

**EL USO DEL AGUA EN LA MINERÍA. EN PARTICULAR, LA HUELLA  
HÍDRICA Y LA HUELLA DE AGUA, DOS INDICADORES  
FUNDAMENTALES<sup>1</sup>**

**WATER USE IN MINING. IN PARTICULAR, THE TWO KINDS OF  
WATER FOOTPRINT, TWO KEY INDICATORS**

MARÍA DE LOS ÁNGELES FERNÁNDEZ SCAGLIUSI

*Profesora Contratada Doctora de Derecho Administrativo*

*Universidad de Sevilla*

[scagliusi@us.es](mailto:scagliusi@us.es)

Fecha de recepción: 29 de noviembre de 2020 / Fecha de aceptación: 3 de febrero de 2021

**RESUMEN:** Uno de los elementos más importantes para la minería es el agua, pues es necesaria en numerosas operaciones asociadas a las labores mineras. Ciertamente, las actividades mineras se encuentran estrechamente ligadas al agua: como recurso ambiental que debe protegerse; como recurso imprescindible para su utilización en la propia mina o fuera de ella; e incluso como un problema a evitar, disminuir o corregir en la explotación minera. Para poder evaluar y mejorar la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos, se utilizan dos indicadores globales, que son muy útiles: la huella hídrica y la huella del agua. Su cálculo otorga un valor añadido al ir un paso más allá del análisis clásico de la gestión del agua en una organización.

**RESUM:** Un dels elements més importants per a la mineria és l'aigua, ja que és necessari en nombroses operacions associades a les labors mineres.

---

<sup>1</sup> El presente estudio se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación DER2016-78393- R “La minería extractiva en el siglo XXI: retos jurídicos y medioambientales”, dirigido por los Profesores Encarnación Montoya Martín y José Luis Rivero Ysern, de la Universidad de Sevilla.

Certament, les activitats mineres es troben estretament lligades a l'aigua: com a recurs ambiental que ha de protegir; com a recurs imprescindible per a la seva utilització en la pròpia mina o fora d'ella; i fins i tot com un problema a evitar, disminuir o corregir en l'explotació minera. Per poder avaluar i millorar la sostenibilitat de la gestió dels recursos hídrics, s'utilitzen dos indicadors globals, que són molt útils: la petjada hídrica i la petjada de l'aigua. El seu càlcul atorga un valor afegit a l'anar un pas més enllà de l'anàlisi clàssica de la gestió de l'aigua en una organització.

**ABSTRACT:** One of the most important elements for mining is water, as it is needed in many operations associated with mining work. Certainly, mining activities are closely linked to water: as an environmental resource that must be protected; as an indispensable resource for its use in the mine itself or outside it; and even as a problem to be avoided, reduced or corrected in mining. In order to evaluate and improve the sustainability of water resource management, two global indicators are used, which are very useful: the water footprint and the water footprint. Their calculation provides added value by going one step further than the classic analysis of an organisation's water management.

**PALABRAS CLAVE:** Minería – Agua – Huella hídrica – Huella de agua – Sostenibilidad.

**PARAULES CLAU:** Minería – Agua - Petjada hídrica - Petjada de l'aigua – Sostenibilitat.

**KEY WORDS:** Mining – Water – Water footprint – Sustainability

**SUMARIO:** I. INTRODUCCIÓN II. LAS AGUAS GESTIONADAS EN EL ENTORNO MINERO 1. Clases de aguas 2. La importancia de las aguas subterráneas III. LOS USOS DEL AGUA EN LA MINERÍA IV. EL DRENAJE DE MINAS V. HERRAMIENTAS ESENCIALES PARA LOGRAR UN USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA MINERÍA: LA HUELLA HÍDRICA Y LA HUELLA DE AGUA 1. La huella hídrica a) Concepto b) Componentes c) Utilidad en el sector minero d) Registro andaluz de la huella hídrica 2. La huella del agua a) Concepto b) Indicadores c) Utilidad en el sector minero IV. Conclusiones Bibliografía

## I. INTRODUCCIÓN

La minería es una fuente de innovación, empleo y riqueza<sup>2</sup>. Uno de los elementos más importantes para esta actividad es el agua, pues es necesaria en muchas de las operaciones asociadas a las labores mineras<sup>3</sup>.

En términos generales, se puede comprender fácilmente que las actividades mineras están estrechamente ligadas al agua: como recurso ambiental que ha de protegerse<sup>4</sup>; como un recurso imprescindible para su aprovechamiento en la propia mina o fuera de ella; e incluso como un problema a evitar, disminuir o corregir en la explotación minera.

En efecto, el agua desempeña un papel fundamental en la mayoría de las operaciones de la minería industrial moderna, pues se trata de un recurso involucrado en numerosos procesos intermedios. El agua es un elemento clave en la minería tanto por su presencia-inconveniente en labores subterráneas como por su necesidad en los procesos de concentración mineral y metalúrgicos. También es fundamental en los procesos de flotación y en los de refrigeración<sup>5</sup>.

---

<sup>2</sup> RIVERO YSERN, J.L. y MONTROYA MARTÍN, E., «Una nueva oportunidad para la minería metálica: la reapertura de la minería de Aznalcóllar en Sevilla», *Revista Andaluza de Administración Pública*, núm. 91, 2015, p. 40. También, MONTROYA MARTÍN, E., «¿Por qué la República de Irlanda está en el top del índice de atractivo regulatorio de los permisos mineros? Un análisis del factor tiempo», *Revista Catalana de Dret Ambiental*, vol. 11, núm. 1, 2020.

<sup>3</sup> SOSA WAGNER, F. y BOCANEGRA SIERRA, R.E., «Explotación de una mina en un pantano: problemas jurídicos», *Revista de Administración Pública*, núm. 98, 1982, p. 401, afirman que la consecuyente tensión Minas-Aguas no es reciente y está presente en varias decisiones jurisprudenciales.

<sup>4</sup> MOREU CARBONELL, E., *Minas. Régimen jurídico de las actividades extractivas*, Tirant lo Blanch, Valencia, 2001, pp. 292-293, señala que la preocupación por la negativa incidencia de las actividades mineras en la calidad de las aguas se remonta al conocido Reglamento de Enturbiamiento de 16 de noviembre de 1900, que ya prohibía a los explotadores mineros el vertido en los cauces públicos. Cualquier actividad susceptible de provocar la contaminación o degradación del dominio público hidráulico y, en particular, el vertido de aguas y productos residuales requiere autorización administrativa. Además, cuando el vertido pueda dar lugar a la infiltración o almacenamiento de sustancias susceptibles de contaminar los acuíferos o las aguas subterráneas, será exigible, además, un estudio hidrogeológico que demuestre su inocuidad, obligación que afecta principalmente al aprovechamiento de las llamadas estructuras subterráneas, que son recursos mineros de la sección B). También la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas contiene algunas prescripciones para evitar la contaminación de las aguas.

<sup>5</sup> ORDOÑEZ ALONSO, A.; ANDRÉS ARIAS, C.; JARDÓN PALACIO, S.; ÁLVAREZ GARCÍA, R.; PENDÁS FERNÁNDEZ, F. y LOREDO PÉREZ, J., *Aprovechamiento de las aguas subterráneas como recurso hídrico y energético*, Fundación Mapfre, 2008, p. 5, explican que es bien conocido que la actividad minera puede generar impactos hidrogeológicos de variable entidad. La mayor parte de las labores mineras, ya sean a cielo abierto o subterráneas, interceptan el nivel piezométrico y obligan al establecimiento de un sistema de bombeo, el cual, si es interrumpido tras la clausura de la actividad, traerá consigo una inundación parcial o total de los huecos mineros. También las labores desarrolladas en la zona no saturada pueden recibir por infiltración aguas que circularán por los huecos mineros y en ambos casos se pueden derivar incidencias en la calidad de estas aguas, superficiales y subterráneas, así como problemas hidrogeológicos y/o geotécnicos. Estos aspectos han de tenerse en cuenta desde los inicios del proyecto minero, ya que los trabajos de

Además, en todos los casos existe la necesidad de gestionar los caudales excedentes, muchas veces con altos contenidos en metales, sales y otros compuestos arrastrados y disueltos, lo que ha supuesto un verdadero desafío en distintas explotaciones y plantas industriales<sup>6</sup>.

Al igual que otras actividades industriales y agrícolas, la explotación minera precisa del agua y requiere tener asegurado el abastecimiento necesario. Muchas veces ocurre incluso que la dificultad que se plantea es la inversa y la actividad minera tiene que liberar grandes cantidades de agua no deseables en el ámbito del proyecto<sup>7</sup>. Éste último es el problema del drenaje minero: el de captar, transportar y eliminar hacia el entorno (al medio ambiente) flujos de agua y hacerlo de manera que no se ocasionen daños<sup>8</sup>. En cualquiera de los casos,

---

prospección, explotación y restauración condicionarán el comportamiento hidrogeológico futuro de la zona afectada. Pese a que no ha sido así a lo largo de la historia, la legislación vigente, así como un mayor compromiso y concienciación hacen que las actuales actuaciones vayan orientadas a analizar, identificar y eliminar los posibles efectos negativos e incluso obtener balances positivos, derivados por ejemplo del aprovechamiento de los huecos mineros como “embalse subterráneo” o la gestión de las “aguas de mina” como recursos hídricos.

<sup>6</sup> Informe «Uso sostenible del agua en la minería», Red EsAgua, 2019, p. 3, «*Esto ha obligado a algunas empresas a realizar inversiones de gran calado para llevar agua de mar desalada a cientos de kilómetros de la costa, así como a realizar proyectos de alto coste para la regeneración y reutilización de sus efluentes con significativos impactos negativos en sus cuentas de resultados, además del impacto social y medioambiental que suponen este tipo de soluciones*».

