se pueden esperar **emisiones adicionales relacionadas con la combustión**: material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), y combustible no quemado o parcialmente quemado (por tanto, también COV).

También se liberan metales pesados específicos: en el caso del petróleo, principalmente vanadio y níquel; en el del gas natural, sobre todo mercurio y arsénico. Asimismo, las refinerías emiten COV y contaminantes asociados al gas flaring, además de compuestos con azufre (procedentes de la desulfuración) y contaminantes derivados de la combustión (del sistema de generación de energía de la refinería). Los compuestos azufrados incluyen **SO₂**, **H₂S** y compuestos orgánicos como los mercaptanos.

Las emisiones de las **plantas petroquímicas** son únicas para cada proceso y, por lo tanto, difíciles de generalizar. Se puede monitorear el grupo de los **COV** como tal; sin embargo, cada proceso tiene una huella específica que puede ayudar a identificar la unidad emisora. Por ejemplo, la producción de plástico de polietileno puede liberar etileno, su materia prima.

Durante las operaciones normales, la mala gestión de las aguas residuales es una preocupación principalmente en las etapas de extracción y pretratamiento.



Mientras que la explotación de petróleo y gas afecta principalmente la calidad del aire a nivel local, la extracción y el procesamiento del carbón tienen un efecto más complejo sobre el medio ambiente (Figura 4, parte inferior). La mayoría de las emisiones atmosféricas provienen de la quema de carbón en plantas de energía, que a menudo se encuentran cerca del sitio de extracción. En comparación con el petróleo y el gas, la **combustión del carbón** libera más **partículas y metales pesados**, además de todos los demás contaminantes asociados con la combustión. El proceso de extracción en sí solo libera metano y algunos otros compuestos orgánicos volátiles (COV) atrapados en las rocas. Si los residuos del carbón no se gestionan adecuadamente, pueden autoinflamarse y liberar aún más contaminantes derivados de la combustión (ver [Sección 6.4.2](#)).

La minería del carbón también tiene un impacto significativo en los **ecosistemas acuáticos y terrestres cercanos**. Cuando el carbón y sus residuos entran en contacto con el agua, liberan **sales, ácidos y metales pesados**; el efecto predominante depende de la composición química del mineral. Por ejemplo, el carbón que contiene pirita (un mineral compuesto de hierro y azufre) libera ácido sulfúrico al mojarse, mientras que los yacimientos ricos en haluros (como en Polonia; ver [Sección 6.3](#)) forman soluciones más saladas que el agua de mar al humedecerse.

El carbón puede mojarse durante el proceso de extracción (por ejemplo, cuando se lava el mineral), pero también cuando las minas a cielo abierto están expuestas a la lluvia. Si no se gestiona adecuadamente, el drenaje resultante puede dañar el ecosistema debido al aumento excesivo de salinidad, acidez y metales tóxicos.

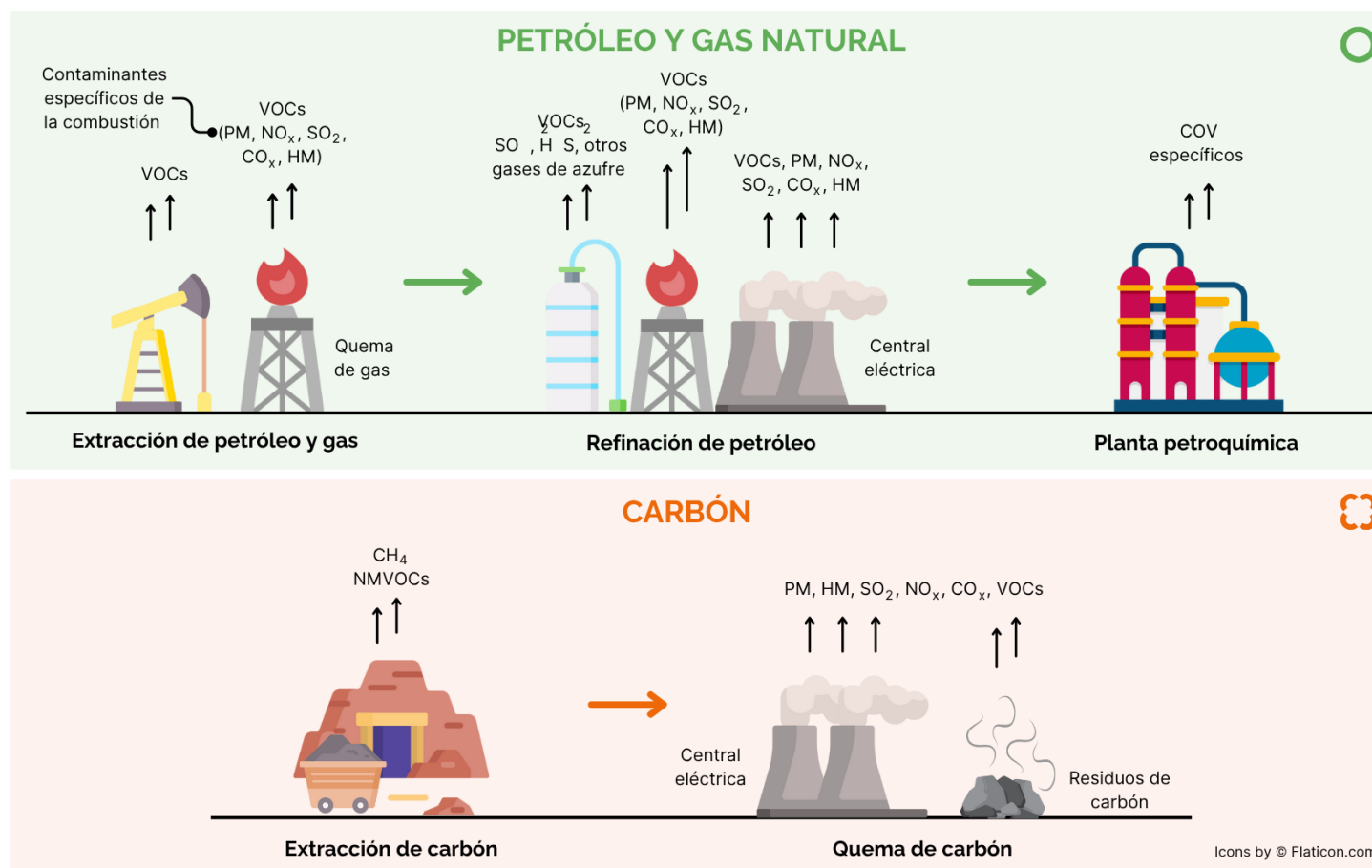


Figura 4 Representación esquemática de los impactos ambientales de la extracción y el procesamiento de combustibles fósiles. No se incluyen derrames accidentales u otros incidentes no intencionados. **Leyenda:** HM = metales pesados; CO_x = óxidos de carbono (monóxido de carbono y CO₂); VOCs = compuestos orgánicos volátiles; NMVOCs = compuestos orgánicos volátiles no metánicos (ver Figura 3)



3.2 ¿Cómo son de peligrosos estos compuestos químicos?

Según un famoso dicho en toxicología química, “la dosis hace al veneno”, es decir, cualquier sustancia química puede ser dañina en grandes cantidades, mientras que compuestos considerados peligrosos pueden ser inofensivos si están presentes solo en trazas. Esta idea también se aplica a los contaminantes provenientes de la industria de los combustibles fósiles. En las siguientes secciones, explicamos cómo afectan a la salud humana los contaminantes relacionados con los combustibles fósiles ([Sección 3.2.1](#)) y revisamos los estándares y guías de calidad ambiental ([Sección 3.2.2](#)), que definen los niveles de contaminantes considerados seguros para la salud. Para simplificar, nos centramos en los compuestos más relevantes según las secciones anteriores, las discusiones con los grupos focales y la disponibilidad de datos.

3.2.1 Efectos en la salud - ¿Qué contaminantes debemos vigilar?

Los contaminantes derivados de la explotación de combustibles fósiles dañan la salud humana de múltiples maneras: pueden afectar los pulmones, el cerebro e incluso causar cáncer. Aquí ofrecemos un resumen simplificado de estos efectos, basado en dos fuentes principales. La primera es [Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer](#) (IARC, por sus siglas en inglés), que clasifica las sustancias según su riesgo de causar cáncer. Los grupos son, Grupo 1: carcinogénicos para humanos; Grupo 2A: probablemente carcinogénicos; Grupo 2B: posiblemente carcinogénicos; Grupo 3: no clasificables (lista completa [aquí](#)).



La segunda fuente son los perfiles toxicológicos de la Agencia de los Estados Unidos para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades ([United States Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR](#)), que resumen los efectos tóxicos de cada contaminante. Los perfiles completos se pueden consultar a través de los hipervínculos en las tablas siguientes.

La **Tabla 1** destaca los riesgos para la salud de los principales compuestos orgánicos asociados con la extracción y explotación de combustibles fósiles. El benceno, el 1,3-butadieno y el óxido de etileno se destacan como los más cancerígenos, seguidos por el benzo[a]pireno, un representante de los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Aunque no necesariamente causan cáncer, todos los demás compuestos no metánicos tienen efectos hepáticos, neurológicos y sobre el desarrollo. El metano es una preocupación principalmente debido a su potencial de calentamiento climático; su impacto en la salud humana es insignificante a las concentraciones típicas en exteriores.

Contaminante	Clasificación IACR	Otros efectos en la salud (ATSDR)
Benceno	Grupo 1	Gastrointestinal, hematológico, inmunológico, neurológico [ref]
Benzo[a]pireno	Grupo 2A	Desarrollo, hepático, reproductivo [todos los PAH; ref]
1,3-Butadieno	Grupo 1	Desarrollo, gastrointestinal, hematológico, neurológico, reproductivo [ref]
Metano	Grupo 3	n.d.
Etilbenceno	Grupo 2B	Desarrollo, hepático, neurológico, renal [ref]
Óxido de Etileno	Grupo 1	Desarrollo, endocrino, hematológico, neurológico, reproductivo, respiratorio [ref]
Tolueno	Grupo 3	Cardiovascular, desarrollo, inmunológico, neurológico, respiratorio [ref]



Xilenos	Grupo 3	Dermal, hepático, neurológico, renal, respiratorio [ref]
---------	---------	--

Tabla 1 Clasificación de la IARC y otros efectos sobre la salud para compuestos orgánicos específicos relacionados con los combustibles fósiles en aire y agua (n.d. = no disponible).