<sup>7</sup> HERRERA HERBET, J., *Introducción al drenaje de explotaciones mineras*, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Madrid, 2009, pp. 7-10, indica cuáles son los efectos perjudiciales que más frecuentemente se presentan en las operaciones mineras: en explotaciones mineras a cielo abierto (erosión de taludes de excavación y corta, pistas y zanjas de drenaje y arrastre de los materiales erosionados; reducción de los rendimientos de las unidades de carga y transporte al circular sobre pisos embarrados y por mayor formación de baches; incremento de costes de mantenimiento al aumentar el porcentaje de averías originadas por la acción abrasiva del barro, corrosión de la humedad; incremento de la presión hidráulica en fracturas tensionales; reducciones de las resistencias de suelo y roca; reducción de la estabilidad de los taludes de la excavación, requiriéndose acudir a ángulos más tendidos), en explotaciones mineras de interior (inundaciones repentinas a gran escala, que pueden llegar incluso a parar la producción y requieren muchos recursos para su eliminación; reducción de los rendimientos de las unidades de carga y transporte al circular sobre pisos embarrados y por mayor formación de baches; incrementos de la corrosión de sistemas; reducción de la vida útil del sostenimiento; producción de daños en las instalaciones y necesidad de costosos equipos de control y evacuación; reducción de la productividad de maquinaria y personal como consecuencia de entornos húmedos; aumento en el coste del drenaje y desagüe por la necesidad de construcción de plantas de tratamiento de aguas, adopción de medidas correctoras de la contaminación de las aguas y mayores cánones de vertido); en la masa mineral a explotar (humedad en la mena y el aumento del peso específico del material de proceso, que incrementa los costes de manipulación, embarque y tratamiento; drástica reducción en los rendimientos de las cribas e incremento de los atascos en la trituración, traduciéndose ello en un mayor consumo de energía de tratamiento; formación de oxidaciones en el yacimiento que reduzcan el porcentaje de recuperación; drenaje de las mineralizaciones a explotar que puede favorecer la formación de oxidaciones en el yacimiento que reduzcan el porcentaje de recuperación; descenso del nivel freático y secado que pueden afectar al suministro y abastecimiento regional de agua).

<sup>8</sup> En efecto, no deben producirse daños ni incumplirse el equilibrio drenaje-reinyección, que se hubiera establecido. Así, la Sentencia de la Sala de lo contencioso-administrativo, del Tribunal Supremo, núm.

el problema del agua requiere un adecuado enfoque y planteamiento, así como una correcta regulación.

Ciertamente, las minas de gran tamaño y profundidad pueden interceptar grandes volúmenes de aguas subterráneas y superficiales, que deben ser correctamente gestionadas<sup>9</sup>. El origen de estos efluentes está ligado a infiltraciones de acuíferos interceptados, escorrentía superficial y cierto tipo de procesos como los realizados en las plantas de tratamiento de minerales. Así, las aguas relacionadas con la minería pueden tener orígenes diferentes, diversos volúmenes y distintas características. Asimismo, el impacto que aquélla les puede causar puede ser desde mínimo hasta severo. Los efectos dependen de la ubicación y del tamaño de la mina, de la hidrogeología y del clima del área y de las características de los materiales geológicos extraídos y adyacentes<sup>10</sup>.

Puede así afirmarse que la minería es una de las actividades industriales con mayor grado de manipulación del agua. Por un lado, la utiliza en un elevado número de operaciones. Por otro, con sus excavaciones genera grandes

---

1703/2018 -recurso ordinario núm. 203/2017- se ocupa del recurso interpuesto por la entidad Cobre Las Cruces, S.A.U., contra la desestimación presunta del recurso de reposición formulado frente al acuerdo del Consejo de Ministros que, resolviendo expediente sancionador, le imponía una sanción de multa y una indemnización por daños al dominio público hidráulico. El expediente sancionador se basaba en el incumplimiento de la condición 8ª de la autorización administrativa al haberse derivado aguas por un volumen superior al reinyectado en la masa de aguas subterráneas Gerena-Posadas. Junto a la sanción y la obligación de indemnización, se imponía la obligación de abstenerse de extraer por drenaje más cantidad de agua de la reinyectada conforme a los márgenes autorizados, hasta tanto no se compense la inyección de volúmenes no retornados a la masa de agua subterránea y se guarde el equilibrio drenaje-reinyección de las aguas subterráneas. El Tribunal Supremo concluye que queda de manifiesto la actitud consciente de la entidad recurrente en el desarrollo de la actividad que es objeto de sanción, que trata de justificar mediante la apelación a una ulterior y eventual modificación de la autorización y sus condiciones que resulte más adecuada a las circunstancias del aprovechamiento, pero que en todo caso no justifica el incumplimiento de las condiciones vigentes mientras subsistan y sean exigibles, lo que conduce a la desestimación de la alegación de vulneración del principio de responsabilidad y culpabilidad, al justificarse por la Administración la imputación de la infracción en la actuación deliberada de la entidad recurrente, atendiendo al incumplimiento de las condiciones aceptadas por la misma para acceder a la autorización y no en una responsabilidad objetiva como alega la recurrente.

<sup>9</sup> La minería en profundidad interfiere fundamentalmente con las aguas subterráneas, pero también está relacionada con las aguas superficiales debido a fenómenos de subsidencia y descarga. Las escombreras y depósitos estériles procedentes de minería subterránea dan lugar a problemas de gestión del agua semejantes a los producidos en minería superficial.

<sup>10</sup> ORDÓÑEZ ALONSO, M.A., Tesis Doctoral *Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina. Experiencias de laboratorio, diseño y ejecución*, Universidad de Oviedo, 1999, pp. 1 y 7, disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/11118?show=full> indica que la minería interacciona con muchos de los aspectos del ciclo hidrológico, tales como infiltración, escorrentía, almacenamiento y retención del agua en zonas superficiales, saturadas o subterráneas, así como su curso por los cauces.

volúmenes, fundamentalmente por infiltración de los acuíferos interceptados y de la escorrentía superficial<sup>11</sup>.

Las aguas que se encuentran en terreno minado y/o aquellas que fluyen a través de los huecos mineros a los cuerpos de agua adyacentes (tales como arroyos, humedales, lagos, acuíferos y océanos) se denominan aguas de mina. Todas las aguas afectadas por una actividad minera son aguas de mina, incluyendo escombreras y balsas de lodos y/o que están fluyendo desde la zona de la mina hacia cuerpos de agua adyacentes, tales como ríos, lagos, acuíferos, humedales y mares.

Dado que el agua se ve afectada por la actividad minera<sup>12</sup>, es necesario contemplar en todos los proyectos mineros los medios para el control y la evacuación del agua fuera de las áreas de laboreo mediante bombeo y el empleo de sistemas adecuados de desagüe, así como la adopción de medidas de prevención de la contaminación de éstas durante la explotación y el abandono posterior<sup>13</sup>.

Uno de los puntos de partida de todo proyecto que contemple una excavación de cierta envergadura es, consecuentemente, empezar por llegar a alcanzar un profundo conocimiento de la realidad del entorno físico en el que se va a operar, mediante la realización de los correspondientes estudios e investigaciones de tipo hidrológico e hidrogeológico<sup>14</sup> y encaminados a permitir gestionar

---

<sup>11</sup> ADUVIRE, O., *Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2006, p. 5, explica que, por otro lado, las explotaciones mineras provocan ciertos efectos hidrológicos sobre las aguas subterráneas o superficiales, tales como: disminución de la calidad del agua, haciéndola inadecuada para el consumo humano y otros usos; causar daños ecológicos, alterando o eliminando las comunidades biológicas naturales existentes en los cursos de agua y deterioro del paisaje, por lo que la restauración de las áreas afectadas debe abarcar todos los elementos del medio físico incluida el agua.

<sup>12</sup> TARRÉS VIVES, M., «La calidad del agua como concepto jurídico», MONTORO CHINER, M.J. (coord.), *El agua: estudios interdisciplinarios*, Atelier, Barcelona, 2009, pp. 29-30, advierte que la gestión de este recurso natural no puede olvidar la necesaria calidad, entendida como pureza; utilización racional y mantenimiento de un ecosistema equilibrado para que cumpla determinados objetivos de calidad (calidad ecológica).

<sup>13</sup> La introducción de sustancias o de ciertas formas de energía como el calor provocan cambios en las características físicas y químicas del agua y pueden producir su contaminación.

<sup>14</sup> HERRERA HERBERT, J., *Introducción al drenaje de explotaciones mineras...*, *op. cit.*, pp. 5-6, explica que es muy importante para gestionar correctamente el agua que las soluciones estén fundamentadas en estudios hidrológicos e hidrogeológicos que sean suficientemente detallados, hayan sido desarrollados desde el mismo inicio del proyecto y estén destinados a permitir la gestión racional de las aguas interceptadas. Posteriormente y, con este punto de partida, se dimensionarán y construirán las oportunas infraestructuras de captación y conducción, asegurando además su efectividad, su fiabilidad y su constitución con elementos

correctamente esa presencia de aguas de distinto origen desde tres puntos de vista<sup>15</sup>:

- El agua y su influencia en la estabilidad de taludes y huecos mineros y, en definitiva, en la seguridad geotécnica de la explotación.
- El agua dentro de la planificación y de las operaciones de la mina, teniendo en cuenta que los usos del agua y las necesidades dentro de la mina son muy diversos.
- El agua y el medio ambiente, abordando tanto los problemas asociados a la operación minera en sí como los derivados del futuro abandono de la actividad.

En definitiva, la minería puede crear un impacto sobre los recursos de agua en diferentes etapas del ciclo minero: durante las operaciones mineras y de tratamiento de minerales; vía desagüe, el cual se lleva a cabo para hacer posible los trabajos mineros; como resultado de la filtración de lixiviados contaminados de pilas de estériles y de balsas de lodos; a través de la inundación de las labores mineras una vez que la extracción ha cesado; y como resultado de la descarga de aguas no tratadas después de la inundación<sup>16</sup>.

Puede observarse así que el uso intensivo del agua consumida en los procesos puede impactar en el entorno tanto en cantidad, a través de la sobreexplotación de los recursos hídricos convencionales disponibles; como en calidad, a través de la generación de efluentes residuales que pueden impactar en el medio.

En este contexto debe tenerse en cuenta que el conjunto de reglas dirigidas a la ordenación y gestión del agua ha determinado la progresiva configuración de una «cultura» que ha terminado por incorporarse a la sociedad como uno de sus valores esenciales<sup>17</sup>. La minería no puede obviar esta realidad y debe apostar

---

seguros y de larga duración. Para ello es necesario tener en cuenta que todas estas infraestructuras pueden entorpecer las labores mineras, que en cualquier caso son elementos que encarecen la explotación, pero que son absolutamente necesarias, porque si el problema de drenaje no es adecuadamente planteado desde el principio, puede llegar a adquirir una importancia y magnitud que puede incluso llevar a la suspensión de la explotación minera.

<sup>15</sup> HERRERA HERBERT, J., *Introducción al drenaje de explotaciones mineras...*, op. cit., p. 7.

<sup>16</sup> KROLL, A., «Políticas medioambientales europeas y minería», BARETTINO, D.; LOREDO, J. y PENDÁS, F. (coords.), *Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2005, p. 8.

<sup>17</sup> ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, M., «El nuevo enfoque estatutario sobre la distribución de competencias en materia de aguas», *Revista de Administración Pública*, núm. 173, 2007, p. 318, indica que el agua

por soluciones de tratamiento que permitan, en clave de sostenibilidad<sup>18</sup>, recuperar la mayor cantidad posible de agua y mejorar la calidad o minimizar los vertidos restantes.

La minería sostenible<sup>19</sup> integra así, además de los aspectos técnicos y empresariales, los ambientales y sociales y sus retos son los siguientes:

1. Buscar nuevas estrategias y metodologías que permitan maximizar la reutilización de agua internamente, ganando independencia de

---

constituye un recurso natural imprescindible para la vida, pero además presenta una serie de connotaciones económicas, territoriales e incluso sociales cuyas raíces se hunden en la historia. Por esta razón, si bien el agua ha tenido tradicionalmente la condición de bien libre, en consonancia con su relativa abundancia; en cambio, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos ha sido desde muy antiguo objeto de regulación jurídica a causa de los múltiples intereses y actividades que suelen verse afectados.

<sup>18</sup> LLAMAS MADURGA, R.M., Discurso inaugural «Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos» leído en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, el día 2 de noviembre de 2005, Realigraf, S.A., Madrid, p.8, señala que «prácticamente hoy todo el mundo habla de la necesidad de hacer un uso sostenible de los recursos naturales y en los países áridos o semiáridos, como es España, de modo especial cuando se trata del agua. Ahora bien, el concepto de sostenibilidad puede definirse o aplicarse de formas muy diversas, según se ponga el énfasis en una de sus dimensiones. Muchos investigadores suelen distinguir tres dimensiones o aspectos en la sostenibilidad: el físico o ecológico, el económico y el social. Sin embargo, otros autores consideran un número mayor de dimensiones». Así, SHAMIR, U., «Sustainable Management of Water Resources», *Transition towards Sustainability, Intercademy Panel Tokyo Conference, mayo 2000*, pp. 62-66, distingue hasta diez dimensiones: física, económica, ambiental, social, intergeneracional, intrageneracional, científica, institucional, legal y política. En esta presentación se va a considerar la influencia que tienen los diversos tipos o colores del agua en esas distintas dimensiones de sostenibilidad.

<sup>19</sup> Deben citarse, en este ámbito, las dos normas UNE elaboradas por el Subcomité 3 «Gestión Minera Sostenible» del Comité Técnico CTN 22 Minería y explosivos: UNE 22480:2019 «Sistema de gestión minera sostenible», que anula la norma UNE 22480:2015 y UNE 22470:2019 «Sistema de gestión minero-metalúrgica sostenible», que anula la norma UNE 22470:2015. Las normas están concebidas para proveer de un mecanismo de política para fomentar, en las organizaciones que desempeñan su actividad en las industrias minera, mineralúrgica de concentración o transformación y metalurgia extractiva, un comportamiento responsable. En estas últimas versiones se amplía el campo de aplicación a la mineralurgia de transformación y a la metalurgia extractiva. Debido a ello, se introducen nuevos indicadores dentro de los indicadores sociales (indicadores referentes a las relaciones con los grupos de interés, sobre identificación, inclusión, respuesta y elaboración de informes) y ambientales (indicadores sobre emisiones de gases y polvo, vertidos, estériles y escorias), pues los económicos se mantienen como estaban. Los criterios para la sostenibilidad de la industria extractiva son:

-Criterio 1: Seguridad de suministro para la satisfacción de la demanda del producto en un entorno próximo, medio o lejano.

-Criterio 2: Utilización eficiente de los recursos naturales.

-Criterio 3: Aplicación de medidas para promover y mejorar la seguridad y salud de los trabajadores.

-Criterio 4: Contribución al desarrollo económico de la sociedad.

-Criterio 5: Contribución al desarrollo social de la comunidad.

-Criterio 6: Rehabilitación del espacio natural afectado.

-Criterio 7: Aplicación de las mejores técnicas disponibles en la prevención y control integrados de la contaminación, así como en la gestión de residuos.

suministro y protegiendo las fuentes naturales de agua por reducción de su explotación y por minimización del vertido a ellas de caudales residuales, aunque sean tratados.

2. Contribuir al desarrollo social y económico de la comunidad.
3. Valorizar los residuos que se produzcan, tratando de recuperar de ellos cualquier elemento valioso, transformándolos en materias primas para otros productos y tendiendo así al residuo cero<sup>20</sup>.
4. Emplear energías renovables para alimentar estos nuevos procesos para minimizar la huella de carbono y reducir los costes de operación.
5. Contabilizar el uso del agua y reducir el consumo de agua de la minería y sus procesos, así como gestionar el posible impacto en los recursos hídricos que tienen a su alrededor, cumpliendo los requisitos legales de disposición del agua tratada y minimizar el impacto ambiental. Asimismo, encontrar fuentes de agua alternativas; por ejemplo, aguas subterráneas para el proceso industrial. Igualmente, aprovechar otras aguas no convencionales; por ejemplo, aguas de efluentes de depuradora.

## **II. LAS AGUAS GESTIONADAS EN EL ENTORNO MINERO**

### **1. Clases de aguas**

Los diferentes tipos de aguas que deben gestionarse en el entorno minero son las aguas superficiales no desviadas que entran en el perímetro de la excavación; las aguas subterráneas que se filtran o alumbran en forma de manantial al profundizar la excavación y las aguas de lluvia que precipitan directamente en la excavación, pues la minería afecta a todas ellas.

Ese sistema de gestión debe respetar los siguientes principios:

- Protección de la calidad del agua, evitando la mezcla del agua de diferentes calidades, para así optimizar su gestión.

---

<sup>20</sup> En este ámbito no puede pasarse por alto el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

- Control del agua de proceso, infiltración y escorrentías, reduciendo al máximo posible la generación de aguas potencialmente contaminadas (evitando que el agua entre en contacto con cualquier fuente que pueda afectar a su calidad) y segregando en todo momento las aguas en función de sus características.
- Minimización del consumo de agua, reduciendo la demanda y promoviendo toda aquella posibilidad de reciclado de agua.
- Garantía del tratamiento adecuado de los vertidos que se produzcan.
- Protección de las instalaciones de corrientes de agua que pudieran producirse en el entorno.

El art. 2 de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (en adelante DMA) contiene las definiciones de todas estas tipologías de aguas, de cara a facilitar su gestión<sup>21</sup>.

1. **Aguas superficiales:** son todas las aguas continentales<sup>22</sup>, excepto las aguas subterráneas; las aguas de transición<sup>23</sup> y las aguas costeras<sup>24</sup>, y, en lo que se refiere al estado químico, también las aguas territoriales, esto es, las aguas superficiales son todas aquellas quietas o corrientes en la superficie del suelo. Se trata de aguas que discurren por la superficie de las tierras emergidas (plataforma continental) y que, de forma general, proceden de las precipitaciones de cada cuenca. La «masa de agua superficial» es una parte diferenciada y

---

<sup>21</sup> Estas mismas definiciones se encuentran en los arts. 40 bis y 16 bis TRLA y en el art. 3 del Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

<sup>22</sup> Las aguas continentales son todas las aguas quietas o corrientes en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales.

<sup>23</sup> Las aguas de transición son masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce.

<sup>24</sup> Las aguas costeras son las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición. Las aguas costeras se especificarán e incluirán en la demarcación o demarcaciones hidrográficas más próximas o apropiadas.

significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras. Se entiende por cuenca hidrográfica la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta<sup>25</sup>.

Las categorías que integran las aguas superficiales son las siguientes:

- a) Ríos: son masas de agua continental que fluye en su mayor parte sobre la superficie del suelo, pero que también puede fluir bajo tierra en parte de su curso.
- b) Lagos: son masas de agua superficiales quietas.
- c) Aguas de transición: son masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de los flujos de agua dulce.
- d) Aguas costeras: son aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.
- e) Masas de agua artificial: es una masa de agua superficial creada por la actividad humana.
- f) Masas de agua muy modificada: son masas de agua superficiales que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza.

En función del movimiento, pueden distinguirse dos tipos de aguas superficiales:

---

<sup>25</sup> Debe precisarse que mientras cuenca hidrográfica se refiere a una realidad física, a una unidad geográfica; el segundo responde a un concepto jurídico-administrativo, que incluye la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas, a efectos de la gestión de las cuencas hidrográficas.

- a) Aguas lólicas o corrientes: son masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos, ramblas.
- b) Aguas lénticas: aguas interiores quietas o estancadas tales como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos.

De acuerdo con su naturaleza, se clasifican en:

- a) Aguas naturales: son aquellas aguas superficiales que no han sido modificadas por acciones antrópicas.
- b) Aguas artificiales: son aquellas aguas superficiales creadas por la actividad humana.
- c) Aguas muy modificadas: son aquellas aguas superficiales, que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza.

2. **Aguas subterráneas:** son todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo [así se define tanto en el art. 2 12) DMA como en el art. 40 bis c) del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas (en adelante TRLA)]. Aquí se engloba el concepto de acuífero como una estructura geológica por cuyo interior puede circular el agua subterránea, que se almacena y proporciona, de forma natural o artificial, cantidades suficientes para atender una demanda determinada. La DMA define acuífero como una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas.

La DMA ha incorporado, además, un término nuevo, que se ha reflejado en el art. 40 bis f) TRLA, que es el de masa de agua subterránea, un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.

Si bien en su mayor parte las aguas subterráneas se originan por la infiltración de las precipitaciones y de las aguas de escorrentía

superficial, existe una parte que procede de la formación de las llamadas aguas metamórficas, que son originadas en los procesos fisicoquímicos de metamorfización, que se dan en profundidad. También existen algunas pequeñas aportaciones de los procesos de diferenciación magmática en el ascenso de las rocas ígneas hacia la superficie.