Las partículas en suspensión (material particulado) son el contaminante más dañino liberado por la combustión de combustibles fósiles; están vinculadas con el cáncer, mayores tasas de mortalidad, enfermedades cardíacas, problemas respiratorios y trastornos neurológicos (Tabla 2). Niveles altos de dióxido de azufre también pueden afectar el sistema respiratorio, especialmente en niños y grupos sensibles. Como veremos en la [Sección 6.2](#) Sección 6.2, la evidencia de problemas respiratorios en niños fue fundamental para impulsar una actualización legislativa sobre las emisiones de SO₂ en la refinería de petróleo Saras en Sarroch.

Contaminante	Clasificación IACR	Otros efectos en la salud (ATSDR)
NO _x	Grupo 3	Ninguno [ref]
PM _{2.5}	Grupo 1	Mortalidad, cardiovascular, respiratorio, neurológico [ref]
PM ₁₀	Grupo 1	
SO ₂	Grupo 3	Respiratorio [ref]

Tabla 2: Clasificación de la IARC y otros efectos sobre la salud para contaminantes atmosféricos específicos de la combustión. PM_{2.5} y PM₁₀ son partículas que varían en tamaño entre 1 – 2.5 µm y 2.5 – 10 µm, respectivamente.

Ciertos metales pesados también pueden afectar la salud humana (Tabla 3). El vanadio y el níquel son los más relevantes en el petróleo crudo y pueden liberarse durante su combustión. Mientras que el vanadio no representa preocupación, los compuestos de níquel son carcinógenos del Grupo 1.

Contaminante	Clasificación IACR	Otros efectos en la salud (ATSDR)
--------------	--------------------	-----------------------------------



Arsénico	Grupo 1 (I, M); Grupo 3 (O)	Cardiovascular, dermal, endocrino, gastrointestinal, hematológico, neurológico, renal, respiratorio [ref]
Cadmio	Grupo 1 (M, I, O)	Gastrointestinal, musculoesquelético, renal, respiratorio [ref]
Cromo (VI)	Grupo 1 (I, O) Grupo 3 (M)	Dermal, gastrointestinal, hematológico, reproductivo, respiratorio [ref]
Plomo	Grupo 2A (I) Grupo 2B (M) Grupo 3 (O)	Desarrollo, hematológico, neurológico, renal, reproductivo [ref]
Mercurio	Grupo 2B (O) Grupo 3 (I, M)	Cardiovascular, desarrollo, inmunológico, neurológico, renal, reproductivo [ref]
Manganeso	n.d.	Desarrollo, neurológico, reproductivo, respiratorio [ref]
Nickel	Grupo 1 (I, O) Grupo 2B (M)	Dermal, desarrollo, inmunológico, respiratorio [ref]
Vanadio ^a	Grupo 2B	Desarrollo, gastrointestinal, hematológico, neurológico, respiratorio [ref]

Tabla 3 Clasificación de la IARC y otros efectos sobre la salud de metales pesados relevantes (n.d. = no disponible). Los grupos de riesgo cancerígeno se presentan para tres categorías: compuestos inorgánicos (I), compuestos orgánicos (O) y el elemento metálico (M). Para el cromo, solo se hace referencia a los cromatos (también conocidos como cromo (VI) o cromo hexavalente). La clasificación del vanadio se refiere únicamente al pentóxido de vanadio (a)

El arsénico y el mercurio, que pueden liberarse durante la combustión del gas natural, también pueden tener una variedad de efectos sobre la salud; por ejemplo, el arsénico y sus compuestos inorgánicos causan cáncer. Otros metales pesados como el cadmio y los cromatos (compuestos con cromo en su estado de oxidación más alto) también son cancerígenos.



3.2.2 Normas y directrices de calidad ambiental - ¿a partir de qué concentraciones deberíamos preocuparnos?

Aunque la mayoría de los contaminantes asociados a la explotación de combustibles fósiles —y a las actividades humanas en general— afectan la salud humana, aspirar a un entorno completamente prístino no es realista. Aun así, todas las personas tienen derecho a vivir en un lugar seguro, limpio y saludable, lo que hace esencial definir qué niveles de contaminantes pueden considerarse “aceptables”.

Según la matriz ambiental y los criterios de evaluación, se pueden utilizar diferentes referencias para definir qué significa “aceptable”. La primera son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estas son recomendaciones flexibles, basadas en evidencia científica, que pueden emplearse para una evaluación general de la contaminación. En este folleto, nos referimos a las directrices de la OMS sobre [contaminantes del aire](#) y la calidad del [agua para uso recreativo](#).

Las normas de calidad ambiental constituyen un segundo conjunto de valores de referencia. A diferencia de las directrices de la OMS, estas establecen límites legalmente vinculantes sobre los niveles máximos de contaminantes, equilibrando la protección de la salud con factores económicos. Aquí, nos centramos en la [Directiva sobre la calidad del aire](#) y la [Directiva sobre normas de Calidad Ambiental](#) más recientes de la Unión Europea (UE), que se aplican a los Estados Miembros. Las referencias completas a estos y otros documentos relevantes se encuentran en la [Sección 7](#).



Aire

La **Tabla 4** resume las normas y directrices de calidad del aire para los contaminantes emitidos durante la explotación de combustibles fósiles. Las concentraciones están expresadas como promedios anuales en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (salvo que se indique lo contrario).

Contaminante	Concentración anual en aire (µg/m³)		Cancerígeno
	WHO	EU	
Principales VOC relacionados con los combustibles fósiles			
Benceno	1.7 ^a	5	*
Benzo[a]pireno	0.012 ^a	0.001	
1,3-Butadieno	n.d.	n.d.	*
Metano	n.d.	n.d.	
Etilbenceno	n.d.	n.d.	
Óxido de etileno	n.d.	n.d.	*
Tolueno	260 ^b	n.d.	
Xilenos	n.d.	n.d.	
Contaminantes relacionados con la combustión			
NO ₂	n.d. ^e	200 ^e [18] ^d	
	25 ^c	n.a. ^c	
	10	40	
PM _{2.5}	15 ^c	n.d. ^c	*
	5	25	
PM ₁₀	45 ^c	50 ^c	*
	15	40 [35] ^c	
SO ₂	n.d. ^e	350 ^e [24] ^d	
	40 ^c	125 ^c [3] ^d	
Metales pesados			
Arsénico	0.0066 ^a	0.006 ^f	*
Cadmio	0.005	0.005 ^f	*
Cromo (IV)	0.00025 ^a	n.d.	*
Plomo	0.5	0.5 ^f	
Mercurio	1	n.d.	
Manganeso	0.15	n.d.	
Níquel	0.025 ^a	0.02 ^f	*
Vanadio	1	n.d.	

Tabla 4 Directrices de la OMS para la calidad del aire y Directiva de Calidad del Aire de la UE (2008/50/CE) para contaminantes seleccionados asociados a la explotación de combustibles fósiles (n.d. = no disponible). La última columna indica los carcinógenos de Clase 1 según la clasificación de la IARC (Tablas 1–3). a Nivel de referencia estimado asumiendo un riesgo aceptable de cáncer adicional de por vida de 1 en 100 000. b Promedio semanal. c Promedio diario. d Excedencias



permitidas por año o día. e Promedio horario. f Medido como contenido metálico en PM10.

Para los compuestos orgánicos volátiles (COV) individuales, la Unión Europea solo establece estándares de calidad del aire para el benceno y el benzo[a]pireno. Carcinógenos de clase 1 como el 1,3-butadieno y el óxido de etileno están regulados en algunos países, pero no en Europa (ver [Sección 6.1](#)); por ejemplo, [Ontario](#) (Canadá) establece una media anual máxima de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 1,3-butadieno y de $0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el óxido de etileno. Los COV como clase son difíciles de regular debido a su heterogeneidad. La UE aún no ha impuesto límites legales para los COV totales en el aire, aunque desde 2016 exige a los Estados miembros reducir las emisiones de COV no metánicos. [Algunos países europeos también han establecido umbrales nacionales para los COV en interiores.](#) Como referencia orientativa, los COV totales deberían ser $\leq 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en interiores y $\leq 2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas cercanas a instalaciones industriales.

Para los contaminantes liberados durante la combustión de combustibles fósiles, existen distintos límites basados en promedios en el tiempo. La legislación europea también permite que ciertos valores diarios se superen un número fijo de veces al año. Por ejemplo, para el SO_2 , la Directiva de Calidad del Aire establece promedios máximos horarios y diarios de 350 y $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, permitiendo hasta 24 superaciones horarias y 3 superaciones diarias por año. Tanto la OMS como la UE establecen límites anuales para el ozono y el monóxido de carbono. Aunque el ozono no está directamente relacionado con la explotación de combustibles fósiles, se forma en presencia de niveles altos de COV, NO_x y luz solar, condiciones que a menudo se encuentran cerca de refinerías durante el día (ver [Figura 4](#)). El monóxido de carbono es un subproducto de la combustión y puede encontrarse cuando se queman petróleo, gas o carbón —por ejemplo, en centrales eléctricas.



En cuanto a los metales pesados, la UE regula el arsénico, el cadmio, el níquel y el plomo (todos cuantificados como contenido metálico en PM₁₀). La OMS también recomienda niveles de referencia para el cromo (VI), el mercurio, el manganeso y el vanadio.

Aunque el sulfuro de hidrógeno (H₂S) no es tóxico a concentraciones exteriores típicas (la irritación ocular, primer síntoma de salud, ocurre entre 15,000 y 30,000 µg/m³), este compuesto tiene un olor muy fuerte. Para evitar molestias, la OMS aconseja un promedio diario máximo de 150 µg/m³ y un promedio de 30 minutos de 7 µg/m³.