La propia Exposición de Motivos Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro destaca el valor estratégico de estas aguas.

**3. Aguas de lluvia o pluviales:** son todas las aguas originadas durante las precipitaciones meteorológicas. El término aguas de lluvia o pluviales hace referencia al agua que se origina durante los fenómenos meteorológicos con precipitación como la lluvia, nieve, granizo, etc. Las aguas pluviales que no se filtran fluyen superficialmente y se denominan escorrentías superficiales. El agua de lluvia o infiltración en contacto con el mineral, con los estériles, con los desechos y con las áreas operativas se contamina de forma muy rápida no sólo con sólidos en suspensión, sino también químicamente, de manera que únicamente puede ser limpiada mediante los procedimientos apropiados.

Además, en función de los materiales con los que entran en contacto las aguas en la minería se clasifican en<sup>26</sup>.

a) Aguas no afectadas: son aguas que no han estado en contacto con las zonas de trabajo y, por tanto, son aguas limpias que circulan por el entorno minero. Ha de evitarse que estas aguas entren en contacto con otro tipo de aguas. Pueden reutilizarse o descargarse directamente como aguas pluviales limpias.

Las aguas afectadas sin contacto se generan principalmente en:

---

<sup>26</sup> NORRIS, K.; OVEJERO, G.; DOYLE, M. y COSMEN, P., «Proyecto Cobre Las Cruces. La gestión del agua en una mina del nuevo milenio», PULIDO BOSCH, A.; PULIDO LEBOUF, P.A. y VALLEJOS IZQUIERDO, Á. (eds.), *V Simposio sobre El agua en Andalucía*, vol. II, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, Granada, 2001, pp. 405-406.

1. Escorrentías generadas en las escombreras de margas no restauradas.
2. Escorrentías generadas en las zonas de las instalaciones de estériles (de mina y de tratamiento), que no han sido todavía utilizadas o que ya han sido utilizadas y se han recubierto con margas, pero no han sido totalmente restauradas.
3. Escorrentías en las zonas limpias de la planta de tratamiento del mineral.

b) Aguas afectadas con contacto: son aguas que se producen por el efecto de la lluvia sobre aquellas instalaciones donde existan rocas con contenido en materiales sulfurosos o con materiales de las etapas de procesado del mineral. Estas aguas pueden contener elevadas concentraciones de los productos de oxidación de los sulfuros, como por ejemplo sulfatos, metales y pH bajos y, por tanto, serán tratadas en la planta de tratamiento de agua de contacto. Posteriormente, serán reutilizadas o vertidas.

El agua de contacto se genera durante los episodios de lluvia en las siguientes zonas:

1. Aguas de escorrentías recogidas junto con las aguas de infiltración.
2. Las escorrentías y posibles filtraciones de lixiviados de la celda activa de la instalación de estériles de tratamiento.
3. Las escorrentías y posibles filtraciones de lixiviados del área de la instalación de estériles de mina en uso.
4. Escorrentías de otras áreas como pistas de camiones, zona de almacenamiento de mineral y trituración primaria.

Por último, existe otra clasificación del agua proveniente de las actividades mineras que debemos tener en cuenta:

- Agua de mina: se refiere a cualquier agua, tanto superficial como subterránea, presente en la mina.
- Agua minera: agua que ha entrado en contacto con cualquier operación minera.

- Lixiviado o aguas residuales: el agua que ha goteado a través de los desechos sólidos de la mina y puede contener minerales disueltos, productos químicos y / o metales.
- Agua del drenaje de minas: aguas superficiales o subterráneas que fluyen o tienen el potencial de fluir fuera del sitio de la mina.

## 2. La importancia de las aguas subterráneas

Al tratarse de recursos geológicos que se encuentran en el subsuelo, las aguas subterráneas requieren técnicas específicas para su afloramiento que son propias de la actividad minera. Por motivos de seguridad, desde 1934 los trabajos de captación de todas estas aguas han estado siempre sometidos a la normativa minera<sup>27</sup>.

El agua subterránea es el agua existente bajo la superficie del terreno. En concreto, es aquella situada bajo el nivel freático<sup>28</sup> y que está saturando completamente los poros y fisuras del terreno. Esta agua fluye a la superficie de forma natural a través de manantiales, áreas de rezume, cauces fluviales, o bien directamente al mar. Puede también dirigirse artificialmente a pozos, galerías y otros tipos de captaciones. Se renueva de modo constante por la naturaleza, merced a la recarga, que procede principalmente de las precipitaciones, pero también puede producirse a partir de escorrentía superficial y de cursos superficiales de agua (sobre todo, en climas áridos), de acuíferos próximos o de retornos de ciertos usos (entre los que destacan los retornos de los regadíos).

Como hemos indicado, el art. 2 DMA define las aguas subterráneas como todas aquellas que se encuentran bajo la superficie del suelo, en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o subsuelo; englobando el concepto de acuífero, como una estructura geológica (continente) por cuyo interior puede circular el agua subterránea (contenido). Para facilitar su gestión, la propia

---

<sup>27</sup> El 16 de septiembre de 1934 fue publicado el Decreto de Policía Minera, en cuyo ámbito de aplicación se encontraban la investigación y aprovechamiento de las aguas subterráneas, de las minerales y minero-medicinales (art. 2). Este Decreto estuvo en vigor hasta 1985, año en que se aprueba el Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

<sup>28</sup> El nivel freático conforma el límite superior de la zona saturada en un acuífero libre. Es el lugar geométrico de los puntos de un acuífero libre que se encuentran a la presión atmosférica. Su altura en un acuífero libre viene determinada por la cota que alcanza el agua en un pozo poco penetrante en reposo.

Directiva ha incluido el concepto “masa de agua subterránea”, como un volumen de agua claramente diferenciado, perteneciente a uno o varios acuíferos.

Las aguas subterráneas están consideradas como el recurso minero más importante del mundo. Es un recurso cuya disponibilidad, a corto y medio plazo, se ve muy poco afectada por los efectos de una disminución importante de las precipitaciones. Además, la distribución espacial de los acuíferos a lo largo de todo el territorio español permite la existencia de un acuífero próximo a casi cualquier centro de demanda<sup>29</sup>.

En España las aguas subterráneas están distribuidas en 762 masas de aguas, que cubren una superficie de 479.000 km<sup>2</sup>, prácticamente todo el territorio nacional (505.990 km<sup>2</sup>).

Los recursos hídricos subterráneos, distribuidos en esas masas de agua, según el segundo ciclo de planificación 2015-2021, son de 36.401 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales 28.052 hm<sup>3</sup>/año son recursos disponibles, con un total de extracciones de 7.243 hm<sup>3</sup>/año, con un índice medio de explotación (explotación/recursos disponibles) de 0,3. Todos estos datos manifiestan la importancia de las aguas subterráneas y las posibilidades de incrementar su explotación como recurso estructural y recurso estratégico en períodos de escasez o sequía<sup>30</sup>.

El aprovechamiento de estas aguas siempre ha estado presente en las situaciones de sequía que pueden producirse. Las posibilidades de utilización intensiva en estos períodos se deben a que a corto y medio plazo estas aguas se ven muy poco afectadas por los efectos de una disminución importante de las precipitaciones y a la capacidad de almacenamiento de los acuíferos y sus reservas, que pueden ser explotadas temporalmente de forma planificada.

---

<sup>29</sup> PULIDO BOSCH, A., «La explotación de las aguas subterráneas y su implicación en la desertización», *Boletín Geológico y Minero*, vol. 111-5, p. 4, afirma que hasta los máximos detractores de las aguas subterráneas se rinden ante la evidencia de que éstas son la “salvación” en las sequías extremas que, desgraciadamente, afectan a los países áridos y semiáridos cada cierto número de años, sin que el uso conjunto aguas superficiales-aguas subterráneas sea una herramienta común en la planificación de los recursos de tales países.

<sup>30</sup> AA.VV., *Las aguas subterráneas, las técnicas mineras para su explotación y la normativa jurídica...*, op. cit., pp. 19-20.

### III. LOS USOS DEL AGUA EN LA MINERÍA

Las principales actuaciones, para las cuales la minería precisa del agua, son<sup>31</sup>:

1. Operaciones mineras: extracción del mineral bruto a través de técnicas mineras superficiales o subterráneas. En estas operaciones el agua se emplea para la represión del polvo y la limpieza de equipos.
2. Fases de procesado: tratamiento del mineral bruto para recuperar minerales o metales de valor. En las fases de procesado el agua se utiliza para mezclar con el mineral bruto con el objetivo de empapar y encuadrar separaciones físicas tales como el lavado, separaciones por espesado y flotación, utilizado en combinación con químicos para lixiviar los minerales.
3. Transporte y manejo del mineral bruto y productos: desaguado, almacenamiento y transporte del mineral o metales brutos y productos a la mina y al mercado. El agua se utiliza aquí para bombear corrientes residuales mineras (relaves) a sitios que se puedan descargar, o productos (por ejemplo, concentrados mineros) a embarcaciones.
4. Transporte y disposición de las corrientes residuales: transferencia de las corrientes residuales del sitio de la mina a lugares controlados para su tratamiento. El agua se utiliza aquí para la generación de potencia para la refrigeración y control de la contaminación para las emisiones del aire.

En todo caso, el uso del agua en las operaciones mineras lleva aparejados distintos retos, normalmente consecuencia de la geografía y la geología. La geografía determina la cantidad y características de la estampación de la configuración hidrológica en el área minera. La geología establece el método de minería y procesado y la cantidad y calidad del mineral desaguado.

### IV. EL DRENAJE DE MINAS

Como hemos adelantado, muchas veces sucede que la dificultad que se plantea en la minería en relación con las aguas es liberar cantidades de agua no deseables en el proyecto. En el plano operativo de una explotación, el fin primordial es conseguir que las aguas que entren en contacto con la mina (tanto

---

<sup>31</sup> Informe «Uso sostenible del agua en la minería»..., *op. cit.*, p. 3.

superficiales como subterráneas), sean las mínimas posibles, así como que el previsible contacto se realice de la manera más controlada posible.

El estudio de los problemas de drenaje de mina tiene dos aspectos a considerar<sup>32</sup>. El primero es el de mantener las condiciones adecuadas de trabajo tanto a cielo abierto como en interior, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo del agua.