Agua

La **Tabla 5** resume las concentraciones promedio anuales (en µg/L) de contaminantes seleccionados relevantes para la explotación de combustibles fósiles. La lista excluye el metano y otras especies presentes únicamente en el aire, como el material particulado.

Contaminante	Concentración anual en la superficie del agua (µg/L)		Cancerígeno
	WHO	EU	
VOC principales relacionados con los combustibles fósiles			
Benceno	200	10 [50] ^a	*
Benzo[a]pireno	n.d.	0.00017 [0.27] ^a	
1,3-Butadieno	n.d.	n.d.	*
Etilbenceno	10'000	n.d.	
Óxido de etileno	n.d.	n.d.	*
Tolueno	14'000	n.d.	
Xilenos	6'000	n.d.	
Metales pesados			
Arsénico	200	n.d.	*
Cadmio	60	0.08 – 0.25 ^b [0.45 – 1.5] ^{a,b}	*
Cromo	1'000	n.d.	*
Plomo	200	1.2 [14] ^a	
Mercurio	n.d.	n.d. [0.07] ^a	
Manganeso	8'000	n.d.	



Níquel	1'400	4 [34] ^a	*
Vanadio	n.d.	n.d.	

Tabla 5 Valores de referencia para aguas superficiales tomados de las Directrices de la OMS sobre la calidad del agua recreativa y de la Directiva sobre Normas de Calidad Ambiental de la UE (aguas superficiales continentales; n.d. = no disponible). La tercera columna indica los productos químicos conocidos como carcinógenos del Grupo 1 según la clasificación de la IARC (Tablas 1–3). a Concentración máxima permitida en eventos de contaminación a corto plazo. b Los valores dependen de la dureza del agua.

Las directrices sobre calidad del agua recreativa están disponibles para BTEX y varios metales pesados, y suelen expresarse en el rango de mg/L. Para el tolueno, etilbenceno y los xilenos, las concentraciones recomendadas son mayores que su umbral de olor, por lo que el agua aún puede considerarse segura, aunque tenga mal olor. La OMS también dispone de directrices para la calidad del agua potable, que son más estrictas (hasta 20 veces menores) y cubren más sustancias que las aplicables al agua recreativa.

La Directiva sobre Normas de Calidad Ambiental de la UE establece valores promedio anuales y límites máximos permitidos (para contaminación a corto plazo) para algunos compuestos específicos de la industria de los combustibles fósiles. Esta Directiva también regula el naftaleno y el antraceno, dos hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) no incluidos en la Tabla 5, junto con disolventes clorados y otros contaminantes prioritarios.

La conductividad y el pH no están cubiertos por la legislación de la UE ni por las directrices de la OMS, pero son indicadores valiosos de contaminación: su medición es rápida y económica, y los valores fuera de rango son señales claras de contaminación (por ejemplo, véanse las Secciones 6.3 y 6.4.2). Los valores típicos dependen de la geología; en general, el agua dulce no contaminada tiene un pH entre 6.5 y 8.5 y una conductividad entre 50 y 1,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cambio, las aguas afectadas por drenaje de minas pueden tener un pH tan bajo como 2–



3, mientras que las aguas residuales industriales y el agua de mar presentan conductividades superiores a 10,000 y 55,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.



Illustrations by Storyset

4. ¿Qué herramientas puede usar la ciudadanía para monitorizar la salud ambiental?



Un objetivo clave de ERICA es ayudar a las personas que viven cerca de industrias de combustibles fósiles a recopilar información confiable sobre la calidad ambiental local. Esta sección presenta herramientas asequibles que cualquiera puede usar para monitorear el aire y el agua, con un enfoque en los contaminantes descritos en la [Sección 3.1](#): COV, H₂S, SO₂ y otras sustancias relacionadas con la combustión en el aire; ácidos, sales, metales pesados y compuestos orgánicos como los HTP en el agua.

Clasificamos estas herramientas según (1) su origen y costo, y (2) el enfoque. Según el primer criterio, las tecnologías pueden ser comerciales o de “hazlo tú mismo” (DIY). Las herramientas comerciales se dividen en bajo costo (≤ 2.000 €) o costo medio (2.000 – 30.000 €), mientras que las tecnologías DIY suelen estar por debajo de los 2.000 €, aunque algunas pueden no ser mucho más baratas que los dispositivos comerciales de bajo costo. Si bien las tecnologías de costo medio pueden ser demasiado caras para ciudadanos individuales, pueden estar al alcance de ONGs u otras organizaciones con financiación.

En cuanto a la recolección de datos, los enfoques incluyen: (1) medir concentraciones de contaminantes, (2) recolectar muestras, o (3) registrar otros datos (como fotos georreferenciadas que muestren contaminación).

La [Tabla 7](#) ofrece una visión general de estas tecnologías con enlaces a sitios web relevantes; una selección de estas herramientas se describe más adelante. La mayoría de las herramientas de bajo costo y “hazlo tú mismo” (DIY) para el aire detectan materia particulada de varios tamaños y, en algunos casos, COV totales. Para el agua, los kits colorimétricos son la opción más accesible para detectar ácidos, metales pesados y otros contaminantes.



La calidad de los datos es una desventaja general de los enfoques de bajo costo: si bien las tecnologías de bajo costo y DIY son excelentes para la educación y la sensibilización, los proyectos que requieren datos de alta calidad deberían considerar colaborar con universidades o laboratorios acreditados.

	Medición de concentraciones por ciudadanos			Muestreo ciudadano		Recolección de otros datos por ciudadanos
	Comercial		DIY	Comercial	DIY	
	Low-cost	De costo medio		Low-cost		
AIRE	• Smart citizen kit • PurpleAir • Airnote	• Aeroqual S500	• DustBox • Frackbox • airRohr • CanAirIO • Simple Air Sensor • GLOBE sun photometer	• Radiello	• Bucket Monitor • Copper strips	• Olor (ej., OdourCollect) • Fotos / Inspección visual • Bioindicadores
AGUA	• Kits colorimétricos – ChemMetrics – SenSafe – Modern Water RaPID assay – Hanby TPH test kit^a • Horiba LAQUAtwin compact meters • eXact iDip Photometer	• Hanna multiparametric field probe • UVF-500D Handheld Analyzer • UVF-TRILOGY Benchtop Analyzer • enviroFlu-HC 500	• Publiclab's water sensors	• Muéstrador pasivo (ej., aquí)	• a simple container	• Fotos / inspección visual • Bioindicadores • Imágenes de satélite

Tabla 7 Resumen de tecnologías accesibles disponibles para detectar la contaminación relacionada con la explotación de combustibles fósiles en aire y agua. Las entradas resaltadas se describen con más detalle a continuación.
a Un sistema similar está disponible para [la detección de TPHs](#) en suelo.



Los ciudadanos aún pueden desempeñar un papel activo recolectando muestras y/o recopilando datos sobre el terreno. En la justicia ambiental, las observaciones “simples” suelen tener un impacto mayor que los datos obtenidos con instrumentos costosos (por ejemplo, véase la [Sección 6.4.1](#)) y representan herramientas poderosas para poner en marcha el proceso.

4.1 Herramientas para el monitoreo del aire

4.1.1 Sensores comerciales de bajo y medio coste

Hay una gran variedad de sensores asequibles para monitorear contaminantes del aire, incluidos algunos específicos para la industria de los combustibles fósiles. Su principio de funcionamiento depende del contaminante: por ejemplo, las partículas se detectan con contadores ópticos de partículas, los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) con detectores de fotoionización, y los óxidos de nitrógeno (NOx), ozono y monóxido de carbono con sensores de óxido metálico o electroquímicos.

La calidad de los datos puede ser una limitación para los sensores de aire de bajo costo. El Air Quality Sensor Performance Evaluation Center ([AQ-SPEC](#)), un programa que evalúa el rendimiento de sensores por debajo de los 2,000 US\$, es un recurso excelente para identificar los dispositivos adecuados para cada necesidad. El sitio web de AQ-SPEC ofrece una lista completa de productos clasificados por proveedor y contaminante, junto con costos, especificaciones técnicas e informes de desempeño que comparan los sensores con métodos de referencia.

Entre la variedad disponible, recomendamos [PurpleAir](#) y [Aeroqual S500](#). PurpleAir, que cuesta menos de 300 €, es muy popular para la detección en tiempo real de PM2.5 y es ampliamente usado en



programas de monitoreo de aire liderados por ciudadanos. Los modelos más recientes (PurpleAir Zen, Touch y Flex) también detectan COVs totales usando un sensor de óxido metálico.

Aunque es más caro (entre 2,100 y 2,800 €), el Aeroqual S500 es una excelente alternativa para una gama más amplia de contaminantes, algunos específicos de la explotación de combustibles fósiles. Cambiando la cabeza del sensor, este instrumento portátil puede detectar VOCs totales, CH₄, H₂S, SO₂, NO₂ y PM, con límites de detección generalmente en decenas de partes por billón (ppb), por debajo de los valores legales establecidos por la Unión Europea (Figura 5). Según [la AQ-SPEC](#), el Aeroqual S500 es una de las mejores opciones de bajo costo disponibles para VOCs totales.

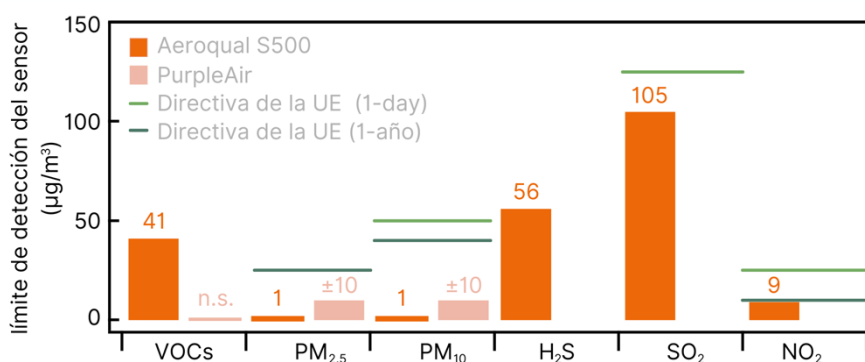


Figura 5 Límites de detección para los dos sensores de calidad del aire recomendados en comparación con los valores establecidos por la Directiva de Calidad del Aire de la UE 2008/50/CE (Tabla 4). El sitio web de PurpleAir no especifica límites de detección para VOCs totales (n.s.). La Directiva de la UE 2008/50/CE no cubre VOCs totales ni H₂S; para pautas sobre niveles aceptables de estos químicos, véase la [Sección 3.2.2](#) Sección 3.2.2. Los límites de detección en ppm fueron convertidos a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como se detalla en la [Sección 7](#).