El segundo aspecto del drenaje de mina es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrosfera. Esta gestión tiene normalmente los siguientes objetivos:

- Minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas.
- Reaprovechar al máximo el agua utilizada en el proceso industrial.
- Eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor.

Con la finalidad de alcanzar estos objetivos, la gestión incluye la implantación y operación de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de cada mina, además de un sistema de recirculación del agua industrial<sup>33</sup>.

Independientemente de la fuente que da origen a los drenajes de mina, éstos se pueden subdividir en dos grandes grupos<sup>34</sup>:

- Drenajes alcalinos o aguas residuales con bajo potencial de solubilización.
- Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización.

Para determinar el tipo de drenaje hay que hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima del lugar y una caracterización de los

---

<sup>32</sup> HERRERA HERBERT, J., *Introducción al drenaje de explotaciones mineras...*, *op. cit.*, pp. 24-25.

<sup>33</sup> SÁNCHEZ, L.E., «Capítulo 16. Drenaje de minas a cielo abierto», AA.VV., *Aspectos geológicos de Protección Ambiental*, vol. I, UNESCO, Montevideo, 1995, p. 252, indica que los objetivos principales de los sistemas de drenaje son la recolección, transporte y lanzamiento final de aguas, de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. De este modo, el drenaje tiene por objetivo el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la manutención de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores.

<sup>34</sup> ADUVIRE, O., *Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento...*, *op. cit.*, p. 2.

efluentes de mina. Para ello, se realizan muestreos de agua y sedimentos para su análisis en laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes, también se recurre a la medición de parámetros como ph, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros.

Para llevar a cabo el drenaje de minas, es necesario realizar estudios hidrogeológicos, que combinen actividades convencionales<sup>35</sup> con trabajos de instrumentación y experimentación<sup>36</sup>.

La primera labor de los equipos de trabajo a cargo del estudio de la hidrogeología y las necesidades de drenaje es determinar las probabilidades y los caudales de entradas de agua, así como la influencia y los efectos y consecuencias de estas entradas y, donde sea necesario, desarrollar un programa de control preventivo.

Los procedimientos más comunes han sido generalmente la instalación de piezómetros individuales en sondeos abarcando toda el área de la explotación y alrededor del futuro emplazamiento del hueco de la mina. En términos relativos, el coste de estas instalaciones de piezómetros son solamente una pequeña fracción del coste total de la perforación de sondeos y, sin embargo, el aprovechamiento de todos los sondeos que se perforan permite mejorar el

---

<sup>35</sup> Las actividades convencionales destacadas son:

- Caracterización geológica y estructural: litologías, geometría y estructuras de las formaciones y materiales relacionados con el área de estudio y, preferentemente, de las formaciones a drenar.
- Hidrología superficial: identificación y caracterización de cuencas vertientes y relacionadas con la mina y control de caudales circulantes.
- Estudio hidroclimático: estudio de precipitaciones y temperaturas, cálculo de evapotranspiración potencial, real y lluvia útil o esorrentía total.
- Cálculo de los volúmenes hídricos (superficiales y subterráneos) relacionados con la mina.
- Inventario de puntos de agua: manantiales, surgencias, pozos y sondeos.
- Redes de control periódico: piezometría, foronomía y calidad química.

<sup>36</sup> Los trabajos de experimentación necesarios en los estudios de drenaje de minas son:

- Construcción e instalación de sondeos o pozos verticales de drenaje y de sondeos piezométricos, abiertos y cerrados (e instrumentación de los segundos con piezómetros de cuerda vibrante).
- Realización de ensayos de bombeo individuales y pruebas de drenaje o de bombeo conjunto (por grupos de pozos) de larga duración.

conocimiento de la infraestructura geológica e hidrogeológica. Un simple piezómetro en ningún caso podrá aportar la información suficiente.

En la mayoría de los proyectos mineros, la profundidad de las labores supone atravesar un entorno de múltiples acuíferos. Esto requiere la determinación de los perfiles hidrogeológicos de cada acuífero, con especial incidencia en sus caudales y regímenes de presiones<sup>37</sup>.

## V. HERRAMIENTAS ESENCIALES PARA LOGRAR UN USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA MINERÍA: LA HUELLA HÍDRICA Y LA HUELLA DE AGUA

La huella hídrica y la huella de agua son indicadores globales que contribuyen a la evaluación y mejora de la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos. Su cálculo otorga un valor añadido al ir un paso más allá del análisis clásico de la gestión del agua en una organización<sup>38</sup>.

Así, el estudio de las huellas hídricas de los diversos países<sup>39</sup> ha aportado datos y perspectivas que han manifestado que la “crisis del agua” no se debe a la escasez física, sino que se trata, sobre todo, de un problema de mala gestión<sup>40</sup>.

A nivel empresarial, ambas favorecen la evaluación y mejora de la sostenibilidad de las actividades. Dicha evaluación de todas las actividades relacionadas con el uso de agua facilita, por un lado, conocer el impacto sobre el recurso hídrico

---

<sup>37</sup> ADUVIRE, O., *Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento...*, op. cit., p. 27.

<sup>38</sup> ARGUDO GARCÍA, J.J., «El agua: la economía circular y la huella hídrica como herramientas necesarias para una gestión eficaz», *Interempresas. Industria Química*, núm. 65, 2016, pp. 71-73.

<sup>39</sup> GONZÁLEZ VALENCIA, J.E.; MONTOYA JARAMILLO, L.J.; BOTERO HERNÁNDEZ, B.A.; ARÉVALO URIBE, D. y VALENCIA GALLEGO, V., «Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia)», *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, núm. 7, 2012, p. 39. Asimismo, PÉREZ LAGUELA, E. y MARBÁN FLORES, R., «El impacto de la actividad de las compañías transnacionales mineras sobre la huella hídrica: El caso de la DET en Chile», *Revista de Estudios Regionales*, núm. 110, 2017, pp. 133-173.

<sup>40</sup> LLAMAS MADURGA, R.M., en sus trabajos «La crisis del agua: ¿mito o realidad?», *Hidrogeología*, núm. 10, 1994, pp. 31-40 y Discurso inaugural «Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos»..., op. cit., pp. 8 y 9, señala que la mayor parte de los expertos suele admitir que los conflictos hídricos no se deben normalmente a la escasez física de agua, sino a la mala, a veces pésima, gestión que realizan los poderes públicos de este recurso.

y la necesidad de minimizarlo y, por otro, la vulnerabilidad de la empresa ante el riesgo de no acceder al recurso<sup>41</sup>.

En este sentido, puede observarse que el sector minero ha avanzado significativamente en la gestión de agua y en la mejora de su huella ecológica gracias a la aplicación tanto de la huella hídrica como de la huella de agua. Estas dos metodologías están funcionando como herramientas claves para lograr la sostenibilidad de las operaciones mineras.

La decisión de utilizar una u otra depende de muchos factores, como la información de partida disponible, el tipo de público al que se dirija el estudio o el nivel de detalle que se quiera alcanzar. Lo cierto es que son metodologías compatibles y que se pueden complementar recíprocamente. Sin embargo, debe también señalarse que el análisis que efectúa la huella de agua es más exhaustivo y complejo, pues sus resultados son más difíciles de interpretar para el público no familiarizado con la metodología de análisis de los ciclos de vida. La huella de agua se centra en la sostenibilidad de un producto utilizando para ello un enfoque ambiental integrado, mientras que en el caso de la huella hídrica se centra en el análisis del uso del agua dulce desde el punto de vista de la sostenibilidad, eficiencia y equidad.

## **1. La huella hídrica**

### *a) Concepto*

La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizado para producir el producto, medido a lo largo de toda la cadena de suministro. Es un sistema multidimensional que muestra los volúmenes de consumo de agua por componente y los volúmenes contaminados por tipo de contaminación, esto es,

---

<sup>41</sup> PÉREZ ZABALETA, A.; SORIANO MARTÍNEZ, B. y BORRAT, M., «La huella hídrica como respuesta del sector empresarial al cambio climático», *Revista de Responsabilidad Social de la empresa*, núm. 24, 2016, p. 63.

especifica el origen del agua empleada<sup>42</sup>. Todos los componentes de una huella hídrica total se especifican geográfica y temporalmente<sup>43</sup>.

Quiere decirse que la huella hídrica mide volúmenes de agua evaporados, incorporados al producto; en definitiva, volúmenes de agua que no son devueltos al medio. En otros términos, contabiliza volúmenes de agua consumida o contaminada en un proceso, para la producción de un producto, por un individuo o por una organización. En este caso, ya no se pone el foco en cuánta agua se necesita para desarrollar un bien o un servicio, pues la huella hídrica mide el gasto total de agua de una comunidad: puede ser un país, una familia, una empresa o una actividad específica<sup>44</sup>. A nivel empresarial, es un indicador que contribuye a la evaluación y mejora de la sostenibilidad de las actividades de las empresas. La evaluación de todas las actividades relacionadas con el uso del agua facilita, por un lado, conocer el impacto sobre el recurso hídrico y la necesidad de minimizarlo y, por otro, la vulnerabilidad de la empresa ante el riesgo de no acceder al recurso.

Este concepto de huella hídrica fue introducido en el año 2002 por el profesor HOEKSTRA<sup>45</sup>, de la Universidad de Twente (Holanda). El término surge de la necesidad de disponer de un indicador del uso del agua basado en el consumo real de este recurso por un proceso o un producto.

---

<sup>42</sup> RODRÍGUEZ LOMBARDO, M., «Huella hídrica y agua virtual», *Revista de la Universidad de México*, núm. 6, 2020, p. 48.

<sup>43</sup> HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the global standard*, Earthscan, Washington, 2011, p. 3, señalan: «The water footprint of a product is the volume of freshwater used to produce the product, measured over the full supply chain. It is a multidimensional indicator, showing water consumption volumes by source and polluted volumes by type of pollution; all components of a total water footprint are specified geographically and temporally».

<sup>44</sup> FERNÁNDEZ GRECO, M.A., «Huella hídrica, agua virtual: conceptos clave para pensar el recurso hídrico», *Question*, vol. 1, núm. 40, 2013, p. 4.