4.1.2 Sensores DIY

La mayoría de los sensores de aire DIY (hazlo tú mismo) son contadores ópticos de partículas de bajo costo, encerrados en una carcasa protectora y conectados a un registrador de datos. Un buen ejemplo



de este tipo de configuración es el [DustBox](#), desarrollado por [Citizen Sense initiative](#). Este dispositivo utiliza un sensor de partículas de bajo costo alojado en una carcasa impresa en 3D y se conecta al WiFi mediante un microcontrolador (Figura 6). Aunque el [manual de construcción](#) es detallado y completo, construir el DustBox requiere conocimientos de electrónica, soldadura y programación. El costo total no se especifica, pero se estima en unos pocos cientos de euros.

Más específico para la industria del petróleo y gas es el [Frackbox](#), también de Citizen Sense. El Frackbox detecta compuestos orgánicos volátiles totales (VOCs) mediante un detector de fotoionización de bajo costo, además de medir NO_2 , ozono y datos meteorológicos. Sus límites de detección son de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para VOCs totales, similares a los del [Aeroqual S500](#) (Figura 5). Al momento de redactar este texto, este dispositivo sigue siendo un prototipo y aún no están disponibles las instrucciones detalladas para su construcción.

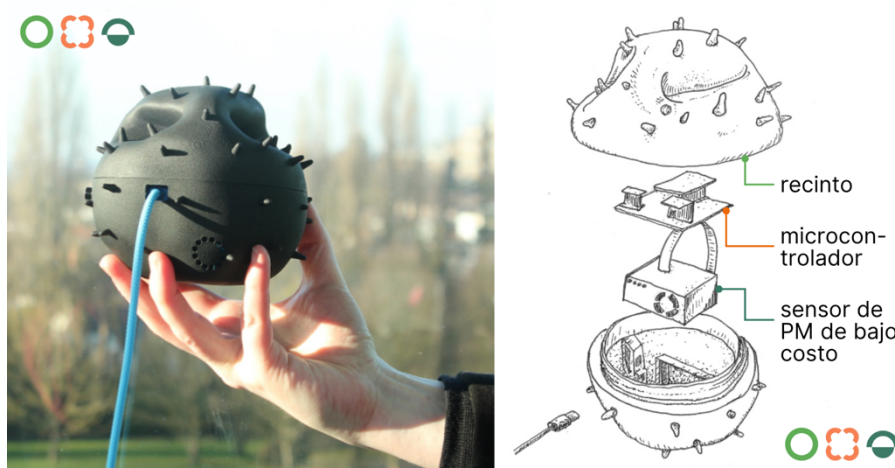


Figura 6 Imagen y esquema de un DustBox 2.0. Readaptado del material en línea de [Citizen Sense](#).

4.1.3 Muestreadores comerciales y DIY

Una excelente alternativa a los sensores de bajo costo es pedir a los ciudadanos que recojan muestras. Los **muestreadores pasivos** son particularmente adecuados para la vigilancia del aire, ya que solo



necesitan ser colocados durante un tiempo determinado (generalmente unas pocas semanas), son livianos y no requieren electricidad. Por otro lado, los **muestreadores activos** hacen pasar aire por una bolsa de recolección durante un período más corto (normalmente una hora), pero requieren una fuente de energía. Tras la recolección, ambos tipos de muestreadores se envían por correo a laboratorios académicos o acreditados para su análisis mediante métodos estándar. Por ejemplo, los COV individuales pueden detectarse usando el método estándar [EPA TO-15](#), diseñado para medir 97 contaminantes atmosféricos por encima de 0.5 ppb (alrededor de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Los costos y los límites de detección varían según el laboratorio, los contaminantes y el método utilizado.

Tanto los muestreadores comerciales como los de bricolaje (**DIY**) son adecuados para proyectos de ciencia ciudadana. [Radiello](#) es una opción conveniente si se cuenta con financiamiento, con un costo de **400 – 600 € por 20 unidades** (incluyendo el análisis químico). Esta empresa ofrece varios modelos adaptados a distintos contaminantes y necesidades de muestreo. Por ejemplo, [Source International](#) utilizó muestreadores Radiello para monitorear **H₂S** en torno a la planta petrolera **COVA** en Val d'Agri, mientras que investigadores de la [Universitat Politècnica de Catalunya](#) usaron dispositivos análogos para medir niveles de base de **1,3-butadieno** en el complejo petroquímico de Tarragona (ver [Sección 6.1](#)).

En comparación con sensores de aire como el **Aeroqual S500** ([Sección 4.1.1](#)), los muestreadores Radiello tienen límites de detección mucho más bajos ([Figura 7](#)), pero requieren tiempos de exposición más largos (de decenas de horas a varios días) y solo proporcionan valores promedio de concentración durante ese período.

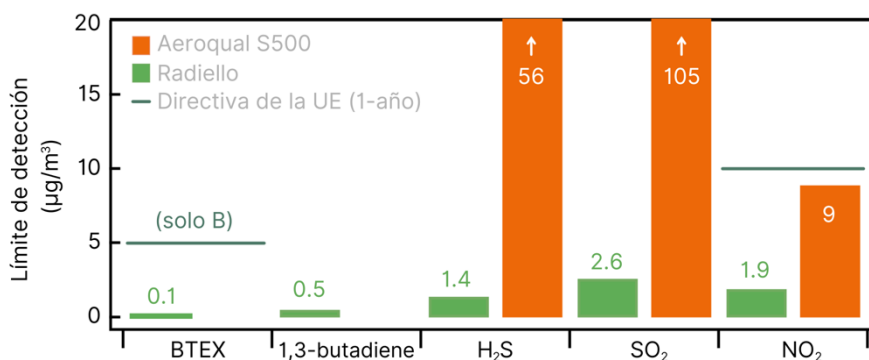


Figura 7 Límites de detección de Radiello y Aeroqual S500 en comparación con los valores establecidos por la Directiva de Calidad del Aire de la UE 2008/50/EC (Tabla 4). De los cuatro compuestos BTEX, la Directiva de la UE regula únicamente el benceno (B). Las referencias para estos datos se encuentran en la [Sección 7](#).

El [Bucket Monitor](#) es un ejemplo de muestreador activo DIY para compuestos orgánicos volátiles (COV) y sustancias químicas que contienen azufre. Desarrollado en los años 90 por residentes de California preocupados por la contaminación de plantas petroquímicas, ha sido probado y aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) para actividades participativas de monitoreo de calidad del aire (véase, por ejemplo, la [Sección 6.4](#)).

El [Bucket Monitor](#) consiste en un cubo cerrado de almacenamiento de alimentos de 20 L que contiene una bolsa Tedlar de 5 L. El aire se recoge utilizando una bomba de vacío portátil alimentada por batería o una bomba de bicicleta, y la muestra debe enviarse para análisis en un plazo de 24 a 72 horas. Cada cubo cuesta aproximadamente 75 € (sin incluir el análisis) y, al requerir tiempos de recolección más cortos que los muestreadores pasivos, resulta más eficaz para detectar picos de contaminación.

4.1.4 Otras estrategias

Las comunidades pueden emplear **métodos adicionales de bajo costo** para recopilar evidencia de la mala calidad del aire. Un **mal olor** es con



frecuencia el detonante de acciones locales —como ocurrió en Tarragona ([Sección 6.1](#)) y en Sarroch ([Sección 6.2](#)). Dado que los olores provienen de diversas actividades humanas —no solo de refinerías de petróleo y plantas petroquímicas— ya existen plataformas dedicadas al mapeo participativo de malos olores. [OdourCollect](#) y [Smell My City](#) (disponible en EE. UU.) son dos ejemplos de estas herramientas. **OdourCollect**, desarrollada en el marco del proyecto europeo [D-NOSES](#), permite a los usuarios registrar la **ubicación, tipo, intensidad y duración** de los olores en cualquier parte del mundo.

Además, **D-NOSES** ha lanzado el **Observatorio Internacional del Olor** ([International Odor Observatory](#)), una plataforma para compartir conocimientos, experiencias y buenas prácticas sobre la contaminación por olores.

Más allá de reportar olores, los ciudadanos pueden tomar **fotografías georreferenciadas de eventos de contaminación** o compartir sus observaciones sobre actividades industriales locales. Cuando estos datos se recopilan en un mapa, el proceso se denomina [“mapeo participativo”](#). Un caso destacado que demuestra el poder de este enfoque económico es el **mapeo participativo de las actividades de quema de gas en la Amazonía ecuatoriana** ([Sección 6.4.1](#)).

La biomonitorización ofrece otra forma participativa y educativa de evaluar la calidad del aire mientras se aprende sobre la biodiversidad local. Este método consiste en observar la presencia y el estado de salud de ciertos organismos que responden a la contaminación.

Las especies vegetales y los líquenes son los más utilizados para detectar mala calidad del aire. La iniciativa **Citizen Sense** desarrolló un [“Phyto-sensor toolkit”](#), con recursos y guías para detectar la contaminación atmosférica mediante el uso de plantas — por ejemplo,



muchas especies son sensibles al [ozono](#): en EE.UU. existe toda una red de “[Jardines de ozono](#)”.

Asimismo, el proyecto de ciencia ciudadana [VOCE](#), en Marsella, involucró a la población en la [evaluación de la calidad del aire](#) mediante la observación de la biodiversidad de líquenes y el crecimiento y floración de plantas de petunia (ver [Sección 6](#)).