<sup>45</sup> HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., definieron la huella hídrica como un indicador del uso de agua en relación con el consume de población, que generalmente se expresa en volumen de agua utilizada por los habitantes de una determinada región. Entre sus trabajos, pueden citarse HOEKSTRA, A.Y. y HUYNEN, M., «Balancing the world water demand and supply», MARTENS, P. y ROTMANS (eds.), *Transitions in a globalising world*, Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, Países Bajos, 2002 pp. 17-35; HOEKSTRA, A.Y., *Perspectives on Water: An Integrated Model-based Exploration of the Future*, International Books, Utrecht, Países Bajos, 1998; HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K., *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*, Blackwell Publishing, Oxford, 2008; HOEKSTRA, A.Y., *The Water Footprint of Modern Consumer Society*, Routledge, Londres, 2013; HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K. y VAN OEL, P.R. (eds.), *Progress in Water Footprint Assessment*, MDPI, Basel, Suiza, 2019.

Sus principales antecedentes son la huella ecológica (indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana que se hace de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos); la huella de carbono (indicador ambiental que pretende reflejar la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto) y el agua virtual (cantidad de agua que incorpora un producto en su fase de producción)<sup>46</sup>. Todos ellos tienen como objetivo principal cuantificar el impacto ya sea en el agua, atmósfera o suelo generado por el crecimiento de la población humana, pero a la vez son indicadores que permiten tomar decisiones en todos los niveles (políticas públicas, políticas empresariales, cambios sociales, etc.)<sup>47</sup>.

Posteriormente, la huella hídrica ha sido desarrollada por la *Water Footprint Network*, entidad formada por organizaciones con diferentes características: empresas privadas; centros de investigación internacionales y Universidades, encargadas del estudio de los impactos de las actividades humanas en el sector del agua. La metodología para su cálculo está recogida en el manual denominado *The Water Footprint Assessment Manual*<sup>48</sup>.

La huella hídrica se calcula desde distintas ópticas: 1) desde la perspectiva de la producción: huella hídrica de un producto/sector productivo; 2) desde la perspectiva del consumo (así la huella hídrica de un país es calculada tomando como criterio el cómputo del consumo de sus habitantes)<sup>49</sup>. Además, tiene dos

---

<sup>46</sup> PÉREZ ZABALETA, A.; SORIANO MARTÍNEZ, B. y BORRAT, M., «La huella hídrica como respuesta del sector empresarial al cambio climático»..., *op. cit.*, pp. 63-64.

<sup>47</sup> GONZÁLEZ VALENCIA, J.E.; MONTOYA JARAMILLO, L.J.; BOTERO HERNÁNDEZ, B.A.; ARÉVALO URIBE, D. y VALENCIA GALLEGO, V., «Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia)»..., *op. cit.*, p. 30.

<sup>48</sup> HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the global standard...*, *op. cit.*

<sup>49</sup> PÉREZ ZABALETA, A.; SORIANO MARTÍNEZ, B. y BORRAT, M., «La huella hídrica como respuesta del sector empresarial al cambio climático»..., *op. cit.*, pp. 64-65, resaltan que un dato relevante en el estudio de la huella hídrica es el relativo al conocimiento de su origen. Así, tomando de ejemplo un grupo de países europeos, se observa cómo en la mayoría de los casos más de la mitad de su huella hídrica es externa, es decir, que el consumo recae sobre productos/alimentos que han sido producidos en el exterior y posteriormente importados. Ello implica que el impacto medioambiental de la producción de los bienes ha tenido lugar sobre recursos hídricos más allá de sus fronteras. Tal como se puede observar, España muestra una huella hídrica externa que el resto de los países seleccionados. El 43% de los productos consumidos

dimensiones: una dimensión directa y una indirecta. La dimensión directa refleja la actividad y todo lo que sucede dentro de los límites operacionales de la propia empresa. La dimensión indirecta muestra todo lo que sucede en la cadena de suministros.

*b) Componentes*

La huella hídrica se puede dividir en tres indicadores según su procedencia. La suma de estos tres indicadores da como resultado la huella hídrica total:

- **Huella hídrica verde**

Es el volumen de agua de lluvia que se evapora, evapotranspira o que se incorpora en el producto a través de los vegetales (bosques, praderas, matorral, tundra, etc.), es decir, hace referencia al consumo de agua proveniente de la precipitación, pero no forma parte de la escorrentía superficial directa ni de las recargas de acuíferos subterráneos.

Generalmente, esta agua es evapotranspirada por las plantas (puede ser productiva para el crecimiento de los cultivos), por lo que es un concepto asociado a la agricultura y silvicultura<sup>50</sup>. Tiene mucho impacto especialmente en el sector vitivinícola, que tiene una materia prima claramente vegetal, que se introduce en el sistema de manera directa. La huella hídrica verde en el sector minero no tiene tanta importancia.

- **Huella hídrica azul**

Es el volumen de agua dulce superficial o subterránea que se evapora, se incorpora en el producto o retorna a otra cuenca o se vierte al mar. Quiere decirse que es el agua superficial o subterránea que, debido al desarrollo de una actividad, deja de estar disponible en el medio de donde se ha extraído.

---

por la población española han sido producidos fuera de sus fronteras. El país que presenta mayor consumo de productos importados entre los países seleccionados es Alemania (69%).

<sup>50</sup> Sin embargo, no toda el agua verde puede ser absorbida por los cultivos porque siempre habrá evaporación del suelo y porque no todos los períodos del año o áreas son adecuados para el crecimiento de los cultivos. Así lo precisan HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the global standard...*, op. cit., p. 30, «Eventually, this part of precipitation evaporates or transpires through plants. Green water can be made productive for crop growth (but not all green water can be taken up by crops, because there will always be evaporation from the soil and because not all periods of the year or areas are suitable for crop growth)».

El aprovechamiento del agua azul se define como uso consuntivo del agua, pero esto no significa que el agua desaparezca porque la mayor parte del agua en la tierra se mantiene dentro del ciclo y retorna siempre a algún lugar<sup>51</sup>. Por ello, se entiende como uso consuntivo el uso del agua que no se devuelve de manera inmediata al ciclo del agua.

Para contabilizar la huella hídrica azul, se debe tener en cuenta<sup>52</sup>:

- El agua que se evapora durante el proceso.
- El agua que es incorporada al producto.
- El agua que no retorna a la misma cuenca de captación; por ejemplo, se devuelve a otra cuenca de captación o al mar.
- El agua que retorna a la misma cuenca de captación, pero en períodos climáticos diferentes; por ejemplo, se retira en un período de escasez de agua y regresa en un período húmedo.

El primer componente, la evaporación, es generalmente el más significativo. Por ello, a menudo, el uso consuntivo se equipara con la evaporación. No obstante, cuando sea pertinente, los otros tres componentes deben incluirse.

Es importante distinguir la huella hídrica azul de la huella hídrica verde porque los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, y los costes de oportunidad económica del uso en la producción de las aguas superficiales y subterráneas difieren significativamente de los impactos y los costes de utilización del agua de las precipitaciones<sup>53</sup>.

---

<sup>51</sup> SIEBERT, S. y DÖLL, P., «Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation», *Journal of Hydrology*, núm. 384, pp. 198–217, definen el uso consuntivo del agua azul en los cultivos como la cantidad de agua de riego evapotranspirada en las tierras de cultivo, extraída de los cuerpos de agua superficiales o subterráneas (arroyos, embalses, lagos, acuíferos, etc.).

<sup>52</sup> HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the global standard...*, op. cit., p. 24, «The blue water footprint is an indicator of consumptive use of so-called blue water, in other words, fresh surface or groundwater. The term “consumptive water use” refers to one of the following four cases: 1. Water evaporates; 2. Water is incorporated into the product; 3. Water does not return to the same catchment area, for example, it is returned to another catchment area or the sea; 4. Water does not return in the same period, for example, it is withdrawn in a scarce period and returned in a wet period».

<sup>53</sup> SOTELO PÉREZ, M., Tesis Doctoral *Aspectos económicos, sociales y territoriales de la huella hídrica española*, Universidad Complutense de Madrid, 2009, p. 12, disponible en: <https://eprints.ucm.es/47991/1/T40003.pdf>

- **Huella hídrica gris**

Es el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes, teniendo en cuenta las concentraciones de los contaminantes en el medio natural y los estándares de calidad del agua existentes. Cuantifica a nivel virtual la contaminación de las aguas. Para ello, contabiliza el agua que sería necesaria para que el medio ambiente asuma los contaminantes que se vierten, es decir, teniendo en cuenta los vertidos de una empresa, calcula la concentración natural del cauce, la concentración legal del cauce y la concentración de los vertidos.

La huella hídrica gris puede ser muy importante en el caso en que se vierta directamente al cauce, pero muy poco significativa en el caso en que haya un tratamiento de aguas previo al vertido. Por ello, la huella hídrica gris se desestima en los casos en los que las empresas tienen su propio centro de tratamiento o cuyas aguas residuales derivan a un centro de tratamiento específico. Al ser uno de los componentes de esta huella hídrica gris la concentración legal, siempre que se vierta dentro de los límites legales, que varían dependiendo del cauce y de la cuenca hidrográfica no será significativa.

c) *Utilidad en el sector minero*

La aplicación de la huella hídrica en el sector minero es la siguiente:

- **Huella hídrica verde**

Al estar estrechamente ligada con el uso de los recursos vegetales, la huella hídrica verde no es relevante en el sector minero. Como hemos adelantado, tiene gran impacto en el sector vitivinícola, al tener una materia prima claramente vegetal, que se introduce en el sistema de manera directa.

- **Huella hídrica azul**

Es el componente de la huella hídrica cuyo impacto será el más importante cuando se aplique la metodología al sector minero<sup>54</sup>:

---

<sup>54</sup> Informe «Uso sostenible del agua en la minería», Red EsAgua..., *op. cit.*, p. 8.