4.2 Herramientas para el monitoreo del agua

4.2.1 kits comerciales de bajo coste

Los kits colorimétricos son la mejor opción para análisis cualitativos y semicuantitativos del agua, y se utilizan ampliamente en programas de monitoreo participativo, como el [Freshwater Watch](#). Suelen costar entre **50 y 200 €** por **30 a 100 pruebas** y pueden adquirirse a través de proveedores generales (como [Sigma Aldrich](#)) o especializados (como [ChemMetrics](#) y [SenSafe](#)). Son intuitivos y rápidos de usar.

El funcionamiento consiste en añadir un reactivo a la muestra (o sumergir una tira reactiva en la muestra). Tras una breve espera, el color de la muestra (o de la tira) se compara con una carta de colores que indica intervalos de concentración ([Figura 8](#)). Para algunos contaminantes, existen kits disponibles con diferentes rangos de concentración, cuyos límites de detección varían, aunque generalmente se encuentran en el rango de partes por millón (ppm).

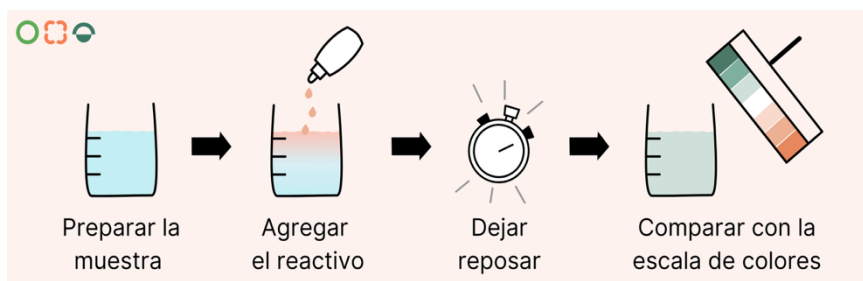


Figura 8 Principio de funcionamiento de un kit colorimétrico que utiliza reactivos líquidos.

La mayoría de los kits se centran en indicadores generales de la calidad del agua, como el pH y los metales solubles, incluidos arsénico, cromato, manganeso y plomo. Algunos productos están diseñados específicamente para contaminantes industriales como el H_2S y compuestos orgánicos: por ejemplo, ciertos kits de ChemMetrics detectan [sulfuros](#) y [fenoles](#) sulfuros y fenoles en el agua. También existen opciones más costosas dirigidas a hidrocarburos del petróleo: [Modern Water RaPID Assay](#) y el [Hanby TPH Test Kit](#). El primero cuantifica BTEX/TPH totales en agua mediante un inmunoensayo con partículas magnéticas, ofreciendo resultados en menos de 60 minutos. El segundo es una opción más cualitativa que implica extraer la muestra con un disolvente orgánico y comparar el color del extracto con una escala de colores. Ambos kits también están disponibles para análisis de suelos.

4.2.2 Sensores comerciales de bajo coste

Los sensores comerciales de bajo costo miden principalmente parámetros simples de calidad del agua. Entre los muchos disponibles, recomendamos los [Horiba LAQUAtwin Compact Meters](#) y el [eXact iDip Photometer](#). Por solo unos pocos cientos de euros, Horiba ofrece medidores de bolsillo para **pH, conductividad, potencial de oxidación-reducción y iones seleccionados**. Con un precio similar, el **eXact iDip Photometer** cuantifica **metales y otros contaminantes** – incluidos **sulfuros y cianuro de hidrógeno** – además de los parámetros



generales de calidad del agua. Este dispositivo funciona como un kit colorimétrico (Figura 8), pero utiliza un fotómetro para cuantificar con precisión el cambio de color y, por tanto, las concentraciones.

4.2.3 Otros enfoques

De manera similar al aire, la inspección visual georreferenciada y las fotografías son alternativas válidas y de bajo costo para el monitoreo participativo de la calidad del agua. Por ejemplo, [Public Lab](#) describe un método para distinguir entre películas bacterianas naturales y contaminación por hidrocarburos, un enfoque útil para localizar aguas contaminadas. El *Good Karma Project* ([Sección 6.1](#)) también ha involucrado a residentes para reportar la contaminación por pellets de plástico en un [mapa online](#). La **biomonitorización** también es viable en ecosistemas acuáticos – por ejemplo, la asociación francesa *VOCE* organizó actividades de monitoreo con el club local de buceo para evaluar el impacto del complejo petroquímico de Marsella sobre la [biodiversidad marina](#).



Illustrations by Storyset



5. ¿Cómo usar los datos ambientales para impulsar un cambio?



Los proyectos de ciencia ciudadana sobre la explotación de combustibles fósiles suelen iniciarse para estimular el cambio — ya sea en las operaciones industriales, las regulaciones políticas o la sociedad civil. Así, el conocimiento adquirido en estos contextos adquiere una dimensión más allá de los fines académicos: puede empoderar a los ciudadanos, apoyar a las comunidades locales en batallas legales y ayudar a resolver conflictos ambientales. Esta sección explica qué significa “conocimiento accionable” y ofrece consejos sobre cómo convertir los proyectos de ciencia ciudadana en cambios reales en el mundo.

5.1 ¿Qué es el *conocimiento accionable*?

El **conocimiento accionable** se refiere a los conocimientos e información generados a través de la investigación científica que crean las condiciones para un cambio positivo. Esto implica traducir datos científicos en información que pueda utilizarse en debates públicos, en la educación y en campañas de concienciación, informando así la toma de decisiones y empoderando a los ciudadanos.

A diferencia de la investigación académica, la efectividad del conocimiento accionable depende de una interacción compleja de factores. En otras palabras, no basta con que profesionales recolecten datos de manera técnicamente adecuada. Para que los proyectos generen un cambio real, deben estar claramente vinculados a aplicaciones concretas y contar con la participación de miembros de la comunidad y responsables políticos desde la etapa de planificación. Adoptar diversos mecanismos de financiamiento también es crucial para la sostenibilidad a largo plazo del proyecto y para mantener una colaboración activa entre todos los actores.



Incluir a todos los participantes en la planificación, recolección y validación de datos es fundamental para garantizar una “**democracia del conocimiento**”: es decir, producir información legitimada por diversos miembros de la sociedad civil, y no solo por las autoridades del conocimiento. Involucrar a la comunidad local en la recolección de datos mediante distintos métodos — cualquier tipo de dato, no solo concentraciones de contaminantes — también es una forma de “**justicia cognitiva**”, ya que da relevancia a sistemas de conocimiento que históricamente han sido desvalorizados o ignorados (por ejemplo, los de los pueblos nativos americanos).

Para ser eficaz, el *conocimiento accionable* debe abordar la complejidad de los problemas que busca resolver, así como la variedad de datos implicados. En este contexto, **gestionar adecuadamente la incertidumbre es clave**. La incertidumbre de los datos debe ser claramente definida y comunicada a todos los actores involucrados; algunos académicos incluso han propuesto organizar actividades para desarrollar una “sensibilidad hacia la incertidumbre”. Al menos en parte, la incertidumbre también debe ser aceptada. Esto puede lograrse adoptando un **enfoque de ciencia “post-normal”**, en el cual se reconoce la incertidumbre como un factor definitorio del conocimiento relacionado con cuestiones complejas como el medio ambiente y la salud. La incertidumbre también puede mitigarse aplicando algunas de las estrategias que se presentan en la siguiente sección.

5.2 ¿Cómo puede uno activar la información ambiental?

Esta sección resume las mejores prácticas para maximizar la producción de conocimiento útil en proyectos de ciencia ciudadana. Estas prácticas se dividen en dos categorías: **sociotécnicas**



(relacionadas con mejoras tecnológicas y cambios organizativos) y **sociopolíticas** (centradas en normas sociales, comportamientos y política).

Las mejores prácticas sociotécnicas incluyen tres acciones clave (Figura 9, izquierda):

1. **Mejorar la comunicación y la visibilidad del proyecto** utilizando plataformas existentes, interactuando con medios de comunicación tradicionales y modernos, y organizando reuniones presenciales para fomentar la participación.
2. **Conectar los resultados del proyecto con objetivos políticos** involucrando a los responsables de políticas públicas en el diseño del proyecto y alineando los resultados con las prioridades políticas.
3. **Garantizar la precisión de los datos** mediante la formación y el apoyo de profesionales.

Las mejores prácticas sociopolíticas se centran en tres temas principales (Figura 9, derecha):

1. Elegir la **mejor forma de participación ciudadana** – los proyectos con mayor implicación de los ciudadanos tienen más probabilidades de generar conocimiento útil.
2. Adoptar un **enfoque orientado a la justicia**, asegurando que todas las comunidades tengan acceso al conocimiento relevante y buscando alcanzar una “democracia del conocimiento”.
3. Garantizar que los **datos sean socialmente sólidos**, incluyendo el conocimiento tradicional, asegurando la coproducción de datos y gestionando la incertidumbre de manera reflexiva.



SOCIO-TÉCNICO

1. Mejorar la visibilidad y la buena comunicación

- 1.1** Crear un portal de información en línea sobre ciencia ciudadana, que incluya una base de conocimientos sobre iniciativas en toda Europa, temas tratados, herramientas y recursos..
- 1.2** Comunicar de manera transparente las metodologías utilizadas y adherirse a buenas prácticas.
- 1.3** Promover la disponibilidad de los datos de ciencia ciudadana en plataformas abiertas existentes o nuevas, y asegurar que los mecanismos oficiales de reporte puedan aceptar e integrar estos datos.
- 1.4** Interactuar eficazmente con los medios tradicionales (periódicos, televisión) así como con comunicadores científicos; utilizar redes y plataformas de medios sociales.
- 1.5** Organizar encuentros presenciales que permitan la interacción social y recompensen el éxito.

2. Vincular resultados y prioridades políticas

- 2.1** Dirigir los marcos de políticas ambientales a diferentes escalas. Hacer explícitas las relaciones entre los proyectos de ciencia ciudadana, los temas del Pacto Verde y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- 2.2** Incrementar la sensibilización de los responsables de la toma de decisiones, en particular las autoridades locales, sobre la relevancia de los resultados de la ciencia ciudadana; por ejemplo, organizando eventos de enlace para fomentar el intercambio y la transferencia de conocimientos.