- Contabiliza el agua que se evapora en depósitos o balsas de agua a cielo abierto, siempre y cuando esta agua se estanque con el objetivo de ser utilizada en la actividad estudiada.
- Asimismo, se incluye la cantidad de agua incorporada en el producto, es decir, la diferencia entre el agua de entrada y el agua que sale de la organización o que entra en un circuito de recirculación.
- Agua devuelta a otra cuenca o vertida al mar. Aunque la calidad de las aguas vertidas en otras cuencas permita desestimar la huella hídrica gris, es necesario cuantificar los volúmenes de agua que no se devuelven a la cuenca de origen y contabilizarlos como parte de la huella hídrica azul.
- **Huella hídrica gris**

El impacto de la huella hídrica gris implica que se produzcan vertidos al medio natural, concretamente a un cauce de agua dulce. Actualmente, la gestión de aguas residuales del sector minero se hace de dos maneras<sup>55</sup>:

- Tratamiento a través de un centro de tratamiento externo. En este caso, las aguas residuales sin tratar se vuelcan a una red de tuberías que desemboca en las instalaciones de un gestor especializado. Habitualmente los vertidos de la organización en cuestión se mezclan con los vertidos provenientes de otros sectores. Una vez el agua ha sido tratada, su vertido al medio natural no incrementa la concentración de contaminantes en el medio receptor y por eso la huella hídrica gris será cero o negativa, si la calidad de agua vertida es mayor que la del cauce.
- Tratamiento en las propias instalaciones de la organización. Muchas organizaciones tienen su propia planta de tratamiento de aguas residuales. En esta situación si el agua se vierte una vez que ha sido tratada, el impacto en el cauce sería cero o incluso se podría mejorar la calidad del agua del cauce natural.

---

<sup>55</sup> Informe «Uso sostenible del agua en la minería», Red EsAgua..., *op. cit.*, p. 8.

d) *Registro andaluz de la huella hídrica*

Como herramienta para calcular y comunicar el consumo de recursos hídricos asociados al ciclo de vida de un producto, servicio u organización, la Comunidad Autónoma de Andalucía creó el Registro de la huella hídrica de productos, servicios y organizaciones, mediante Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía<sup>56</sup>.

El art. 21 de esta norma señala que se crea el Registro público de la huella hídrica de productos, servicios y organizaciones, adscrito a la Consejería competente en materia de cambio climático, que tiene por objeto la inscripción voluntaria de la huella de hídrica de los productos, servicios y organizaciones, entendida como herramienta para calcular y comunicar el consumo de recursos hídricos asociados al ciclo de vida de un producto, servicio u organización.

El cálculo de la huella hídrica se rige por los estándares aceptados internacionalmente.

En el Registro pueden inscribirse las personas físicas o jurídicas tanto públicas como privadas que produzcan, distribuyan o comercialicen un producto o servicio en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

La organización y el funcionamiento del Registro deben determinarse reglamentariamente. Precisamente en la actualidad se encuentra en tramitación el Decreto de desarrollo de la Ley. En él deben regularse también el procedimiento de inscripción y las Consejerías competentes para resolver sobre el alta o la baja en el Registro según las categorías de productos, servicios u

---

<sup>56</sup> Debe señalarse que ninguna otra ley autonómica del cambio climático contempla un Registro similar (ni la Ley 16/2017, de 1 de agosto, del cambio climático de la Comunidad Autónoma de Cataluña; ni la Ley 10/2019, de 22 de febrero, de cambio climático y transición energética de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares ni en el Proyecto de Ley estatal de cambio climático y transición energética). No obstante, el art. 88.2 del Proyecto de Ley de cambio climático y transición energética en Aragón indica: «*A tales efectos, el Catálogo de Bienes y Servicios Homologados del Gobierno de Aragón se actualizará incorporando los datos de la Huella de Carbono y Huella Hídrica para los productos y servicios inscritos en el Registro*». Igualmente, el art. 77 del Anteproyecto de la Ley del cambio climático y transición ecológica de la Comunitat Valenciana crea el Registro público de la huella hídrica de productos servicios y organizaciones, adscrito a la Conselleria competente en materia de cambio climático, con el objeto de que se inscriban voluntariamente de la huella hídrica de los productos, servicios y organizaciones, entendida como herramienta para calcular y comunicar el consumo de recursos hídricos asociados al ciclo de vida de un producto, servicio u organización. La inscripción en este Registro otorga el derecho a utilizar el logotipo de la huella hídrica en el establecimiento o en la etiqueta del producto.

organización. Además, ha de regular el logotipo y sus condiciones de uso, las obligaciones vinculadas a su utilización, la metodología de cálculo de la huella hídrica y el procedimiento de renovación o retirada.

La inscripción en el Registro otorga el derecho a utilizar el logotipo de la huella hídrica en el establecimiento o en la etiqueta del producto.

Los productos deben incorporar una evaluación de la huella hídrica visible en el etiquetado y el embalaje.

La inscripción en el Registro tiene una validez por un período de tiempo mínimo de dos años, que puede ser prorrogado según se establezca reglamentariamente.

## **2. La huella de agua**

### *a) Concepto*

Es un indicador distinto a la huella hídrica, más reciente que ésta y cuya aplicación e interés han ido creciendo en los últimos años. Todavía se encuentra en fase de desarrollo y por ello han ido surgiendo distintos métodos para su evaluación. La principal alternativa a la metodología propuesta por la *Water Footprint Network* es la norma ISO 14046, publicada en agosto de 2014.

La huella de agua, según la norma ISO 14046<sup>57</sup>, se basa en la metodología de análisis de ciclo de vida, también estandarizada por las normas ISO 14040 y 14044, estableciendo los principios, requisitos y directrices para una correcta evaluación de la huella hídrica de productos, procesos y organizaciones.

El marco de referencia en el que se desarrolla esta norma tiene los siguientes puntos básicos:

- 1) Se aplica a productos, servicios, procesos y organizaciones, lo que se correspondía con la mayor parte de métodos de análisis desarrollados hasta el momento.

---

<sup>57</sup> FERRER JULIA, M., *La huella hídrica: la nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación*, Universidad de León, CONAMA, 2014, p. 4.

- 2) Se basa en el análisis de ciclo de vida, específicamente en la norma ISO 14044. Este punto es muy importante ya que, si no se conoce esta última norma ISO, no pueden comprenderse aspectos de la norma ISO 14046.
- 3) Es modular de acuerdo con las etapas de ciclo de vida. Esto significa que los valores de huella hídrica que se estimen en una etapa de ciclo de vida se pueden sumar a los correspondientes a otra etapa.
- 4) Identifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, por lo que se excluye cualquier referencia a impactos sociales o económicos.
- 5) Incluye las dimensiones temporal y geográfica, es decir, se tiene que especificar claramente en el estudio cuál es el marco temporal para el que se realiza el análisis y la situación geográfica donde se localiza el área de estudio, ya que repercutirá en las disponibilidades de agua.
- 6) Identifica cantidades de uso de agua y cambios en su calidad, por lo que se tienen en cuenta tanto las disponibilidades de agua como su degradación, los dos aspectos básicos estudiados por la mayor parte de métodos de análisis.

Como novedad con respecto a la metodología de la *Water Footprint Network*, la norma ISO no contabiliza únicamente el volumen de agua consumido, sino que evalúa los posibles impactos medioambientales relacionados con dicho consumo, a través de indicadores relacionados con el agua.

Mide indicadores de degradación de agua, esto es, la disponibilidad o escasez de agua que se genera como consecuencia de una actividad y el impacto ambiental.

Contempla dos dimensiones: la directa, que se refiere a los impactos producidos en el propio proceso, esto es, que ocurre dentro de los límites operacionales de la empresa y la indirecta, que es la generada por los proveedores y el consumo de materiales, de electricidad, de agua..., esto es, es causada por todas las actividades que tienen lugar aguas arriba y aguas abajo y que permiten que dicha actividad se lleve a cabo.

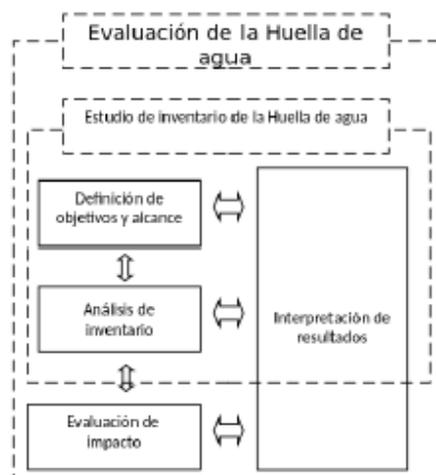
Las etapas en las cuales se divide la huella de agua coinciden con el análisis de un ciclo de vida, esto es, el estudio de los impactos ambientales de un proceso,

de un producto, de una organización o de un servicio<sup>58</sup>. Se realiza un análisis de ciclo de vida de organización, es decir, se evalúan todos los impactos ambientales de una organización, pero se tienen en cuenta únicamente aquellos impactos con efecto en el vector agua.

Una de las etapas más importantes es el análisis de inventario. El inventario es la relación de entradas al sistema (de electricidad, de materiales, de transporte) y la captación directa de ríos, lagos y pozos.

Lo interesante de la metodología es que continuamente debe hacerse una interpretación tanto de las decisiones que se han tomado en cuanto al alcance y objetivos como de los resultados obtenidos. Antes de hacer la evaluación de impacto y durante la misma, hay que reinterpretar los resultados para evaluar que tienen lógica y analizar los puntos débiles del sistema para saber cómo reducir el impacto de huella hídrica producido por la organización.

Las etapas que incluye la metodología de evaluación de la huella de agua se representan en la norma ISO 14046 con el siguiente esquema:



<sup>58</sup> Este principio establece que «una evaluación de la huella hídrica de un producto considera todas las etapas del ciclo de vida de este producto, en su caso, desde la adquisición de la materia prima hasta su eliminación final. (...). Una evaluación de la huella hídrica de una organización adopta una perspectiva de ciclo de vida sobre la base de todas sus actividades. Si apropiado y justificado, la evaluación de la huella de agua puede limitarse a una o varias etapas del ciclo de vida» (ISO, 2014).

b) *Indicadores*

Los indicadores que se establecen para el cálculo de la huella de agua son:

- Medidores de la escasez/disponibilidad del agua: *Water Scarcity indicator*, que indica no solo el consumo de agua que se produce en la organización, sino también dónde tiene lugar el mismo, es decir, relaciona el consumo de agua con la disponibilidad del agua en el lugar donde se está consumiendo. Por ello, un metro cúbico de agua, según este indicador, no será igual en todos los sitios al cambiar según la disponibilidad.
- Medidores de la degradación del medio: Eutrofización tanto de agua dulce como de agua salada, de manera directa e indirecta. De manera directa es causada debido a las emisiones de la combustión de los motores de los vehículos. De manera indirecta se produce por las emisiones de los proveedores y los fabricantes de las materias primas utilizadas, tanto en agua dulce como en agua salada.
- Medidores de uso de agua y de vertidos: uso de agua que consume directamente la organización de los ríos, lagos o indirectamente de sus proveedores. La información se obtiene de bases de datos<sup>59</sup>. El vertido tiene también una parte directa, que en el sector minero suele ser a depósitos controlados o a la red de agua para que se lleve a cabo un tratamiento y los vertidos de los proveedores.

c) *Utilidad en el sector minero*

Dado que la mayoría de las actividades, que permiten que la actividad minera se lleve a cabo, se producen fuera de los límites operacionales de la organización, en el sector minero la mayor parte de la huella de agua tendrá una dimensión indirecta.