3. Calidad de datos precisa

- 3.1** Proporcionar formación y recursos sobre metodologías de gestión de la calidad de datos y estándares de buenas prácticas.
- 3.2** Ilustrar cómo se ha logrado la fiabilidad de los datos, para generar confianza y alinearse con la normativa ambiental y los requisitos de monitoreo de los gobiernos.



SOCIO-POLÍTICO

4. Definir el modo apropiado de participación

- 4.1** Reconocer el mejor modo de participación ciudadana considerando los cuatro niveles definidos por Haklay (2013): crowdsourcing, inteligencia distribuida, ciencia participativa y participación extrema.
- 4.2** Utilizar ciencias fuertemente participativas ('extremas') en controversias ambientales para permitir que las comunidades afectadas por la contaminación tengan voz.

5. Adoptar enfoques orientados a la justicia

- 5.1** Adoptar la justicia del conocimiento, garantizando que todas las comunidades, especialmente las marginadas o más afectadas por problemas ambientales, tengan acceso al conocimiento científico y técnico relevante, teniendo en cuenta la existencia de diferentes sistemas de conocimiento.
- 5.2** Buscar lograr la democracia del conocimiento mediante la validación del conocimiento público en el dominio público.

6. Calidad de datos socialmente robusta

- 6.1** Mejorar la legitimidad de los datos involucrando a un círculo más amplio de personas en la discusión del conocimiento (no solo a quienes cuentan con acreditación institucional) y formando comunidades ampliadas de pares (por ejemplo, jurados ciudadanos, grupos focales, referencias de consenso).
- 6.2** Coproducir conocimiento incluyendo una pluralidad de perspectivas legítimas y un diálogo inclusivo.
- 6.3** Adoptar estrategias para fortalecer la credibilidad implementando distintas técnicas en las diferentes etapas del proyecto, dando prioridad a la formación, asesoramiento científico, publicación y uso en la gestión.
- 6.4** Demostrar que los ciudadanos involucrados en el monitoreo cuentan con un nivel de formación y experiencia que les permite ser considerados expertos.
- 6.5** Gestionar la incertidumbre reconociendo la complejidad de la coproducción del conocimiento y promoviendo una 'sensibilidad a la incertidumbre' mediante una serie de actividades, por ejemplo, seminarios que involucren a las partes interesadas.

Figura 9 Resumen de las prácticas sociotécnicas y sociopolíticas para maximizar la producción de conocimiento útil en proyectos de ciencia ciudadana.



Illustrations by Storyset

6. Algunos ejemplos para inspirarse, en Europa y más allá



Esta sección final describe proyectos de ciencia ciudadana iniciados por comunidades preocupadas por los impactos de la explotación local de combustibles fósiles. Estas iniciativas involucraron a ciudadanos en diversos niveles y todas fueron exitosas a su manera: aunque solo algunas condujeron a cambios tangibles, todas ayudaron a aumentar la conciencia, educar a la población o proporcionar evidencia inicial de contaminación. Estas experiencias resaltaron la importancia de incluir a todos – responsables políticos, miembros de la comunidad y académicos – y de contextualizar el conocimiento. Algunos de los proyectos más exitosos se basaron en observaciones simples – como reportar olores desagradables o llamaradas de gas – lo que subraya aún más cómo el conocimiento de primera mano puede ser tan valioso como los datos obtenidos con instrumentos costosos. Nuestra revisión identificó 8 proyectos europeos de ciencia ciudadana sobre la explotación de combustibles fósiles, enfocados principalmente en refinerías y plantas petroquímicas en Europa Occidental (Figura 10).

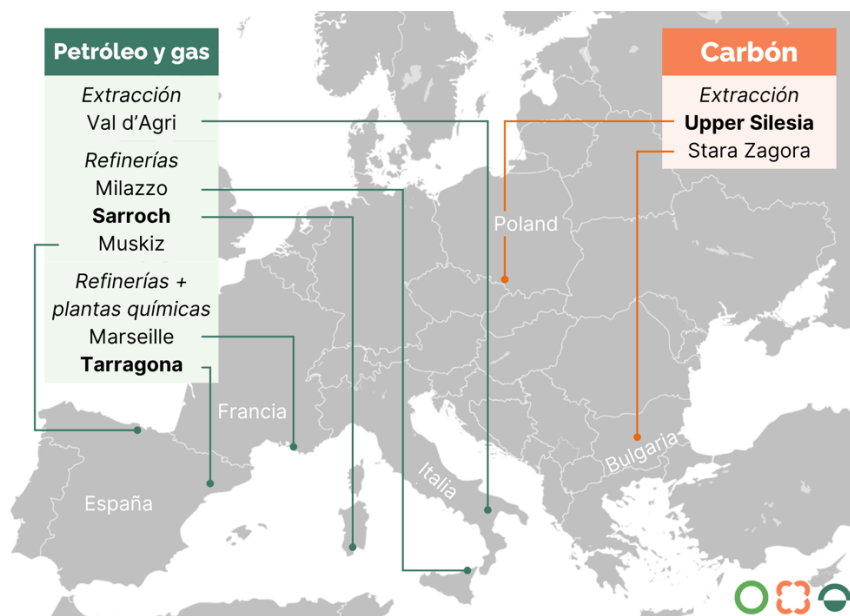


Figura 10. Ubicaciones de iniciativas europeas de ciencia ciudadana sobre la extracción y el procesamiento de combustibles fósiles. Los proyectos descritos con más detalle en el texto están destacados en negrita; consulte la [Sección 7](#) para obtener más información sobre las demás iniciativas.



A continuación, se analizan en detalle solo tres iniciativas: las desarrolladas en torno al complejo petroquímico de Tarragona ([Sección 6.1](#)); la refinería Saras en Cerdeña ([Sección 6.2](#)); y las minas de carbón en Polonia ([Sección 6.3](#)). La [Sección 6.4](#) concluye con ejemplos exitosos fuera de Europa que esperamos sirvan de inspiración para futuras iniciativas de justicia ambiental.

6.1 El complejo petroquímico de Tarragona

6.1.1 El problema

Tarragona, en la costa mediterránea norte de España, alberga el mayor complejo petroquímico del sur de Europa. En funcionamiento desde la década de 1960, el complejo incluye unas 30 empresas y ocupa más de 1.200 hectáreas. Una de las principales compañías es Repsol, que posee una refinería y varias plantas petroquímicas. Los principales productos fabricados en Tarragona son combustibles y plásticos.

Aunque se han producido algunos desastres medioambientales — como el vertido de aguas residuales tóxicas al río Francolí (2008) y el derrame de 40.000 toneladas de nafta en aguas subterráneas (2013)—, los residentes llevan mucho tiempo quejándose del persistente mal olor en los alrededores del complejo industrial. Desde un vertido de pellets de plástico en 2018, también ha ido en aumento la preocupación por la contaminación por microplásticos a lo largo de la costa cercana.

6.1.2 Las iniciativas

En 2008, los residentes cerca del complejo petroquímico crearon Plataforma Cel Net, una organización ciudadana cuyo objetivo es recopilar datos independientes sobre la calidad del aire. Con el apoyo de otras organizaciones, en 2014, [Plataforma Cel Net](#) encargó un estudio a la Universitat Politècnica de Catalunya, el cual detectó más



de 200 NMVOCs (compuestos orgánicos volátiles no metánicos) en el aire alrededor del área petroquímica. Algunos de estos compuestos — como el 1,3-butadieno y el óxido de etileno— son preocupantes porque son cancerígenos, pero aún no están regulados en Europa ([Sección 3.2](#)).

Estos hallazgos dieron lugar a [campañas](#) de concienciación ciudadana como “Algo huele mal”, “¿Sabes lo que respiras?” y “Tú también lo respiras”, organizadas por Plataforma Cel Net en colaboración con [GEPEC-EdC](#), el Grupo de Estudio y Protección del Ecosistema Catalán, y [La Canonja3](#). [Enginyeria Sense Fronteres](#), el grupo catalán de Ingenieros Sin Fronteras, también ha organizado actividades similares. En conjunto, estas iniciativas promovieron la recopilación de más datos, la educación del público y la defensa de nuevas regulaciones. La universidad local también ha llevado a cabo estudios adicionales sobre la calidad del aire para identificar los NMVOCs responsables del mal olor, así como otros compuestos tóxicos no regulados, y localizar las empresas emisoras de estos contaminantes.

Tras un vertido de pellets de plástico en 2018, la organización sin ánimo de lucro [Good Karma Project](#) lanzó [MEDPELLETS](#), una iniciativa de ciencia ciudadana que investiga la dinámica de la contaminación por pellets de plástico en el mar Mediterráneo occidental con el apoyo de la comunidad local de surfistas.

6.1.3 Los resultados

Aunque Plataforma Cel Net y sus colaboradores han sido fundamentales para aumentar la concienciación, su labor está lejos de estar terminada. Un logro parcial llegó en 2015 con la creación de la Mesa Territorial de la Calidad del Aire, que incluye plataformas



ciudadanas, administraciones, centros de investigación y empresas, y cuyo objetivo es establecer un nuevo sistema de control, regulación, prevención y protección en el área petroquímica. Sin embargo, dado que muchos NMVOCs aún no están regulados, la Mesa enfrenta dificultades para lograr resultados concretos.

En 2023, el Parlamento de Cataluña aprobó una moción para aumentar los puntos de monitoreo del aire alrededor del complejo petroquímico e incluir el 1,3-butadieno entre los contaminantes a vigilar. Otros logros incluyen la instalación de dos estaciones de monitoreo del aire en tiempo real en in [El Morell](#) y de sensores de fugas de benceno en los alrededores del complejo petroquímico; la creación del [La Mesa de calidad del Aire de Tarragona](#), una iniciativa liderada por la industria para financiar estudios sobre calidad del aire; y el trabajo del [Colectivo Ronda](#), que llevó a Repsol a los tribunales por causar cáncer a un trabajador. La industria también ha mostrado cierta autorregulación, con una reducción de entre el 40 % y el 80 % en las emisiones de 1,3-butadieno desde 2013. Al momento de redactar este texto, Plataforma Cel Net sigue presionando por la regulación del 1,3-butadieno y el óxido de etileno, que continúan sin estar regulados en Europa ([Sección 3.2.2](#)).

En lo que respecta a los microplásticos, los hallazgos del Good Karma Project dieron lugar a un aumento de inspecciones en empresas manufactureras, lo que resultó en sanciones e inicio de procedimientos por malas prácticas. En la próxima legislación sobre residuos, el Parlamento de Cataluña también ha incluido un apartado sobre la gestión de pellets de plástico. De aprobarse, esto convertiría a Cataluña en una región pionera en Europa en abordar esta problemática.



6.2 La refinería de petróleo de Sarlux

6.2.1 El problema

Activa desde 1965, Saras S.p.A. opera la refinería Sarlux en Sarroch (Cerdeña), una de las más grandes de Europa. La refinería produce gas licuado del petróleo, gasolina, nafta, diésel y combustible para aviación, principalmente para Italia y España. Sarlux tiene un historial de desastres ambientales e impactos crónicos que asociaciones locales como Donne Ambiente Sardegna y Sardegna Pulita llevan años denunciando. A principios de los años 2000, unas condiciones sociopolíticas favorables permitieron que estos esfuerzos se consolidaran en un proyecto cohesionado.

6.2.2 La iniciativa

En 2006, el municipio de Sarroch se asoció con las universidades de Florencia y Cagliari para lanzar la iniciativa “[Sarroch Ambiente e Salute](#)”. Esta iniciativa fue impulsada por un estudio realizado ese mismo año por la Universidad de Florencia, que demostró una mayor incidencia de ciertos tipos de cáncer y enfermedades respiratorias en los residentes cercanos a la refinería Sarlux. La contaminación atmosférica local fue identificada como una de las causas subyacentes de estos problemas de salud.

Durante la primera fase de la iniciativa (2006–2008), los socios organizaron actividades de divulgación, publicaron guías sobre enfermedades respiratorias en niños y llevaron a cabo dos estudios epidemiológicos en menores y uno sobre la calidad del aire. El municipio también adquirió una estación móvil para medir la contaminación del aire en los alrededores de la refinería. En conjunto, los estudios confirmaron una mayor incidencia de enfermedades respiratorias en niños y reforzaron la relación entre los problemas de



salud y los altos niveles de dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) y metales pesados.

La segunda fase del proyecto comenzó en 2009 con nuevos estudios epidemiológicos y de monitoreo del aire, así como la creación de un biobanco, donde se almacenaron muestras biológicas de residentes para estudios futuros. El biobanco se inauguró en 2010 y estuvo en funcionamiento hasta 2016.

6.2.3 Los resultados

Durante sus “años dorados” (2006–2009), el proyecto logró varios resultados significativos. El más destacado fue la reducción del umbral de atención para el SO₂, que pasó de 500 µg/m³ a 100 µg/m³ (promedios horarios), un acuerdo alcanzado en 2008 durante una mesa redonda con la autoridad nacional. En esa misma reunión, el Ministerio también redujo las emisiones anuales de SO₂ de Sarlux de 14.000 a 7.000 toneladas y exigió a la refinería que monitoreara las emisiones de PM10 e instalara filtros.

En 2014, el municipio informó que los niveles de SO₂ se mantenían consistentemente por debajo de los límites legales (un resultado que se ha repetido cada año desde 2009) y que las hospitalizaciones por problemas respiratorios habían disminuido, aunque otras enfermedades seguían estando por encima del promedio regional. Informes recientes de Sarlux ([2022 – 2024](#)) y de la Universidad de Cagliari ([2022](#)) confirmaron que los niveles de SO₂ se mantienen constantemente por debajo del umbral establecido por Italia y la OMS.

Si bien “Sarroch Ambiente e Salute” fue crucial para aumentar la conciencia ambiental en torno a la refinería, también evidenció cuán fundamental es el respaldo político sólido para impulsar cambios. Si por un lado la implicación del municipio fue clave para poner en



marcha el proyecto, la falta de interés de las administraciones posteriores contribuyó, sin duda, a su declive. Según una [carta](#) de Donne Ambiente, hasta 2021 no se habían realizado nuevos estudios epidemiológicos y el biobanco ha desaparecido.

6.3 La extracción de carbón en Polonia

6.3.1 El problema

Entre finales de julio y agosto de 2022, el río Óder en Polonia sufrió un desastre ambiental de gran magnitud que provocó la muerte de 360 toneladas de peces y otros organismos. Investigaciones realizadas por autoridades polacas, alemanas y de la [Unión Europea](#) señalaron como causa una proliferación del alga tóxica *Prymnesium parvum*. Esta alga, que prospera en aguas salobres, proliferó debido a un aumento anormal de la salinidad del agua del río. Aunque no se identificó una fuente única de contaminación, todas las investigaciones coincidieron en que la causa fue en gran medida de origen antropogénico.

Este evento –el peor desastre fluvial en la historia moderna de Europa– volvió a poner en el centro del debate los impactos ambientales de la minería del carbón en la región de la Alta Silesia. En esta zona, las minas de carbón generan aguas residuales extremadamente salinas: durante la extracción, el agua subterránea entra en las minas y disuelve haluros, minerales formados por sales solubles en agua que se encuentran junto al carbón ([Sección 2.3](#)). En noviembre de 2022, Greenpeace Polonia realizó un [estudio independiente](#) que reveló concentraciones peligrosamente altas de sal en varios vertidos de aguas residuales de minas de carbón, no solo en el Óder, sino también en el Vístula, el río más grande de Polonia. Al investigar las posibles causas de estas malas prácticas, Greenpeace denunció el comportamiento cuestionable del gobierno nacional, que renovó permisos sin exigir evaluaciones de impacto ambiental. Este



vacío legal permitió que las empresas continuaran operando como antes de los años 90, cuando aún no existían regulaciones ambientales modernas. Aunque la legislación polaca ya se ha alineado con las directivas de la UE, las minas que renovaron sus permisos durante este periodo “favorable” siguen funcionando como hace 40 años.

6.3.2 Las iniciativas y los resultados esperados

Paralelamente a las actividades de Greenpeace Polonia, la Asociación Polaca de Pesca Deportiva lanzó #WPŁYWOWI, una iniciativa de ciencia ciudadana en colaboración con el banco BNP Paribas, la empresa Expert Float y la Universidad de Varsovia. El proyecto tiene como objetivo monitorear continuamente la conductividad del agua del río utilizando el “[AGUARD float](#)”, un flotador de pesca que mide en tiempo real la temperatura y la conductividad. Lanzada en abril de 2024, la iniciativa busca involucrar a 2.000 personas para diciembre de 2024 —el número de flotadores disponibles dentro de la campaña [BNP Paribas' #WPŁYWOWI](#). Hasta ahora, la iniciativa ha recibido un amplio respaldo mediático, incluyendo el apoyo de plataformas como Onet Group y Noizz.pl.

Aunque el desastre es demasiado reciente como para haber generado cambios concretos, las iniciativas en curso están bien posicionadas para “agitar las aguas” en torno a las prácticas mineras del carbón en Polonia. #WPŁYWOWI está contribuyendo a educar a la población local y a sensibilizar sobre la contaminación del agua. Al mismo tiempo, Greenpeace Polonia mantiene su atención centrada en las prácticas mineras del país, abogando por la obligatoriedad de evaluaciones de impacto ambiental para todas las minas de carbón, la implementación de tecnologías de desalinización, la armonización de la legislación y la creación de un parque nacional a lo largo del sur del río Óder.



6.4 Ejemplos exitosos fuera de Europa

Esta última sección describe dos ejemplos de iniciativas de ciencia ciudadana “extremas” relacionadas con las industrias de combustibles fósiles fuera de Europa: una en Ecuador ([Sección 6.4.1](#)) y otra en Myanmar ([Sección 6.4.2](#)). Otros ejemplos destacables incluyen el trabajo de la “[Louisiana Bucket Brigade](#)”, una organización sin fines de lucro que utilizó el “Bucket Monitor” ([Sección 4.1.3](#)) para defender a los residentes del “Cancer Alley” en Louisiana; y “[Citizen Sense](#)”, una iniciativa académica con sede en el Reino Unido que ayuda a comunidades de todo el mundo a monitorear la salud ambiental —por ejemplo, desarrollaron el Frackbox ([Sección 4.1.2](#)) para [residentes cerca de una planta de fracking en Pennsylvania](#). Más allá de Estados Unidos, mencionamos la “[Media Awareness and Justice Initiative](#)” en Nigeria, que ha desempeñado un papel clave en la promoción de la justicia ambiental en el delta del Níger, una de las zonas más contaminadas por petróleo en el mundo.

6.4.1 La prohibición de una planta de gas en Ecuador

En 1989, la UNESCO estableció la Reserva de la Biosfera Yasuní para proteger la biodiversidad única y el patrimonio cultural del Amazonas ecuatoriano. Lamentablemente, partes de la reserva se superponen con campos de petróleo y gas que han sido explotados desde la década de 1970. Chevron-Texaco ha sido la principal empresa operando en la zona, causando una grave degradación ambiental con sus actividades de extracción. A pesar de que la empresa ya ha sido demandada y declarada culpable, las prácticas de extracción de Chevron-Texaco —especialmente la quema de gas (gas flaring)— siguen generando preocupación debido a sus significativos impactos ambientales.

El proyecto de ciencia ciudadana [A.M.A.Z.O.N.Y.A.](#) — “Mapeando la quema de gas desde abajo” — se lanzó como respuesta a dos



detonantes independientes: movimientos locales de base y académicos. En 2020, investigadores de la Universidad de Padua (Italia) utilizaron datos satelitales para identificar las quemas de gas activas entre 2010 y 2017 en el Amazonas ecuatoriano. Este trabajo reveló sitios activos también dentro de la Reserva Yasuní y proporcionó evidencia de 34 nuevos sitios, de los cuales 12 estaban en el campo Tiputini, una zona protegida. Basándose en estos hallazgos, A.M.A.Z.O.N.Y.A. involucró a comunidades indígenas y campesinas locales en un ejercicio participativo de mapeo de campo. El proyecto tuvo varios objetivos, entre ellos la validación de datos satelitales, la identificación de nuevos sitios de quema y la generación de información independiente y abierta que la comunidad pudiera usar para promover la justicia ambiental. A.M.A.Z.O.N.Y.A. identificó 295 sitios de quema previamente no mapeados, algunos de ellos en el área de protección integral de la Reserva. La comunidad también aportó evidencia de emisiones de gas no reportadas y otros impactos ambientales, como daños a insectos y al suelo.