---

<sup>59</sup> Ecoinvent es la base de datos más empleada. Establece la base para la evaluación del ciclo de vida en áreas como el suministro de energía, la agricultura, el transporte, los biocombustibles y los biomateriales, los productos químicos a granel y especializados, los materiales de construcción, la madera y el tratamiento de residuos.

## VI. CONCLUSIONES

Las actividades mineras están estrechamente ligadas al agua: como recurso ambiental que ha de protegerse; como un recurso imprescindible para su aprovechamiento en la propia mina o fuera de ella; e incluso como un problema a evitar, disminuir o corregir en la explotación minera.

En efecto, el agua desempeña un papel fundamental en la mayoría de las operaciones de la minería industrial moderna, pues se trata de un recurso involucrado en numerosos procesos intermedios. El agua es un elemento clave en la minería tanto por su presencia-inconveniente en labores subterráneas como por su necesidad en los procesos de concentración mineral y metalúrgicos. También es fundamental en los procesos de flotación y en los de refrigeración.

Al igual que otras actividades industriales y agrícolas, la explotación minera precisa del agua y requiere tener asegurado el abastecimiento necesario. Muchas veces ocurre incluso que la dificultad que se plantea es la inversa y la actividad minera tiene que liberar grandes cantidades de agua no deseables en el ámbito del proyecto. Éste último es el problema del drenaje minero: el de captar, transportar y eliminar hacia el entorno (al medio ambiente) flujos de agua y hacerlo de manera que no se ocasionen daños. En cualquiera de los casos, el problema del agua requiere un adecuado enfoque y planteamiento, así como una correcta regulación.

La minería no puede obviar la realidad del agua y debe apostar por soluciones de tratamiento que permitan, en clave de sostenibilidad, recuperar la mayor cantidad posible de agua y mejorar la calidad o minimizar los vertidos restantes.

El sector minero ha avanzado significativamente en la gestión del agua y en la mejora de su huella ecológica gracias a la aplicación tanto de la huella hídrica como de la huella de agua.

La huella hídrica y la huella de agua son indicadores globales que contribuyen a la evaluación y mejora de la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos. Su cálculo otorga un valor añadido al ir un paso más allá del análisis clásico de la gestión del agua en una organización.

Estas dos metodologías están funcionando como herramientas claves para lograr la sostenibilidad de las operaciones mineras.

La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizado para producir el producto, medido a lo largo de toda la cadena de suministro. Es un sistema multidimensional que muestra los volúmenes de consumo de agua por componente y los volúmenes contaminados por tipo de contaminación.

Quiere decirse que la huella hídrica mide volúmenes de agua evaporados, incorporados al producto; en definitiva, volúmenes de agua que no son devueltos al medio.

La huella de agua, en cambio, según la norma ISO 14046, se basa en la metodología de análisis de ciclo de vida, también estandarizada por las normas ISO 14040 y 14044, estableciendo los principios, requisitos y directrices para una correcta evaluación de la huella hídrica de productos, procesos y organizaciones.

Mide indicadores de degradación de agua, esto es, la disponibilidad o escasez de agua que se genera como consecuencia de una actividad y el impacto ambiental.

Como herramienta para calcular y comunicar el consumo de recursos hídricos asociados al ciclo de vida de un producto, servicio u organización, la Comunidad Autónoma de Andalucía creó el Registro de la huella hídrica de productos, servicios y organizaciones, mediante Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía. Es actualmente la única Comunidad Autónoma que tiene implantado un Registro de estas características (si bien algunas normas autonómicas en elaboración también lo hacen).

## **BIBLIOGRAFÍA**

ADUVIRE, O., *Drenaje ácido de mina. Generación y tratamiento*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2006.

ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, M., «El nuevo enfoque estatutario sobre la distribución de competencias en materia de aguas», *Revista de Administración Pública*, núm. 173, 2007, pp. 317-353.

ARGUDO GARCÍA, J.J., «El agua: la economía circular y la huella hídrica como herramientas necesarias para una gestión eficaz», *Interempresas. Industria Química*, núm. 65, 2016, pp. 71-73.

FERNÁNDEZ GRECO, M.A., «Huella hídrica, agua virtual: conceptos clave para pensar el recurso hídrico», *Question*, vol. 1, núm. 40, 2013, pp. 1-8.

FERRER JULIA, M., *La huella hídrica: la nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación*, Universidad de León, CONAMA, 2014.

GONZÁLEZ VALENCIA, J.E.; MONTOYA JARAMILLO, L.J.; BOTERO HERNÁNDEZ, B.A.; ARÉVALO URIBE, D. y VALENCIA GALLEGO, V., «Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el Municipio de Segovia, Antioquia (Colombia)», *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, núm. 7, 2012, pp. 27-44.

HOEKSTRA, A.Y., *Perspectives on Water: An Integrated Model-based Exploration of the Future*, International Books, Utrecht, Países Bajos, 1998.

HOEKSTRA, A.Y. y HUYNEN, M., «Balancing the world water demand and supply», MARTENS, P. y ROTMANS (eds.), *Transitions in a globalising world*, Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, Países Bajos, 2002 pp. 17-35.

HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K., *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*, Blackwell Publishing, Oxford, 2008.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M. y MEKONNEN, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the global standard*, Earthscan, Washington, 2011.

HOEKSTRA, A.Y., *The Water Footprint of Modern Consumer Society*, Routledge, Londres, 2013.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K. y VAN OEL, P.R. (eds.), *Progress in Water Footprint Assessment*, MDPI, Basel, Suiza, 2019.

Informe «Uso sostenible del agua en la minería», Red EsAgua, 2019.

KROLL, A., «Políticas medioambientales europeas y minería», BARETTINO, D.; LOREDO, J. y PENDÁS, F. (coords.), *Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 2005, pp. 7-14.

LLAMAS MADURGA, R.M., «La crisis del agua: ¿mito o realidad?», *Hidrogeología*, núm. 10, 1994, pp. 31-40.

LLAMAS MADURGA, R.M., Discurso inaugural «Los colores del agua, el agua virtual y los conflictos hídricos» leído en la *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, el día 2 de noviembre de 2005, Realigraf, S.A., Madrid.

MONTOYA MARTÍN, E., «¿Por qué la República de Irlanda está en el top del índice de atractivo regulatorio de los permisos mineros? Un análisis del factor tiempo», *Revista Catalana de Dret Ambiental*, vol. 11, núm. 1, 2020, pp. 1-40.

MOREU CARBONELL, E., *Minas. Régimen jurídico de las actividades extractivas*, Tirant lo Blanch, Valencia, 2001.

NORRIS, K.; OVEJERO, G.; DOYLE, M. y COSMEN, P., «Proyecto Cobre Las Cruces. La gestión del agua en una mina del nuevo milenio», PULIDO BOSCH, A.; PULIDO LÉBOUF, P.A. y VALLEJOS IZQUIERDO, Á. (eds.), *V Simposio sobre El agua en Andalucía*, vol. II, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería, Granada, 2001, pp. 399-410.

ORDÓÑEZ ALONSO, A.; ANDRÉS ARIAS, C.; JARDÓN PALACIO, S.; ÁLVAREZ GARCÍA, R.; PENDÁS FERNÁNDEZ, F. y LOREDO PÉREZ, J., *Aprovechamiento de las aguas subterráneas como recurso hídrico y energético*, Fundación Mapfre, 2008.

ORDÓÑEZ ALONSO, M.A., Tesis Doctoral *Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina. Experiencias de laboratorio, diseño y ejecución*, Universidad de Oviedo, 1999, pp. 1 y 7, disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/11118?show=full>.

PÉREZ LAGUELA, E. y MARBÁN FLORES, R., «El impacto de la actividad de las compañías transnacionales mineras sobre la huella hídrica: El caso de la DET en Chile», *Revista de Estudios Regionales*, núm. 110, 2017, pp. 133-173.

PÉREZ ZABALETA, A.; SORIANO MARTÍNEZ, B. y BORRAT, M., «La huella hídrica como respuesta del sector empresarial al cambio climático», *Revista de Responsabilidad Social de la empresa*, núm. 24, 2016, pp. 55-77.

RIVERO YSERN, J.L. y MONTOYA MARTÍN, E., «Una nueva oportunidad para la minería metálica: la reapertura de la minería de Aznalcóllar en Sevilla», *Revista Andaluza de Administración Pública*, núm. 91, 2015, pp. 37-90.

RODRÍGUEZ LOMBARDO, M., «Huella hídrica y agua virtual», *Revista de la Universidad de México*, núm. 6, 2020, pp. 48-51.

SÁNCHEZ, L.E., «Capítulo 16. Drenaje de minas a cielo abierto», AA.VV., *Aspectos geológicos de Protección Ambiental*, vol. I, UNESCO, Montevideo, 1995, pp. 251-264.

SHAMIR, U., «Sustainable Management of Water Resources», *Transition towards Sustainability, Intercademy Panel Tokyo Conference, mayo 2000*.

SIEBERT, S. y DÖLL, P., «Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation», *Journal of Hydrology*, núm. 384, pp. 198-217.

SOSA WAGNER, F. y BOCANEGRA SIERRA, R.E., «Explotación de una mina en un pantano: problemas jurídicos», *Revista de Administración Pública*, núm. 98, 1982, pp. 397-414.

SOTELO PÉREZ, M., Tesis Doctoral *Aspectos económicos, sociales y territoriales de la huella hídrica española*, Universidad Complutense de Madrid, 2009, p. 12, disponible en: <https://eprints.ucm.es/47991/1/T40003.pdf>.

TARRÉS VIVES, M., «La calidad del agua como concepto jurídico», MONTORO CHINER, M.J. (coord.), *El agua: estudios interdisciplinarios*, Atelier, Barcelona, 2009, pp. 23-35.