Además de la Universidad de Padua, A.M.A.Z.O.N.Y.A. involucró a la “Unión de Afectados y Afectadas por las Operaciones Petroleras de Texaco” y a la “Fundación Alejandro Labaka”, una organización sin fines de lucro dedicada a la investigación, la promoción cultural y el apoyo a las comunidades indígenas del norte del Amazonas.

En febrero de 2020, estos resultados impulsaron la campaña “¡Apaguen Los Mecheros!”, que incluyó una acción legal presentada ante el Tribunal de Nueva Loja para detener la quema de gas en Ecuador. Aunque inicialmente fue rechazada, una apelación en enero de 2021 tuvo éxito, dando a las empresas 18 meses para cerrar todos los sitios de quema cercanos a zonas pobladas y hasta 2030 para eliminar por completo la quema de gas. A pesar de este éxito legal,



para 2024 Ecuador sigue [enfrentándose a dificultades para hacer cumplir la sentencia](#).

6.4.2 Mejorando las prácticas de minería en Myanmar

En 2011, tras el descubrimiento de depósitos de carbón en la zona de Ban Chaung, el gobierno de Myanmar concedió a la empresa East Star Company una licencia de 25 años para extraer carbón. Para 2015, los residentes comenzaron a notar brasas humeantes en una gran pila de residuos en el sitio de extracción. Más allá de la contaminación relacionada con la combustión, este fenómeno causaba una gran preocupación en la comunidad debido al riesgo asociado de incendios forestales. Tras múltiples reportes, en 2017 el gobierno ordenó a East Star Company mejorar sus prácticas de gestión de residuos. La empresa respondió cubriendo la pila de residuos con una capa de un metro de tierra y hojas de plátano, que comenzó a erosionarse poco después. Durante el año siguiente, voluntarios locales reportaron 47 incidentes de combustión o brasas humeantes, evidenciando la ineficacia de la medida tomada por la empresa.

A principios de 2019, un científico de la Universidad Naresuan (Tailandia) se unió a voluntarios locales para involucrar a la comunidad en la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo. El proyecto de [ciencia ciudadana](#) resultante comenzó en el verano de 2019 con dos campañas de campo que recopilaron evidencias in situ del humeo utilizando cámaras térmicas y visuales. El equipo también empleó dispositivos portátiles para detectar gases asociados a la quema de carbón, incluyendo compuestos orgánicos volátiles (COVs), SO₂, H₂S y monóxido de carbono. Los análisis químicos de muestras de agua y suelo confirmaron contaminación por drenaje ácido de mina, con un pH del agua entre 2.3 y 3.1 ([Sección 3.2.2](#)). Finalmente, analizaron fotos e informes de incidentes pasados, resultados de muestreos



independientes y evaluaciones de salud realizadas por la población local entre 2015 y 2019.

Tras recopilar estos datos, el investigador capacitó a los residentes en las mejores prácticas actuales para la gestión de residuos de carbón y facilitó la discusión comunitaria. Aunque los locales prefirieron técnicas como la inyección de lechada (grouting) y la supresión de incendios seguida de la disposición fuera del sitio, también se mostraron abiertos a la opción de sellado superficial —la solución elegida por la empresa— siempre y cuando se implementara un sistema de monitoreo a largo plazo. Este aporte comunitario informado se planeó remitir al gobierno local para evaluar las acciones correctivas de East Star Company.



Illustrations by Storyset

7. Referencias seleccionadas y lecturas recomendadas



Illustrations by Storyset





Sección 2

Esta sección se basa en material educativo de la Autoridad Italiana de Hidrocarburos ([“Conosciamo il gas e il petrolio”](#)), el Museo Nacional de Historia Natural Smithsonian ([“What are fossil fuels?”](#)), y la Unión de Científicos Preocupados ([“How coal works”](#)); el libro [Petroleum formation and occurrence](#) (Tissot and Welte, Springer, 1987); la publicación [“Petrolio e biodiversità in Val d’Agri”](#) de A. Diantini (2016); y el [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023). La información sobre la quema de gas (Caja 1) proviene de [Facchinelli et al. \(2020\)](#), la web [Earthworks’ website](#), y la web del [World Bank’s website](#).

Sección 3

La Sección 3.1 se basa en el [EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook](#) (2023), específicamente los apartados 1.B.1.a, 1.B.2.a.i, 1.B.2.b, 1.B.2.c, y 2.B. Para más detalles sobre la radiactividad natural de las aguas de producción, véase la hoja informativa del [USGS Fact Sheet FS-142-99 \(1999\)](#) y [Hosseini et al. \(2012\)](#). La información de los Recuadros 2 y 3 proviene principalmente del documento [TPH Risk Evaluation at Petroleum-Contaminated Sites](#) (Capítulo 4, 2018) y del manual ([manufacturer’s manual](#)).

Las directrices sobre calidad del aire se han tomado de [WHO Global Air Quality Guidelines](#) (2021) y del [Air Quality Guidelines for Europe](#) (2nd Edition, 2000). Los valores de referencia para total COVs provienen del [German Federal Environmental Agency](#) (300 µg/m³; valor para aire interior) y la [EU Industrial Emission Directive \(Directive 2010/75/EU\)](#) (2’000 µg/m³). Las directrices sobre calidad del agua provienen de [Guidelines on Recreational Water Quality, Volume 1: Coastal and Fresh Waters](#) (2021). Otros documentos de interés no tratados en el e-booklet son las [Guidelines for Drinking Water Quality](#) (4th Edition,



2022) y las [Guidelines for Drinking Water Quality: Small Water Supplies](#) (2024).

Las normas de calidad ambiental proceden de la Directiva más reciente de la UE sobre calidad del aire, [EU Air Quality Directive](#) (Directive 2008/50/EC) y de la [Environmental Quality Standards Directive](#) (Directive 2013/39/EU). Otra legislación relevante que no se analiza incluye la [Industrial Emission Directive](#), la [Drinking Water Directive](#), la [Water Framework Directive](#), y la [Groundwater Directive](#). Para los compuestos no regulados en la UE, se remite al lector a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) — (ej., para el [aire](#)), al [Canadian Council of Ministers of the Environment](#), o a agencias de estados individuales.

Para más información, véase nuestra [revisión de referencias](#) sobre las herramientas y tecnologías existentes para el monitoreo ambiental.

Sección 4

Cuando no se proporciona directamente en el texto, la información y los detalles técnicos sobre determinados instrumentos se encuentran en nuestra [revisión de referencias](#) sobre herramientas y tecnologías existentes para el monitoreo ambiental.

Los datos de los sensores Aeroqual S500 presentados en la Figura 5 del [manufacturer's website](#). Los límites de detección (LD) en ppm se convirtieron a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ utilizando la fórmula:

$$\text{LD } [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \text{LD } [\text{ppm}] \times \text{PM } [\text{g}/\text{mol}] \times 1000 / 24,45,$$

donde **PM** es el peso molecular. Para los COV totales, utilizamos un $\text{PM} = 100 \text{ g/mol}$, que representa un valor promedio estimado.

Los datos de Radiello presentados en la Figura 7 fueron proporcionados por el fabricante. Los límites de detección son:



- **0,05 – 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** para benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX; exposición de 7 días)
- **0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** para 1,3-butadieno (exposición en interiores de 8 horas)
- **1 ppb (= 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)** para H_2S (exposición de 1 día)
- **1 ppb (= 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)** para SO_2 (exposición de 7 días)
- **1 ppb (= 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)** para NO_2 (exposición de 7 días)

Los datos del sensor Aeroqual S500 se encuentran en la Figura 5.

Sección 5

Las buenas prácticas **socio-políticas** presentadas en la Figura 9 se derivan principalmente de [Marres \(2018\)](#) (con el concepto de “**democracia del conocimiento**”), [Visvanathan \(2005\)](#) (con la idea de “**justicia cognitiva**”), and Functowicz and Ravetz ([1993](#), [2003](#); y su marco de “**ciencia post-normal**”). Otros autores relevantes incluyen: Barbara Allen, promotora del proyecto de ciencia ciudadana en Marsella ([Sección 6](#)) y autora de múltiples publicaciones sobre ciencia ciudadana y justicia ambiental (ej., [Allen, 2003](#); [Allen, 2017](#); [Allen, 2018](#)), y Leona F. Davis, quien analizó proyectos de ciencia ciudadana que lograron cambios sociales ([Davis and Ramírez-Andreotta, 2021](#)). La lista completa de referencias está disponible en la [revisión sobre buenas prácticas para datos accionables](#).

Las **buenas prácticas socio-técnicas** se resumieron a partir del documento: [Best Practices in Citizen Science for Environmental Monitoring](#) (European Commission, 2020) y las publicaciones académicas [Turbè et al. \(2019\)](#) y [Hecker et al. \(2018\)](#).



Sección 6

Para más información de iniciativas de ciencia ciudadana en la **Figura 10**, se puede encontrar las webs de [COVA Contro's website](#) y [Diantini \(2016\)](#) de Val d'Agri; [Coordinadora Anticoke's website](#) de Muskiz; [Jeanjean et al. \(2023\)](#), [VOCE's website](#), y la web de [EPSEAL-FOS's website](#) de Marseille. Para obtener información detallada sobre todas las demás iniciativas mencionadas en la **Figura 10** y la Sección 6 consulta nuestra [revisión](#) sobre ciencia ciudadana para el monitoreo ambiental.



Co-funded by
the European Union



www.ericaproject.eu



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



UNIWERSYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



Este proyecto ha recibido financiación del programa Erasmus+ 2023 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 2023-1-NL01-KA220-ADU-000154929. Financiado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados solo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos.