

Guía para el cálculo de la Huella Hídrica

Huella Hídrica de Productos,
Servicios y Organizaciones



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria de Medi Ambient,
Aigua, Infraestructures i Territori

CONTENIDO

CONCEPTOS BÁSICOS.....	4
INTRODUCCIÓN.....	4
CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA	4
CONCEPTO DE HUELLA DE AGUA.....	7
CONCEPTOS PREVIOS AL CÁLCULO.....	8
Metodologías aceptadas para el cálculo	8
Tiempo que tardaré en calcular mi huella hídrica.....	8
Ventajas del cálculo	8
CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA	11
FASES DE LA HUELLA HÍDRICA	11
DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE	11
Establecer el objetivo.....	11
Definir el alcance.....	12
CONTABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA	13
Elaborar un mapa de procesos	13
Determinar la unidad funcional.....	14
Recopilar datos de actividad.....	15
Cálculo	17
ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA.....	23
PERSPECTIVA AMBIENTAL	23
Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul.....	23
Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde	24
Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica gris	25
PERSPECTIVA SOCIAL	26
PERSPECTIVA ECONÓMICA.....	26
CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA	27
PRINCIPIOS	27
FASES DE LA HUELLA DE AGUA.....	27
DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE	28
Establecer el objetivo.....	28

Definir el alcance.....	28
ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LA HUELLA DE AGUA.....	29
EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA HUELLA DE AGUA	30
PLAN DE MEJORA	32
ELABORACIÓN DEL PLAN DE MEJORA.....	32
MEDIDAS DE REDUCCIÓN	32
INFORME DE HUELLA HÍDRICA Y HUELLA DE AGUA	34
INFORME DE HUELLA HÍDRICA	34
INFORME DE HUELLA DE AGUA.....	34
CASO PRÁCTICO SIMPLIFICADO	36
ASPECTOS GENERALES.....	36
ALCANCE	36
CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE.....	39
CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS.....	39
RESULTADOS.....	40

Esta guía ofrece las nociones básicas para la comprensión del concepto de huella hídrica, así como para el cálculo y evaluación de la misma para un producto, servicio y organización. Asimismo, se incorporan ejemplos prácticos además de pautas para la correcta elaboración de un Plan de Reducción de la huella hídrica obtenida.

Esta guía tiene por objeto el procedimiento de cálculo de la huella hídrica y huella de agua de los productos, servicios y organizaciones, dentro de la propia Comunitat Valenciana.

Resulta necesario aclarar que el concepto de organización engloba a cualquier tipo de entidad que desee calcular su huella hídrica, ya sea una organización privada, una entidad pública, una organización sin ánimo de lucro, etc.

CONCEPTOS BÁSICOS

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural esencial.

Las actividades humanas consumen y contaminan grandes cantidades de agua. A escala global, el mayor uso del agua acontece en la producción agrícola, aunque también se consumen y se contaminan importantes volúmenes de agua en los sectores industrial y doméstico.

El agua es un recurso escaso; sin embargo, la demanda de agua es cada vez mayor, de hecho, hay muchos lugares en el mundo donde se produce un grave agotamiento o contaminación del agua: ríos que se secan, descenso del nivel de los lagos y de las aguas subterráneas y especies en peligro de extinción debido al agua contaminada.

El crecimiento de la demanda de agua ligado al incremento de la escasez de agua en muchas zonas y/o a la degradación de la calidad del agua, ha hecho que el interés por el agua y su gestión aumente.

Por tanto, es deseable tener técnicas de evaluación apropiadas que persigan medir el consumo de agua y la contaminación asociada, así como, los impactos potenciales relacionados con el agua.

CONCEPTO DE HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica es un **indicador del uso de agua dulce**, medido a lo largo de toda la cadena de suministro, siguiendo el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida.

La huella hídrica se basa en la apropiación de los recursos hídricos, en lugar del concepto tradicional utilizado hasta el momento, basado en la extracción de agua.

Muestra los volúmenes de agua consumidos por origen y los volúmenes de agua contaminados por tipo de contaminación.

Además, no se centra únicamente en el uso directo del agua, sino también en su uso indirecto.

El estudio puede referirse al consumo de agua directo e indirecto de un producto, servicio u organización:

- **La huella hídrica de un producto** es el volumen de agua dulce utilizado para producir el producto, medido en toda la cadena de suministro: desde la extracción y procesado de las materias primas, pasando por el transporte, fabricación y distribución, hasta las etapas de uso y final de la vida útil del producto (gestión de residuo).
- **La huella hídrica de una organización o servicio** es el volumen de agua dulce utilizado, para el correcto desarrollo de la actividad de dicha organización o la oferta de dicho servicio.

Conceptualmente, la huella hídrica es un indicador multidimensional que se divide en 3 componentes:

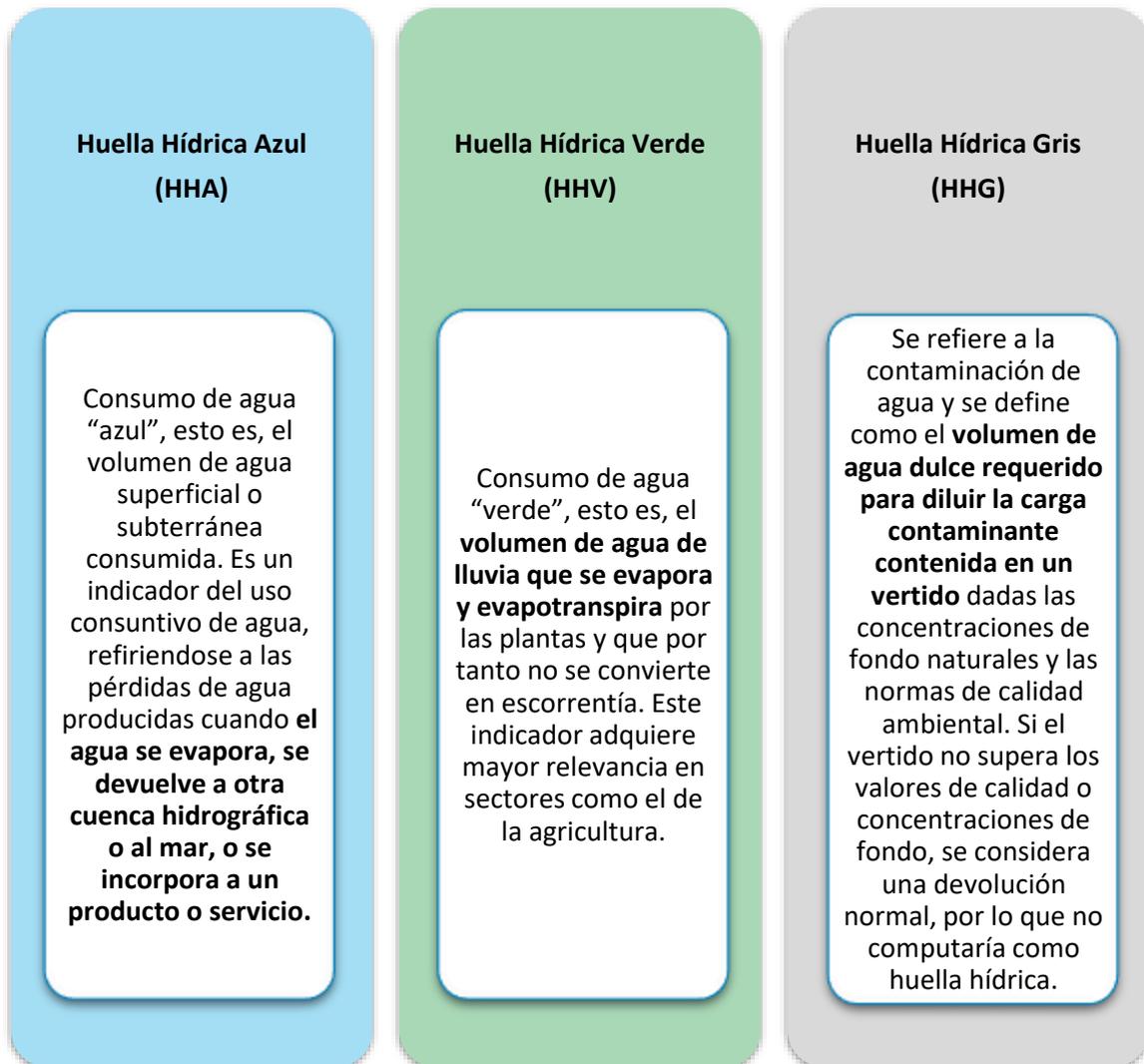


Figura 1. Componentes de la Huella Hídrica.

Además, la Huella Hídrica puede ser directa e indirecta:

- **Huella hídrica directa:** se refiere al consumo de agua dulce y a la contaminación asociada al uso de agua realizado directamente en el desarrollo de la actividad de una organización, en la prestación de un servicio o en todas las fases de producción de un producto.
- **Huella hídrica indirecta:** se refiere al consumo de agua dulce y a la contaminación asociados con la producción de los bienes y servicios (exceptuando el agua) consumidos en el sistema analizado.

Como indicador del "**uso del agua**", la huella hídrica difiere de la clásica medida de "extracción de agua" en tres aspectos (Figura 2):

1. El concepto de huella hídrica solo tiene en cuenta el **uso consuntivo del agua**, es decir, no incluye el uso de agua azul en la medida en que esta agua vuelva a la misma cuenca de la que es extraída en el mismo periodo. Por tanto, difiere del concepto tradicional de uso del agua que sí incluye toda el agua extraída de las aguas superficiales y

subterráneas, considerando los usos consuntivos (el agua consumida) y no consuntivos (agua devuelta en el vertido a la misma cuenca y en el mismo periodo).

2. No está restringido al uso de **agua azul**, sino que también incluye **agua verde y gris**.
3. No se limita al **uso directo del agua**, sino que también contempla el **uso indirecto del agua**.

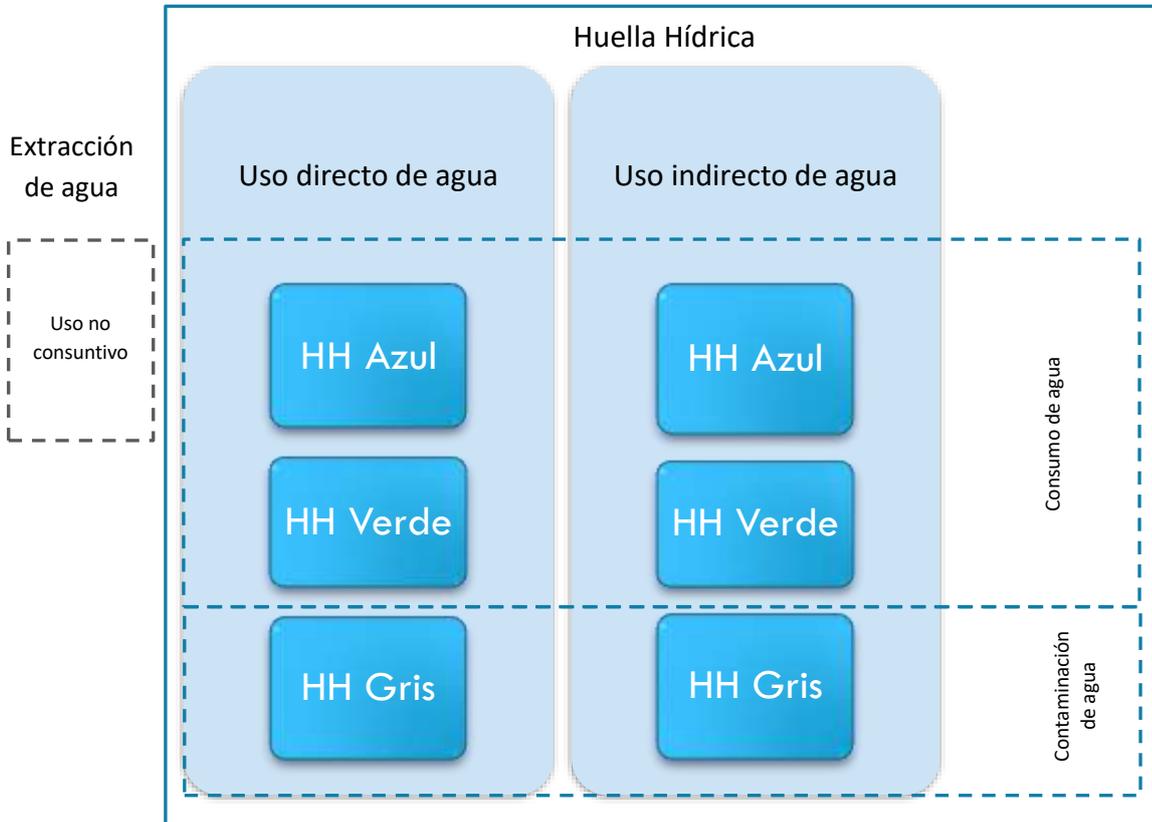


Figura 2. Representación gráfica de los componentes de la huella hídrica.

La **unidad de medida** de la huella hídrica es el volumen de agua dulce consumido en un periodo de tiempo expresado en m³.

No obstante, para estudiar el consumo de agua y relacionarlo con un producto, servicio u organización, es fundamental establecer la **unidad funcional** del sistema de estudio.

Para el caso del producto, la unidad funcional estará relacionada con el producto (cantidad de producto, unidad de producto, unidad de energía etc.), lo mismo pasará con el servicio prestado, cuya unidad funcional será la definición de dicho servicio. De forma que, todas las entradas y salidas directas e indirectas de agua que se dan en cada proceso del ciclo de vida deben estar referenciadas a la unidad funcional, así como, los resultados finales de huella hídrica.

La huella hídrica de una organización se expresa siempre como volumen de agua por unidad de tiempo, y a su vez, puede expresarse como el volumen de agua por unidad funcional cuando la huella hídrica por unidad de tiempo se divida entre la unidad funcional. La unidad funcional seleccionada deberá tener relación con la actividad de la organización.

Por ejemplo, para el caso de una empresa productora de fresas, que quiera calcular la huella hídrica de su producto, la unidad funcional puede ser una tonelada de fresas producidas. Para

una empresa cuyo servicio es el transporte público, la unidad funcional puede ser un km recorrido. Para una empresa de gestión y tratamiento de agua potable que quiera calcular la huella hídrica de su organización la unidad funcional puede ser la cantidad de agua distribuida.

CONCEPTO DE HUELLA DE AGUA

La huella de agua es un indicador o conjunto de indicadores que cuantifican **los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua**.

La evaluación de la huella de agua se basa en la recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua asociados con una organización, producto o servicio.

Al igual que la huella hídrica, la huella de agua tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto de agua:

- **Huella de agua directa:** Evalúa las entradas y salidas directas de agua resultantes de las actividades o procesos de la organización, producto o servicio objeto de estudio.
- **Huella de agua indirecta:** Evalúa las entradas y salidas indirectas de agua. Se refiere al consumo de agua y a la contaminación asociados con la producción de los bienes y servicios (exceptuando el agua) consumidos en el sistema analizado.

Por tanto, un estudio de huella de agua incluye la identificación y cuantificación de todas las entradas y salidas directas e indirectas de agua generadas a lo largo del ciclo de vida.

El objeto es cuantificar los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua derivados de las entradas y salidas analizadas.

Al igual que un estudio de huella hídrica, una evaluación de la huella de agua se relaciona con su **unidad funcional**, de modo que, todos los datos empleados para el cálculo, así como, los resultados obtenidos deben estar referidos a la unidad funcional seleccionada.

A su vez, la **unidad de medida** de la huella de agua variará en función de las categorías de impacto objeto de estudio. A continuación, se muestran algunos ejemplos:

Categoría de impacto	Unidad de medida	Descripción
Eutrofización del agua dulce	kg P eq	Expresada como el grado en que los nutrientes emitidos llegan al agua dulce (el fósforo es considerado como factor limitante en agua dulce): Emisión de fósforo equivalente al agua dulce.
Eutrofización marina	kg N eq	Expresada como el grado en que los nutrientes emitidos llegan al mar (el nitrógeno es considerado como factor limitante en el agua marina): Emisión de nitrógeno equivalente al mar.
Ecotoxicidad del agua dulce	kg 1,4-DB eq	Expresada como los impactos tóxicos que afectan al agua dulce, provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema: Liberación de 1,4-diclorobenceno al agua dulce
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	Expresada como los impactos tóxicos que afectan al agua marina, provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema: Liberación de 1,4-diclorobenceno al agua marina

Agotamiento de los recursos hídricos	m ³ eq	Expresada como la escasez de agua dulce: Cantidad escasa de agua utilizada, medido en m ³ de agua equivalente.
--------------------------------------	-------------------	---

Tabla 1. Unidad de medida según categoría de impacto.

CONCEPTOS PREVIOS AL CÁLCULO

En este apartado se detallarán los puntos a tener en cuenta para abordar el estudio de huella hídrica de cualquier producto, servicio, u organización.

Metodologías aceptadas para el cálculo

Principalmente existen dos normas y metodologías de gran reconocimiento internacional:

- **Water Footprint Network:** En 2002, Arjen Hoekstra, desde el Instituto UNESCO-IHE para la Educación sobre el Agua, creó la huella hídrica como una métrica para medir la cantidad de agua consumida y contaminada para producir bienes y servicios a lo largo de toda su cadena de suministro. A raíz del creciente interés funda la plataforma de Water Footprint Network de colaboración entre empresas, organizaciones e individuos para resolver las crisis mundiales del agua promoviendo un uso justo e inteligente del agua. De esta iniciativa, surge el Water Footprint Assessment Manual, en el que se desarrolla la metodología de cálculo creada por Hoekstra,
- **UNE-ISO 14046:2014:** El nacimiento del concepto de huella hídrica, siguió desarrollándose, dando lugar a otras metodologías como la de la norma ISO 14046. En la norma se especifican los principios, los requisitos y las directrices relacionados con la evaluación de la huella de agua. ISO 14046, utiliza el término de huella de agua en su traducción al castellano, y se refiere a los impactos ambientales sobre el recurso agua a lo largo del ciclo de vida de productos. Por tanto, la metodología de la huella de agua también se basa en la metodología del análisis de ciclo de vida estandarizada por la ISO 14040 y la ISO 14044.

Tiempo que tardaré en calcular mi huella hídrica

El cálculo de la huella hídrica supone un análisis detallado de la actividad llevada a cabo. Esto implica un esfuerzo de recopilación de datos por parte de la organización que calcula su huella hídrica.

Posteriormente, habría que definir los procesos, donde se invierte la mayor parte del tiempo. Una vez definido los procesos, el cálculo es relativamente rápido.

Ventajas del cálculo

Hoy en día para cualquier empresa es vital estudiar y conocer los riesgos a los que se enfrenta o se puede enfrentar en el futuro. Las amenazas externas y las posibles debilidades o vulnerabilidades de la propia empresa se traducen en riesgos.

En este sentido, cada vez es mayor el número de empresas expuestas a los riesgos hídricos, por tanto, éstas deberían de contar con estrategias para mitigarlos. Tales riesgos hídricos pueden ser:

- **Exceso o falta de agua** para el desarrollo de cualquier actividad.
- **Pérdida de calidad** del agua.
- **Competencia** por el agua con grupos sociales vulnerables.
- **Aumento en las tarifas** del agua.
- **Cumplimiento de nuevas regulaciones** sobre el recurso hídrico.

La comprensión de los riesgos hídricos y la generación de un plan de acción sobre cómo mitigarlos son aspectos cruciales para asegurar la operatividad de la empresa a largo plazo. Los riesgos hídricos pueden ser de tres tipos:



Figura 3. Riesgos hídricos.

Antes tales riesgos, a las empresas les pueden surgir preguntas e inquietudes que el estudio y el cálculo de la huella hídrica pueden responder. Por ejemplo:

- ¿Cuál es nuestro conocimiento del uso que hacemos del agua en nuestra organización/producto?
- ¿Tenemos medidas para reducir nuestra vulnerabilidad?
- ¿Estamos preparados para acometer los cambios necesarios y asegurar la viabilidad de nuestro negocio a largo plazo?
- ¿Queremos fortalecer nuestra estrategia de sostenibilidad y RSC?

Por tanto, la entidad que calcula su huella hídrica y/o su huella de agua, además de contribuir a la lucha contra el cambio climático, tiene las siguientes ventajas:

- Identificación de oportunidades de reducción consumo de agua y por tanto, se obtendrán **ahorros económicos**.
- Facilitar la **eficiencia del agua y la optimización d la gestión** del agua al nivel de productos, procesos y organización.

- **Gestión estratégica del riego** relacionado con el agua.
- Formar parte de **esquemas voluntarios** de Registro de huella de hídrica.
- **Mejorar la reputación corporativa y el posicionamiento** de la empresa.
- Obtención de **reconocimiento externo** por el hecho de realizar acciones voluntarias tempranas de reducción del impacto sobre los recursos hídricos.
- Identificar **nuevas oportunidades de negocio**: atraer inversionistas y clientes sensibilizados con el cambio climático y el medio ambiente.

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA

FASES DE LA HUELLA HÍDRICA

Un estudio completo de huella hídrica comprende las siguientes fases:



Figura 4. Fases de un análisis completo de huella hídrica.

En la primera fase, se deben **establecer los objetivos y alcance del estudio**, es decir, especificar por qué y para qué se quiere realizar el estudio, y definir el alcance y los límites del sistema. Definir los límites del inventario consiste en explicar que procesos se van a incluir.

La fase 2 de **contabilidad de la huella hídrica** es la fase en la que se recopilan datos y se aplica el método de cálculo. El alcance y el nivel de detalle del cálculo dependen de las decisiones tomadas en la fase 1.

En la fase 3 de **análisis de sostenibilidad** se evalúa la huella hídrica desde una perspectiva social, ambiental y económica.

Finalmente, la fase 4 de **formulación de respuestas**, se basa en proponer una estrategia o política destinada a reducir la huella hídrica y por ende a hacerla más sostenible.

DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE

Establecer el objetivo

Un estudio de huella hídrica puede abordarse con diferentes objetivos, en función de estos, se deberán tomar decisiones que delimitarán el cálculo. Por tanto, el primer paso para la evaluación de la huella hídrica es la identificación del objetivo y alcance.

La huella hídrica puede evaluarse a niveles muy diferentes, por ello, es importante especificar desde el primer momento en qué tipo de huella hídrica se quiere trabajar:

- Huella hídrica de un producto
- Huella hídrica de un servicio
- Huella hídrica de una organización

Una vez definido el tipo de huella, es necesario indicar el **propósito del estudio**, puesto que, en función de éste, se alcanzará un nivel de detalle mayor o menor. Por ejemplo, si el objetivo es el de tomar decisiones sobre cómo formular estrategias para reducir el consumo de agua de mi producción, habrá que acceder a un nivel de detalle superior (en la cadena de suministro, las fases de evaluación que incluir, etc.) que si el objetivo es el de sensibilizar y se necesita información general del consumo de agua.

Definir el alcance

Resulta fundamental:

1. Escoger el **periodo de tiempo** a considerar: Es necesario indicar con claridad el período de tiempo al que corresponden los datos utilizados, debido a que el periodo de tiempo afectará al resultado.

Se puede calcular la huella hídrica para un año en particular o para un número de años específicos. El año de estudio, puede comprender un año natural (1 enero-31 diciembre) o un año no natural que contenga los 365 días.

2. Establecer un **año base**: Resulta fundamental, elegir un año de referencia para el cálculo con el fin de posibilitar la comparabilidad y evolución de los resultados en el tiempo.

Se recomienda establecer como año base, un año representativo de la operación normal de la organización, para el que se disponga de datos fiables y que sea lo más lejano en el tiempo posible.

Para el año base, hay que realizar la huella hídrica con el mismo alcance y metodología que se utilizará en los siguientes años analizados. En el momento en el que, por diversos factores, la comparación con el año base seleccionado pierda sentido, la organización deberá recalcularse o cambiar el año base.

Se recomienda establecer un procedimiento que estipule los casos en los que sería necesario recalcularse o cambiar el año base.

En caso de que la empresa, en su proceso de expansión, haya integrado una nueva instalación que previamente no existía (instalaciones de nueva construcción), el año base no debe ser recalculado.

3. Definir el **alcance**: Es imprescindible determinar los límites del inventario, es decir, dejar muy claro y explícito qué se va a incluir y qué no se va a incluir en el cálculo.

Para determinar el alcance de la huella hídrica se pueden plantear las siguientes cuestiones:

- ¿Hasta qué componente se extiende mi cálculo? ¿huella hídrica azul, verde, gris?
- ¿Hasta dónde se quiere extender el cálculo de la huella hídrica en la cadena de suministro?
- ¿Considero la huella hídrica directa y/o la huella hídrica indirecta?

El cálculo de la huella hídrica debe ser completo en cuanto al **estudio de sus tres componentes**, sin embargo, para aquellas empresas en las que el consumo de agua de lluvia no sea significativo, es decir, no tengan zonas de cultivos y sólo se disponga de zonas verdes, la huella hídrica verde no tendría por qué ser significativa y por tanto objeto de estudio. En empresas industriales, suele tomar relevancia la contaminación del agua, siendo importante el cálculo de la huella hídrica gris. Por tanto, se puede decir que es decisión de la organización, el incorporar o no este parámetro, en función de la relevancia que tome cada componente en el estudio.

La decisión de hasta dónde extender el cálculo de la huella hídrica en la cadena de suministro resulta crucial. Como regla general, se deben incluir todos los procesos que contribuyen significativamente al resultado final de huella hídrica. Para determinar que se considera

significativo, se puede aplicar como **criterio de corte** el incluir todo aquello que contribuya a la huella hídrica en más del 1% (o mayor del 10% cuando solo se tenga interés en los componentes más grandes).

En cuanto a la última cuestión planteada, la recomendación general es **incluir tanto la huella hídrica directa como indirecta**. Para la mayoría de las organizaciones, la huella hídrica en su cadena de suministro es mucho mayor que la huella hídrica de sus propias operaciones, de ahí que la huella hídrica indirecta pueda ser incluso más significativa.

A modo resumen, para definir el alcance de la huella hídrica, se ha de hacer un análisis de los consumos directos de agua e indirectos derivados de los consumos de materia y energía, para determinar qué consumos son los más representativos (supongan más del 1% de la huella hídrica total) y, por tanto, deberán ser objeto de estudio.

Regla general

Incluir todos los procesos que contribuyen significativamente a la huella hídrica.

Significativo → Contribuye en **más del 1%** a la huella hídrica.

Sólo componentes más importantes → Contribuye en más del 10% de la huella hídrica.

Tabla 2. Regla general para determinar que procesos son significativos en la huella hídrica.

Cualquier exclusión del estudio deberá ser debidamente justificada en el informe de huella hídrica desarrollado por la entidad.

CONTABILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA

Una vez definido el objeto y alcance del estudio, a continuación, se detallan los pasos a seguir para la correcta cuantificación de la huella hídrica.

Elaborar un mapa de procesos

El cálculo de la huella hídrica implica entender el proceso productivo para la obtención de un producto o servicio, por ello, resulta muy útil elaborar un **mapa de procesos** para servicios u organizaciones o análisis del ciclo de vida para productos.

La clave para identificar los consumos a tener en cuenta en el estudio consiste en definir el ciclo de vida de un producto o el mapa de procesos de una organización o servicio; e identificar aquellos flujos de materia y energía esenciales para la actividad principal de la empresa, oferta de un servicio o producción de un producto y que además estos supongan, dentro del volumen total de consumos de la entidad, un consumo significativo según el criterio de corte establecido.

En la siguiente figura, se muestra un ejemplo de análisis del ciclo de vida para una empresa productora de tejidos, cuya intención es el cálculo de la huella hídrica de su producto más vendido. El mapa de proceso general podría ser el siguiente:



Figura 5. Mapa de procesos de una empresa productora de tejidos.

El estudio deberá contemplar todos los procesos referidos al proceso de producción del producto. Con este esquema, podríamos identificar los consumos de materia y energía principales en cada una de las etapas del ciclo de vida.

Si la misma empresa quisiera hacer el cálculo de la huella hídrica de su organización y no del producto, debería contemplar todos los procesos, y por tanto todos los consumos, independientemente del producto que esté produciendo. El alcance podría incluir aquellos procesos productivos o decisiones en los que la empresa tiene el control.

Determinar la unidad funcional

La huella hídrica de un producto debe siempre expresarse como **volumen de agua por unidad de producto**:

- Volumen de agua por unidad de masa (m^3/ton o m^3/kg).
- Volumen de agua por pieza, para los productos que se cuentan por unidades en lugar de masa (m^3/unidad).
- Volumen de agua por unidad monetaria ($m^3/€$).
- Volumen de agua por unidad de energía (m^3/kcal o m^3/GJ).

La huella hídrica de una organización se expresa como el volumen de agua por unidad de tiempo, y a su vez, y tal como se comentó anteriormente puede expresarse como el volumen de agua por unidad funcional dividiendo la huella hídrica por unidad de tiempo entre la unidad funcional. La unidad funcional seleccionada deberá tener relación con la actividad de la organización.

Recopilar datos de actividad

El paso más costoso, a nivel de tiempo y recursos, es la recopilación de datos. El tipo de datos utilizados, la calidad, así como las fuentes utilizadas en el estudio deberán ser reportados de forma transparente.

En este apartado, se detallan los datos necesarios a recopilar según la componente de la huella hídrica.

Huella Hídrica Azul:

- **Flujos directos de entrada y salida** de agua en cada proceso o instalación. Es interesante diferenciar por tipos de fuentes: agua superficial o subterránea, por ejemplo.

Los principales flujos directos podrían ser:

- Agua captada.
- Agua vertida.
- Agua de lluvia.
- Agua evaporada.
- Agua incorporada en el proceso.

- **Flujos indirectos de entrada y salida** de agua en cada proceso o instalación. Hace referencia al consumo de bienes y servicios (exceptuando el agua).

Los principales consumos indirectos podrían ser:

- Consumo de combustibles fósiles.
- Consumo de electricidad.
- Consumo de reactivos.
- Consumo de fertilizantes.
- Consumo de materiales.
- Gestión de residuos generados.

Los consumos indirectos llevan asociado una huella hídrica por su propia producción.

Huella Hídrica Verde:

- **Datos climáticos.** Precipitación (P) y evapotranspiración de referencia (ET₀) de la zona de estudio durante el año de estudio. Se puede consultar a través de la estación meteorológica más cercana a la instalación objeto de estudio. La base de datos climática CLIMWAT 2.0 (FAO, 2010a) aporta los datos climáticos necesarios (no aporta información específica por años, sino medias de 30 años) con el formato apropiado requerido por el modelo CROPWAT 8.0.
- **Inventario de zonas verdes y/o cultivos** (m² y tipo de especie: arbusto, césped, árbol, etc.). Puede justificarse mediante mapas, inventario de especies, etc.

- **Coefficientes de cultivo (Kc).** Varían según el cultivo, el estado de desarrollo, y según algunas prácticas culturales. Los datos más fiables sobre cultivos son los aportados por las estaciones locales de investigaciones agrícolas. Algunas bases de datos globales que se pueden usar son: *Allen et al. (1998, tablas 11-12)*, *FAO (2010b)*, *USDA (1994)*.
- **Cantidad de agua destinada a riego.** Medida a partir de caudalímetros o facturas en caso de compra de agua.

Huella Hídrica Gris:

- **Cantidad de agua captada** durante el año de estudio. Medida a partir de caudalímetros o facturas en caso de compra de agua.
- **Cantidad de agua vertida** al medio durante el año de estudio. Medida a partir de caudalímetros.
- **Concentraciones reales de contaminantes en el agua captada.** Medida a partir de analíticas de agua captada o descargada de bases de datos con concentraciones reales disponibles.
- **Concentraciones reales de contaminantes en el agua vertida.** Medida a partir de analíticas de agua vertida.
- **Cantidad de sustancias químicas depositadas en el suelo** durante un proceso determinado (por ejemplo, tasas de aplicación de fertilizantes y de pesticidas).
- **Fracción de lixiviación-esorrentía superficial.** En caso de no conocerse, podemos suponer que existe un 10% de lixiviación para fertilizantes nitrogenados, de acuerdo con *Chapagain et al. (2006b)*.
- **Normas de calidad ambiental.** Se recomienda utilizar normativa local tal y como está dispuesto en la legislación. Pueden utilizarse también las autorizaciones de vertido
- **Concentraciones naturales en masas de aguas receptoras.** En ríos vírgenes, se puede asumir que las concentraciones naturales son iguales a las concentraciones reales. Para ríos alterados, hay que basarse en registros históricos o estudios con modelos. Cuando no exista información, habrá que estimar la concentración natural o suponer que es igual a cero.

Siempre se debería optar por una fuente de información **fiable y contrastable**. Si no se dispusiera de información primaria, se optaría por la estimación de dicho valor (ver apartado calidad de los datos). Por ello, se recomienda que siempre que se pueda, los datos procedan de facturas, albaranes, hojas de control verificadas por la propia entidad, etc.

Para determinar la calidad del dato recopilado se pueden establecer los siguientes criterios:

Calidad	Descripción
Muy buena	Registros contables (facturas, albaranes, ...), o legales. Auditados o verificados por tercera parte independiente.
Buena	Información necesaria relativa al dato de actividad completa, basada en registros internos, auditada externamente.

Suficiente	Calidad de los datos suficiente. La Información necesaria sobre el dato de actividad no se obtiene directamente, pero puede estimarse a partir de otros datos, o bien en caso de que exista alguna laguna en los datos éstos, puede estimarse a partir de extrapolaciones o contraste con otras fuentes de datos.
Insuficiente	La información sobre los datos de actividad no es completa o fiable, aunque puede hacerse una estimación razonable
Mala	No se dispone de registros sobre los datos de actividad, ni existe información que permita hacer una estimación razonable.

Tabla 3. Criterios de evaluación de la calidad de los datos.

Para aquellos sistemas más complejos, se recomienda realizar un **balance hídrico** en el que se incorporen todas las entradas y salidas de agua, haciendo más fácil la identificación de consumos. Resulta muy útil para aquellos sistemas en los que se pueden tener pérdidas de agua por fugas.

A continuación, se presenta un ejemplo de balance hídrico de un proceso de almacenamiento de agua:

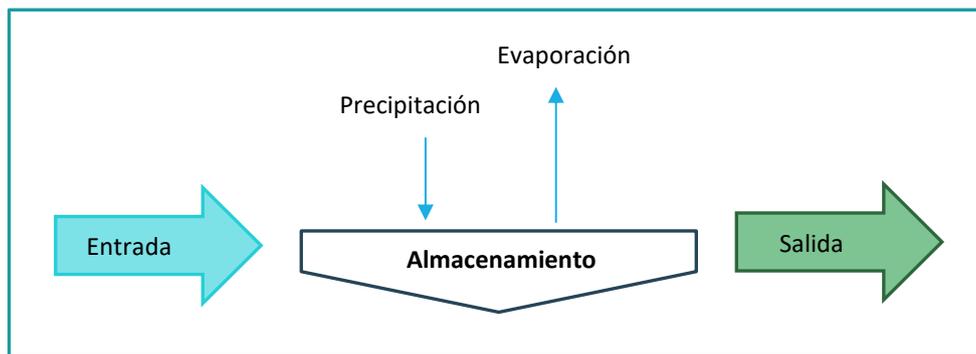


Figura 6. Balance hídrico de un proceso de almacenamiento de agua.

Para realizar una mejor gestión de la información, se recomienda elaborar un **inventario**, es decir, un registro en el que se recopilen todos los datos necesarios para el cálculo. El inventario puede realizarse en una hoja Excel, y puede estar organizado por procesos, y diferenciado por entradas y salidas directas o indirectas:

<i>Proceso</i>	<i>Flujo de entrada/ salida</i>	<i>Nombre del flujo</i>	<i>Descripción del flujo</i>	<i>Directo/ Indirecto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>

Tabla 4. Ejemplo de Inventario de datos.

Cálculo

La huella hídrica de una organización, servicio o producto es la suma de las huellas hídricas de todos los procesos que tienen lugar para el correcto desarrollo de una actividad o servicio, o para elaborar un producto (considerando toda la cadena de producción y de suministro).

A su vez, la huella hídrica es la suma de las tres componentes de la huella hídrica:

$$\text{Huella Hídrica} = \text{Huella Hídrica Azul} + \text{Huella Hídrica Verde} + \text{Huella Hídrica Gris}$$

Cada una de ellas tiene una fórmula de cálculo diferente. Se detalla a continuación:

Huella hídrica Azul (HHA)

La huella hídrica azul es un indicador del uso consuntivo del agua dulce superficial o subterránea, es decir, la denominada “agua azul”. Se obtiene mediante la suma de todos los **usos consuntivos** del agua dulce.

El término “consuntivo” se refiere a los siguientes conceptos:

1. El agua se **evapora**.
2. El agua se **incorpora a un producto**.
3. El agua **no regresa a la misma zona de captación**, se devuelve a otra cuenca, o al mar.
4. El agua se devuelve a la misma cuenca, pero **no en el mismo periodo temporal**. Por ejemplo, se extrae en un período seco y se devuelve en un período húmedo.

El uso consuntivo de agua no significa que el agua desaparezca, ya que el agua es un recurso renovable y permanece en el ciclo del agua; sin embargo, su disponibilidad no es ilimitada. La Huella Hídrica Azul mide la cantidad de agua disponible consumida en un período determinado, es decir, no devuelta inmediatamente a la misma cuenca de la que se captó.

La huella hídrica azul de un proceso se calcula de la siguiente forma:



Figura 7. Huella hídrica azul.

Por norma general, el componente más significativo suele ser la **evaporación**: agua que se evapora durante el almacenamiento (por ejemplo, la de balsas, tanques y embalses de agua artificial), el transporte (por ejemplo, desde tuberías o canales abiertos), un proceso industrial (por ejemplo, la evaporación de agua calentada que no se recoge) y el tratamiento, recogida y vertido (por ejemplo, de canales de drenaje y de plantas de tratamiento de aguas).

La **captación de agua de lluvia** es un caso particular, ya que podría discutirse si considerarse como agua azul o verde. Si el agua de lluvia no se capta, por lo general, ésta se convierte en escorrentía. Por ello, siempre que se hable de captación de agua de lluvia para proporcionar agua potable, agua para uso industrial, agua para el ganado o agua para riego, se recomienda considerar el agua de lluvia recolectada en el estudio de la huella hídrica azul. Si, por el contrario, se habla de la retención del agua en el suelo o de la retención de agua en los tejados verdes, el uso consuntivo de esta agua se situaría bajo la huella hídrica verde.

El agua azul consumida o **incorporada a un producto** engloba el consumo de agua directo e indirecto.

Los **flujos de agua no devueltos a la cuenca** son aquellos que se captan de una cuenca hidrográfica determinada y se vierten en una cuenca diferente a la de captación.

Por otro lado, el reciclaje y la reutilización de agua pueden ser decisivos en la reducción de la huella hídrica azul, siempre y cuando se logre reducir eficientemente el uso consuntivo del agua. A su vez, pueden ser decisivos para reducir la huella hídrica gris.

Los conceptos reciclaje y reutilización de agua, pueden definirse de la siguiente manera:

- **Reciclaje de agua:** Volumen total de agua que se vuelve a utilizar, en el mismo sitio, y para el mismo fin. Se diferencia el agua reciclada procedente de aguas residuales y el agua procedente del agua evaporada.
- **Reutilización de agua:** Volumen de agua que se vuelve a utilizar en otra parte, posiblemente, para un fin diferente.

En relación con la **huella hídrica azul indirecta**, tendremos consumo de agua indirecto asociado a los consumos principales de materia y energía. Esto significa que, al consumir determinados productos en nuestro sistema, estos llevan asociados un consumo de agua como consecuencia de su propio proceso productivo o de su análisis del ciclo de vida.

La huella hídrica azul indirecta se calcula multiplicando cada consumo de materia o energía por su factor de caracterización (cantidad de agua consumida para la producción de ese insumo). Estos factores pueden consultarse bibliográficamente, aunque las mejores fuentes sobre el consumo de agua azul en procesos de fabricación son los propios productores.

Para obtener la huella hídrica azul total se suman los consumos indirectos y directos.

Huella hídrica Verde (HHV)

La huella hídrica verde es un indicador del uso por parte del ser humano de la llamada “agua verde”. El agua verde es el agua de lluvia caída sobre la tierra, que no se transforma en escorrentía ni va a rellenar acuíferos subterráneos, sino que se almacena en el suelo o permanece temporalmente sobre el suelo y la vegetación. Con el tiempo, esta agua se evapora o es transpirada a través de las plantas.

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumido durante los procesos de producción. Es especialmente importante en los productos agrícolas y forestales. Se calcula como la suma del **agua de lluvia evapotranspirada** (AVE) desde los campos y las plantaciones y el **agua de lluvia incorporada** (AVi) a los cultivos o madera recolectados. Esto es:



Figura 8. Huella Hídrica Verde.

Como se comentó con anterioridad, si el agua de lluvia es almacenada y no se convierte en escorrentía superficial, la WFN considera el uso consuntivo de esta agua dentro de la huella

hídrica azul. Si se realizan técnicas para aumentar la capacidad de agua en el suelo o techos verdes para retener el agua de lluvia, el uso consuntivo de esta agua debe englobarse dentro de la huella hídrica verde.

Huella hídrica Gris (HHG)

La huella hídrica gris se define como el volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga contaminante vertida, basado en las concentraciones en condiciones naturales (Cnat) y en los estándares de calidad de agua existentes (Cmax).

El concepto de huella hídrica gris se ha desarrollado a partir de la aceptación de que la cantidad de contaminación se puede expresar en términos de volumen de agua necesaria para diluir los contaminantes hasta niveles de concentración no perjudiciales. No obstante, la huella hídrica gris no debe entenderse como una dilución de contaminantes, puesto que el objetivo de su cálculo debe ser reducir la emisión de contaminantes y no diluir la cantidad de los mismos.

La huella hídrica gris se calcula dividiendo la carga del contaminante entre la diferencia entre la norma de calidad ambiental del agua de ese contaminante (concentración máxima permitida) y la concentración natural de ese contaminante en la masa de agua receptora:

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{L}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Dónde:

- L, es la carga contaminante (masa/ tiempo).
- C_{max}, es la concentración máxima permitida (masa/ volumen).
- C_{nat}, es la concentración natural del medio receptor (masa/ volumen).

La concentración natural en una masa de agua receptora es la concentración en dicho medio que tendrá lugar si en su zona de captación no existe intervención por parte del hombre. Para sustancias de origen antrópico que de forma natural no están presentes en el agua Cnat=0. Cuando no se conocen con precisión las concentraciones naturales, pero se estima que sean bajas, para simplificar se puede asumir que Cnat=0.

Se utiliza como referencia la concentración natural y no la concentración real en la masa de agua receptora, ya que la huella hídrica gris es un indicador de la capacidad de asimilación de una masa receptora. La capacidad de asimilación de una masa de agua receptora depende de la diferencia entre el máximo permitido y la concentración natural de una sustancia. Si se comparase la concentración máxima permitida con la concentración real de una sustancia, se observaría la capacidad de asimilación restante.

Una huella hídrica gris mayor que cero no implica que los estándares de calidad están siendo traspasados, sino tan solo que parte de la capacidad de asimilación de la masa de agua receptora ya ha sido consumida.

Cuando se vierten productos químicos a una masa de agua superficial en forma de **vertido de aguas residuales**, se puede estimar la carga contaminante como la diferencia entre el agua vertida (Efl) por la concentración del contaminante en el efluente (Cefl), y el agua extraída (Extr)

por la concentración del contaminante (C_{real}), si es que existiera. Por tanto, se puede calcular la huella hídrica gris mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Efl \times C_{efl} - Extr \times C_{real}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

- L, es la carga del contaminante (masa/tiempo).
- Efl, es el volumen del efluente (volumen/ tiempo).
- C_{efl} , es la concentración del contaminante en el efluente (masa/ volumen).
- Extr, es el volumen de extracción del agua (volumen/ tiempo).
- C_{real} , es la concentración real del agua extraída (masa/ volumen).
- C_{max} , es la concentración máxima permitida (masa/ volumen).
- C_{nat} , es la concentración natural del medio receptor (masa/ volumen).

La carga del contaminante se define como la carga añadida a la ya existente en la masa de agua receptora. En la mayor parte de los casos, la cantidad de sustancias químicas presentes en la masa de agua vertida será igual o mayor a la cantidad de sustancias químicas presentes en el agua extraída.

En casos excepcionales, se puede obtener una carga negativa, que no se debe contar en la contabilidad de la huella hídrica, con el fin de separar la discusión de una posible compensación de las huellas hídricas positivas existentes. Por ello, en dicho caso, el resultado de la huella hídrica sería cero. El tratamiento de aguas residuales permite reducir la carga de contaminantes en el vertido, y por tanto permite reducir la huella hídrica gris.

Cuando el agua es extraída en una zona de captación, y el efluente es vertido en una zona de captación diferente, hay que considerar la extracción igual a cero para la contabilidad de la huella hídrica gris.

Cuando **no existe un uso consuntivo del agua**, es decir, cuando el volumen del efluente es igual al volumen de extracción, la ecuación anterior se simplifica, dando lugar a:

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{(C_{efl} - C_{real}) \times Efl}{C_{max} - C_{nat}}$$

Para calcular la **contaminación térmica** generada por un vertido, se pueden aplicar criterios similares a los utilizados para la contaminación por sustancias químicas. La huella hídrica gris se calcula como la diferencia entre la temperatura de una caudal efluente y la de la masa de agua receptora, dividido por el aumento de la temperatura máximo aceptable, multiplicado por el volumen del efluente:

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{(T_{efl} - T_{real}) \times Efl}{T_{max} - T_{nat}}$$

Dónde:

- Efl, es el volumen del efluente (volumen/ tiempo).

- T_{efl} , es la temperatura en el efluente (°C).
- T_{real} , es la temperatura de la masa de agua receptora (°C).
- $T_{max} - T_{nat}$, es el aumento de la temperatura máximo aceptable (°C).

El aumento de la temperatura máximo aceptable, depende del tipo de agua y de las condiciones locales. Si no existiese ningún valor de referencia establecido, se recomienda adoptar un valor por defecto de 3°C.

Cuando se producen **fuentes difusas de contaminación**, es decir, cuando llegan a los medios acuáticos sustancias químicas tras atravesar primero otros medios, como es el caso de los fertilizantes, o los productos fitosanitarios que se aplican al suelo y que una parte de ellos puede llegar al medio acuático, la ecuación es la siguiente:

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{a \times Apl}{C_{max} - C_{nat}}$$

Dónde:

- L , es la carga del contaminante (masa/tiempo).
- a , es la fracción del producto químico que llega a las aguas superficiales o subterráneas.
- Apl , es la cantidad del producto químico aplicada (masa/ tiempo).
- C_{max} , es la concentración máxima permitida (masa/ volumen).
- C_{nat} , es la concentración natural del medio receptor (masa/ volumen).

La cantidad de producto químico aplicado al suelo (por ejemplo, fertilizante) es conocida, pero la fracción que tras su aplicación llega a las aguas superficiales o subterráneas no se puede medir. Por ello, no queda más remedio que estimarla. Para fertilizantes nitrogenados, de acuerdo con *Chapagain et al. (2006b)*, se puede suponer que existe un 10% de lixiviación.

Cabe resaltar, que para todos los casos descritos en este apartado, es necesario tener en cuenta solo el **contaminante más crítico**, es decir, el que dé lugar al mayor volumen de agua según la fórmula anterior.

ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA HUELLA HÍDRICA

La sostenibilidad se define como la capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas. En esencia, el análisis de la sostenibilidad debe indicar si la huella hídrica se encuentra dentro de los límites que los recursos hídricos pueden soportar de forma sostenible.

La huella hídrica no es más que un indicador volumétrico sobre consumo de agua dulce directo e indirecto producido en un lugar y tiempo determinado por un proceso, la elaboración de un producto o una actividad.

Para que ofrezca información de mayor valor es necesario compararla, con criterios tales como el volumen y calidad de los recursos hídricos disponibles en el momento y lugar de producción. En definitiva, se trata de analizar si el uso de agua es sostenible desde el punto de vista ambiental, eficiente en el uso de los recursos y equitativo.

La sostenibilidad de la huella hídrica de un producto u organización depende de las características que presenten en cuanto a ubicación, duración, tamaño de la huella hídrica, condiciones del área geográfica en la que se encuentren, etc. Además, resulta imprescindible tener en cuenta tanto aspectos **medioambientales**, como **sociales** y **económicos**.

En términos generales, el objetivo de evaluar la huella hídrica es analizar, cómo las actividades humanas o productos específicos se relacionan con los problemas de escasez de agua y la contaminación, y ver cómo estas actividades y productos pueden ser más sostenibles desde el punto de vista hídrico.

PERSPECTIVA AMBIENTAL

Para analizar la sostenibilidad ambiental de la huella hídrica resulta crucial evaluar los impactos producidos sobre los recursos hídricos. Para ello, hay que realizar el cálculo de 3 importantes impactos:

- La escasez de agua azul
- La escasez de agua verde
- El nivel de contaminación del agua (asociado con la huella hídrica gris)

Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica azul

Para alcanzar la sostenibilidad ambiental, es necesario no sobrepasar los límites máximos sostenibles de un recurso.

Para medir el grado de sostenibilidad, se utiliza la **escasez de agua azul**, indicador que compara la huella hídrica azul con el agua realmente disponible para uso. Cuando la huella hídrica es mayor que la cantidad de agua dulce disponible, no se cumplen los flujos ambientales, por tanto, con el tiempo los ecosistemas de agua dulce terminarían degradándose.

Para determinar la escasez de agua y la sostenibilidad de la huella hídrica azul, es ineludible conocer la **disponibilidad real de agua en la cuenca** que dota de este recurso a la organización o zona de captación. Para ello se aplica la siguiente Ecuación:

$$DA_{Azul} = E_{nat} - CME$$

Dónde:

- DA_{Azul} : Disponibilidad real de agua azul (volumen/tiempo).
- E_{nat} : Escorrentía o Disponibilidad natural de agua en la cuenca.
- CME: Caudal mínimo ecológico.

La **escorrentía o disponibilidad natural de agua en la cuenca**, hace referencia a los recursos hídricos disponibles antes de la intervención humana.

El **caudal mínimo ecológico** o requisito de flujo ambiental se refiere a la cantidad necesaria de agua para que los ecosistemas y las necesidades básicas humanas se mantengan. Varía en función del estado de la cuenca que depende tanto del estado ecológico y químico de las aguas superficiales como del estado cuantitativo y químico de las aguas subterráneas.

Para conocer los **recursos hídricos disponibles** en la cuenca de estudio, se deberán descontar las restricciones medioambientales por caudales ecológicos.

Los datos de escorrentía natural y Requisito de flujo ambiental de cada cuenca pueden obtenerse de forma bibliográfica, de información facilitada por entidades públicas o incluso a través de estudios propios. Por ejemplo, en los Planes Hidrográficos de cada Demarcación hidrográfica.

El impacto que produce la huella hídrica de una organización o producto, siempre dependerá de la suma de las huellas hídricas de todas las actividades de la cuenca en relación con los recursos disponibles de agua y su capacidad de asimilación.

Con el fin de conseguir un indicador de sostenibilidad más representativo, se calcula el **Índice de escasez de agua azul** comparando la huella hídrica azul con la disponibilidad real de agua azul:

$$EA_{Azul} = \frac{HHA}{DA_{Azul}}$$

Dónde:

- EA_{Azul} : Índice de escasez de agua azul.
- HHA: Huella hídrica azul (volumen/tiempo).
- DA_{Azul} : Disponibilidad real de agua azul.

Cuanto mayor sea el Índice de escasez de agua azul, mayor es la situación de insostenibilidad desde el punto de vista ambiental.

Lo más ideal es calcular el índice de escasez por meses para poder identificar los hotspots, es decir, los meses del año en los cuales la situación es más insostenible y por tanto, requiere una mayor atención.

Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica verde

El análisis de sostenibilidad de la huella hídrica verde, busca cuantificar si la huella hídrica verde excede la disponibilidad de agua verde para uso humano en ella.

La **disponibilidad de agua verde** en la cuenca durante un periodo de tiempo dado se define como:

$$DA_{Verde} = ET_{Verde} - ET_{veg} - ET_{improd}$$

Dónde:

- DA_{Verde} : Disponibilidad de agua verde.
- ET_{Verde} : Evapotranspiración total del agua de lluvia almacenada en el suelo.
- ET_{veg} : Evapotranspiración del agua del suelo reservado para la vegetación natural.
- ET_{improd} : Evapotranspiración en zonas no productivas.

Todas las variables son expresadas en términos de volumen/tiempo.

La **escasez de agua verde** se define como la relación entre la huella hídrica verde total y la disponibilidad de agua verde:

$$EA_{Verde} = \frac{HHV}{DA_{Verde}}$$

Dónde:

- EA_{Verde} : Índice de escasez de agua verde.
- HHV : Huella hídrica verde (volumen/tiempo).
- DA_{Verde} : Disponibilidad de agua verde.

La escasez de agua verde está íntegramente relacionada con los usos del suelo. Si se llevan a cabo actividades productivas en zonas que deberían ser protegidas, en términos hídricos, el agua que se emplea para la producción, por ejemplo, agrícola, está dejando de emplearse para el ecosistema.

Cuanto mayor sea el Índice de escasez de agua verde, mayor es la situación de insostenibilidad.

Análisis de Sostenibilidad ambiental de la huella hídrica gris

Al considerar la sostenibilidad ambiental desde el punto de la calidad del agua, resulta ideal calcular el nivel de contaminación del agua. Para ello, se compara la huella hídrica gris con la capacidad de asimilación disponible. Si la huella gris es mayor que el grado de asimilación, se está vulnerando la capacidad del ecosistema de depurar por sí solo la contaminación hídrica generada.

El cálculo del **nivel de contaminación** se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$NCA = \frac{HHG}{E_{real}}$$

Dónde:

- NCA : Nivel de contaminación del agua.
- HHG : Huella hídrica gris (volumen/tiempo).
- E_{real} : Escorrentía real en la cuenca.

Como se explicó anteriormente, la disponibilidad natural de agua en la cuenca (Rnat), hace referencia a los recursos hídricos disponibles antes de la intervención humana.

PERSPECTIVA SOCIAL

Desde un punto de vista más social, la sostenibilidad de la huella hídrica se relaciona con un **reparto equitativo de agua**, los **efectos externos**, el **empleo** y la **salud humana**.

La huella hídrica de una cuenca debe ser repartida de forma equitativa entre los diferentes usuarios y los diferentes sectores. En una escala global esto toma mayor relevancia puesto que algunos consumidores tienen una huella hídrica mucho mayor que otros, y los recursos de agua dulce a nivel mundial son limitados.

También existen efectos externos. Normalmente los costes por consumo y contaminación de los consumidores ubicados aguas arriba de una cuenca hidrográfica no compensan a la población ubicada aguas abajo.

En cuanto al empleo, en muchas regiones, sectores como por ejemplo el de la agricultura conducen a la sobreexplotación de los recursos hídricos disponibles. Este tipo de Huella hídrica debe reducirse, pero puede ser que sea a costa del empleo regional, hecho no deseado.

Por último, la huella hídrica gris puede influir en la salud humana, tanto en el punto de vertido como aguas abajo.

PERSPECTIVA ECONÓMICA

El impacto económico está relacionado directamente con la eficiencia en el uso de agua. Cuando el agua no se asigna y usa de una manera económicamente eficiente se genera un punto crítico económico.

Interesa calcular la **productividad aparente del agua azul**. Este indicador da información sobre los ingresos económicos por metro cúbico de agua consumida. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$PA_{Azul} = \frac{P}{HHA}$$

Dónde:

- PA_{Azul} : Productividad aparente del agua azul.
- P: Precio de mercado por unidad funcional.
- HHA: Huella hídrica azul por unidad funcional.

El precio hace referencia al precio de mercado brindado al productor, con el fin de eliminar el valor añadido debido a la comercialización y procesos industriales. Se expresa en euros por unidad funcional, por ejemplo, euros/kg de producto, euros/unidad de producto, euros/ servicio etc.

CÁLCULO DE LA HUELLA DE AGUA

PRINCIPIOS

Los principios que deben guiar el cálculo de la huella de agua se indican a continuación:

- **Enfoque de ciclo de vida:** Para el cálculo de la huella de agua se consideran todas las etapas del ciclo de vida del sistema de producto, desde la extracción, procesamiento y obtención de materias primas, la producción del producto, el transporte, aguas arriba y aguas abajo, hasta su gestión como residuo al final de la vida útil.
- **Enfoque ambiental:** La evaluación de la huella de agua evalúa los posibles impactos ambientales relacionados con el agua, asociados a un producto, proceso u organización.
- **Referencia a la unidad funcional:** Una evaluación de la huella de agua se relaciona con su unidad funcional, de modo que, todos los datos empleados para el cálculo, así como, los resultados obtenidos deben estar referidos a la unidad funcional seleccionada.
- **Enfoque iterativo:** El estudio de la huella de agua es una técnica iterativa, lo que contribuye a la integridad y coherencia del estudio y de los resultados obtenidos.
- **Transparencia:** Se debe exponer y documentar con transparencia la información necesaria y apropiada sobre el estudio de huella de agua.
- **Relevancia:** Se deben elegir datos y métodos adecuados para la evaluación de la huella de agua.
- **Integridad:** Se han de añadir en el inventario todos los datos que tengan una contribución significativa en la huella de agua.
- **Consistencia:** Las hipótesis, datos y métodos utilizados deben aplicarse siempre de la misma manera. De este modo, los resultados obtenidos serán acorde al objetivo y alcance definido.
- **Precisión:** En la evaluación de la huella de agua se busca que la incertidumbre de los datos y resultados sea lo más baja posible.
- **Enfoque científico:** La toma de decisiones debe basarse en criterios físicos, químicos o biológicos. Se deberá evitar la toma de decisiones basada en criterios de precio.
- **Exhaustividad:** Se deben evaluar exhaustivamente todos los aspectos relacionados con el agua que tengan relevancia para el caso de estudio.

FASES DE LA HUELLA DE AGUA

La evaluación de la huella de agua de acuerdo con la norma ISO 14046:2014 debe incluir las cuatro fases de todo análisis de ciclo de vida:



Figura 9. Fases de una evaluación de la huella de agua.

En la primera fase, se deben **establecer los objetivos y alcance del estudio**, es decir, especificar por qué y para qué se quiere realizar el estudio, y definir el alcance y límites del sistema.

La fase 2 de **análisis del inventario** incluye la identificación y cuantificación de todas las entradas y salidas directas e indirectas de agua generadas a lo largo del ciclo de vida. En esta fase se procede a recopilar y/o cuantificar los datos necesarios para realizar los cálculos.

En la fase 3 de **evaluación del impacto** se cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua. Para ello, primeramente, deberán definirse las categorías de impacto objeto de estudio.

Finalmente, la fase 4 de **interpretación de los resultados**, se basa en identificar las cuestiones significativas y conclusiones de los resultados obtenidos en la fase de evaluación del impacto.

DEFINICIÓN DE OBJETIVO Y ALCANCE

Establecer el objetivo

Al igual que en un estudio de huella hídrica, en la evaluación de la huella de agua deben establecerse claramente objetivos.

Desde el primer momento se debe especificar en qué tipo de huella de agua se quiere trabajar:

- Huella de agua de un producto
- Huella de agua de un servicio
- Huella de agua de una organización

Una vez definido el tipo de huella, es necesario indicar:

- Las aplicaciones previstas.
- Las razones para realizar el estudio.
- A qué público se dirige la huella de agua, si se van a comunicar los resultados y por qué medio piensa hacerse.
- Si es un estudio sólo de huella de agua o si forma parte de un análisis de ciclo de vida completo.

Definir el alcance

Este paso es prácticamente común al estudio de huella hídrica, por ello, a continuación, se exponen de forma resumida los aspectos a tener en cuenta para determinar el alcance:

1. Escoger el **periodo de tiempo** a considerar.
2. Establecer un **año base**.
3. Determinar la **unidad funcional**. Todas las entradas y salidas del sistema analizado han de estar referidas a la unidad funcional seleccionada.
4. Establecer los **criterios de corte**. Se define hasta qué nivel de información se tomará en cuenta.
5. Definir los **criterios de asignación**. En la mayoría de las ocasiones, no se tiene una línea productiva simple, en donde las materias primas se transforman en un solo producto, sino que generalmente se producen más de un producto. Esto implica realizar una distribución del uso de recursos y flujos de entrada y salida entre los productos

fabricados. Para esto se utilizan criterios de asignación, que asignan las cargas ambientales entre los productos de un proceso o sistema definidos.

6. Determinar los **límites del inventario**. Se debe establecer qué se incluye y qué no se incluye en el estudio. Para ello, se han de detallar las etapas, procesos y flujos a considerar en la evaluación de la huella hídrica.
7. Indicar la **metodología de evaluación** de impactos de la huella de agua y las **categorías de impacto** elegidas.
8. Especificar si los resultados de la evaluación de impactos de la huella de agua incluirán un solo **indicador de impacto** (especificando cuál) o un perfil de la huella de agua.

ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LA HUELLA DE AGUA

Se deben cuantificar todas las **entradas y salidas** relevantes del sistema analizado que puedan contribuir de manera significativa a los impactos ambientales relacionados con el uso del agua.

Los datos relacionados con el agua que deben recopilarse son:

- Las entradas y salidas directas de agua.
- Los tipos de recursos de agua utilizada: precipitación, agua de mar, agua superficial etc.
- Los parámetros y características que describen la calidad del agua.
- Las formas de uso del agua: evaporación, transpiración, integración en el producto etc.
- Localización geográfica del uso del agua o del agua cuya calidad se ve afectada.
- Los aspectos temporales del uso de agua.
- Las entradas de materias primas e insumos de procesos.
- Las entradas de energía (electricidad y combustibles).
- Las salidas de productos.
- Los transportes.
- La generación de residuos.
- Las emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo que puedan alterar la calidad del agua.

Las decisiones sobre los datos a incluir en el estudio deben basarse en un análisis de sensibilidad realizado para determinar su significancia, comprobando si las hipótesis iniciales sobre el alcance del sistema son adecuadas o no.

Una vez, obtenidos los datos de entradas y salidas del sistema analizado, estos datos se han de referenciar a la **unidad funcional**. Es decir, para cada flujo se calcula la cantidad requerida para producir la unidad funcional.

La etapa de análisis de inventario o recopilación de información requiere tiempo y recursos, debido a la gran cantidad de datos que se necesita recoger y a que en la mayoría de los casos pueden no estar medidos o cuantificados.

Para realizar una mejor gestión de la información, se recomienda elaborar un **inventario**, es decir, un registro en el que se recopilen todos los datos necesarios para el cálculo. En este registro, se ordena la información, clasificándola en entradas y salidas directas e indirectas de agua e identificando para cada flujo su fuente de extracción, cuerpo receptor de descarga y uso dado.

La **calidad** de los resultados del estudio de huella hídrica está directamente relacionada con la calidad del inventario utilizado. Siempre que sea posible se han de utilizar datos primarios. Si no se dispusiera de información primaria, se optaría por la estimación de dicho valor. Se recomienda que siempre que se pueda, los datos procedan de facturas, albaranes, caudalímetros, hojas de control verificadas por la propia entidad, etc.

Es necesario que los datos sean validados durante el proceso de recopilación. La validación puede implicar, por ejemplo, realizar balances de agua y/o análisis comparativo de liberación en agua.

Para determinar la calidad del dato recopilado se pueden establecer los siguientes criterios:

<i>Calidad</i>	<i>Descripción</i>
Muy buena	Registros contables (facturas, albaranes, ...), o legales. Auditados o verificados por tercera parte independiente.
Buena	Información necesaria relativa al dato de actividad completa, basada en registros internos, auditada externamente.
Suficiente	Calidad de los datos suficiente. La Información necesaria sobre el dato de actividad no se obtiene directamente, pero puede estimarse a partir de otros datos, o bien en caso de que exista alguna laguna en los datos éstos, puede estimarse a partir de extrapolaciones o contraste con otras fuentes de datos.
Insuficiente	La información sobre los datos de actividad no es completa o fiable, aunque puede hacerse una estimación razonable
Mala	No se dispone de registros sobre los datos de actividad, ni existe información que permita hacer una estimación razonable.

Tabla 5. Criterios de evaluación de la calidad de los datos.

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA HUELLA DE AGUA

La evaluación del impacto de la huella de agua debe cumplir las normas ISO 14044 e ISO 14046.

Los impactos relacionados con el agua se pueden representar por uno o más parámetros que cuantifiquen los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto, proceso u organización.

El término huella de agua solo se debe utilizar para describir el resultado o los resultados de una evaluación íntegra de la huella de agua. Si los impactos potenciales relacionados con el agua no se evalúan integralmente, el término huella de agua solo debe utilizarse con un calificativo. Por ello, es necesario determinar cuáles de estos parámetros se van a estudiar.

El primer paso es seleccionar las **categorías de impacto e indicadores de categoría** objeto de estudio. La selección de las categorías e indicadores de impacto debe ser coherente con el objetivo y el alcance definido, teniendo en cuenta los impactos ambientales potenciales ocasionados por los cambios en la cantidad y/o calidad del agua.

Cada categoría de impacto, ejemplo eutrofización del agua dulce, precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de categoría. A continuación, se presentan algunos ejemplos:

<i>Categoría de impacto</i>	<i>Indicadores de categoría</i>	
	Unidad de medida	Descripción
Eutrofización del agua dulce	kg P eq	Emisión de fósforo equivalente al agua dulce. Expresada como el grado en que los nutrientes emitidos llegan al agua dulce (el fósforo es considerado como factor limitante en agua dulce).
Eutrofización marina	kg N eq	Emisión de nitrógeno equivalente al mar. Expresada como el grado en que los nutrientes emitidos llegan al mar (el nitrógeno es considerado como factor limitante en el agua marina).
Ecotoxicidad del agua dulce	kg 1,4-DB eq	Liberación de 1,4-diclorobenceno al agua dulce. Expresada como los impactos tóxicos que afectan al agua dulce, provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	Liberación de 1,4-diclorobenceno al agua marina. Expresada como los impactos tóxicos que afectan al agua marina, provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.
Agotamiento de los recursos hídricos	m ³ eq	Escasez de agua dulce. Expresada como la cantidad escasa de agua utilizada, medido en m ³ de agua equivalente.

Tabla 6. Categorías de impacto e indicadores de categoría.

Existen numerosos indicadores de categoría y resulta fundamental que el nombre del indicador de categoría de impacto sea lo suficiente explícito como para expresar con claridad a qué mecanismo ambiental se refiere.

Si el cálculo de la huella de agua se basa en categorías de impacto diferentes, los resultados del inventario deben asignarse a estas categorías de impacto diferentes.

Una vez definidos las categorías e indicadores de impacto, debe describirse el **modelo de caracterización** que relaciona los datos recopilados en el inventario de huella hídrica con el indicador de cada categoría y proporciona la base para los factores de caracterización.

Mediante los **factores de caracterización**, se convierten los datos de actividad (referenciados a la unidad funcional establecida) a unidades del indicador.

La elección de los métodos de caracterización y los factores para cada categoría de impacto evaluada se deben explicar y justificar.

Una vez obtenidos los resultados, se han de identificar los aspectos más relevantes: procesos con una contribución significativa a la huella de agua, mecanismos ambientales más afectados, flujos que tienen una mayor contribución a los resultados de la evaluación de la huella de agua, así como, las conclusiones y limitaciones de la evaluación de la huella de agua.

PLAN DE MEJORA

ELABORACIÓN DEL PLAN DE MEJORA

La huella hídrica y la huella de agua sirven para tener un valor de referencia del uso del agua, así como, de los impactos derivados de ese uso con el fin de establecer unos objetivos de mejora o reducción. Es difícil gestionar y mejorar una actividad si no se dispone de una medición comparable y objetiva que la defina.

El Plan de mejora sirve para definir de una forma más precisa medidas de reducción y mejoras en la calidad de los datos utilizados.

Para ello, resulta crucial analizar minuciosamente los resultados e identificar aquellos procesos y flujos directos e indirectos que tienen un mayor consumo, y a su vez un mayor impacto.

Una vez identificados los flujos objeto de mejora y reducción, se seleccionarán una serie de medidas a aplicar a medio, corto o largo plazo.

Es fundamental que para la puesta en marcha del Plan la empresa planifique las acciones, estableciendo un calendario y responsables para la implantación de cada una de las medidas.

En todo plan de mejora es necesario tomar un año de referencia (año base) con el objeto de poder computar las reducciones realizadas en referencia a dicho año.

La comunicación interna es clave para lograr sumar el compromiso de los empleados y así, alcanzar más eficazmente los objetivos. Los clientes y otros grupos de interés también valorarán positivamente estas acciones.

Además, se deben de revisar los objetivos periódicamente para garantizar que las posibles desviaciones son corregidas. La mejora continua es la mejor opción para garantizar el mínimo consumo de recursos hídricos y la menor contaminación de estos.

MEDIDAS DE REDUCCIÓN

A continuación, se presenta una serie de medidas que pueden servir de orientación sobre las posibilidades existentes. Es importante destacar que la implantación de estas medidas, además de lograr reducir el consumo y la contaminación de los recursos hídricos, así como, los impactos relacionados con el uso del agua, contribuirá a reducir costes asociados al consumo, bien sea, por una optimización del uso de las instalaciones o por la sustitución de equipamientos más eficientes en términos de eficiencia hídrica.

Si bien las medidas a implantar pueden tener características particulares en función del sector concreto al que pertenezca la empresa, se pueden establecer una serie de recomendaciones generales:

- Reducir el consumo de insumos: combustibles fósiles, reactivos, fertilizantes etc.
- Reducir pérdidas por evaporación en balsas y depósitos descubiertos cubriendo su superficie.
- Reutilizar aguas de proceso para otros usos, reduciendo así el consumo de agua.
- Buscar el vertido cero.

- Formar al personal de la organización sobre el uso responsable del recurso agua y sobre la huella hídrica.
- Sensibilizar al personal de la importancia de recurso agua.
- Gestionar adecuadamente las aguas pluviales.
- Colocar difusores, reductores de presión de agua en los grifos y duchas.
- Sustituir los sistemas de refrigeración de agua en abierto por otros sistemas más eficientes y de menor consumo de agua.
- No descuidar las instalaciones asociadas al agua, ya que las pérdidas de agua por este motivo pueden ser importantes.
- Utilizar dispositivos ahorradores de agua en las cisternas del W.C. (Mecanismos de doble descarga).
- Regar los cultivos y/o zonas verdes a primera hora de la mañana o al atardecer, para evitar que el agua se evapore. Si es posible, hacerlo con agua reciclada.
- Instalar sistemas de riego automático con sensores de lluvia que interrumpan el riego cuando llueva, con el objeto de utilizar el agua de lluvia.
- El mantenimiento preventivo y las revisiones periódicas suponen un ahorro importante al evitar y prevenir incidentes y reparaciones de daños por fugas de agua de mayor calado.
- Reducir la carga contaminante del vertido por ejemplo mediante sistemas de depuración avanzados.
- Buena gestión del control y la documentación referente al agua.
- Mejorar la medición de los flujos de entrada y salida de agua en determinados procesos mediante por ejemplo la implantación de caudalímetros.

INFORME DE HUELLA HÍDRICA Y HUELLA DE AGUA

El informe de huella hídrica y de huella de agua es el documento donde se reflejan los elementos fundamentales de la huella hídrica o huella de agua de la organización o producto (resultados, factores de conversión utilizados, límites, etc). Es necesario advertir que todos los datos aportados habrán de estar documentados y los cálculos deberán de realizarse según procedimientos oficiales tales como los que se describen en la presente guía.

INFORME DE HUELLA HÍDRICA

El informe de huella hídrica permite informar públicamente de los resultados de su huella hídrica azul, verde y gris. La información contenida en él debe ser relevante, completa, consistente, precisa y transparente.

El contenido del informe de huella hídrica debe ser al menos el siguiente:

- Breve **descripción de la organización/empresa**.
- **Periodo** para el que se calcula la huella hídrica.
- Explicación de los **objetivos y alcance**.
- **Unidad funcional** específica.
- **Huella hídrica total** y desglose de la huella hídrica en **huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris, directa e indirecta**.
- Explicación de cualquier **exclusión en el cálculo**.
- **Año Base** o Referencia temporal para el análisis a lo largo del tiempo.
- **Evolución de la huella hídrica** en base a la referencia temporal seleccionada.
- Explicación de **cambios en la referencia temporal**, si los hubiera.
- **Referencia de las metodologías** empleadas.
- Explicación de cualquier **cambio en las metodologías** empleadas previamente, si los hubiera, y **recálculos** realizados en su caso.
- **Referencia de los factores de conversión** empleados para el cálculo de los consumos indirectos de agua en la huella hídrica azul.
- **Análisis de la sostenibilidad** de la huella hídrica (Opcional).
- Información acerca del **Plan de mejora**.

INFORME DE HUELLA DE AGUA

El informe de huella de agua tal y como indica la norma ISO 14046, debe contemplar los siguientes aspectos:

- Breve **descripción de la organización/empresa**.
- **Fecha** del informe.

- **Declaración** de que el estudio se ha realizado **conforme** a los requisitos de la norma **ISO 14046**.
- **Objetivo** del estudio.
- **Periodo** para el que se calcula la huella de agua.
- **Alcance del estudio** incluyendo unidad funcional, límites del sistema y criterios de corte.
- **Justificación de cualquier modificación** hecha al alcance inicial.
- **Procedimiento de recopilación** de datos.
- Descripción cualitativa y cuantitativa de los **procesos**.
- **Fuentes de datos**.
- Requisitos y evaluación de la **calidad de los datos**.
- **Análisis de sensibilidad** para ajustar los límites del sistema.
- Principios y procedimientos de **asignación**.
- **Procedimiento de cálculo**.
- **Cálculos y resultados** de la evaluación del impacto.
- **Limitaciones**.
- Descripción de las **categorías de impacto e indicadores de categoría** considerados.
- Descripciones y referencias de los **modelos de caracterización, factores de caracterización y métodos utilizados**.
- **Interpretación** de resultados y conclusiones
- **Año Base** o Referencia temporal para el análisis a lo largo del tiempo.
- **Comparativa** de resultados.

CASO PRÁCTICO SIMPLIFICADO

Una empresa del sector agroalimentario que se dedica a la producción de pepino y desea calcular la huella hídrica de su producto para la campaña del año 2019.

Su actividad contempla el cultivo de pepinos en invernadero, el regadío durante la producción, la recogida de pepinos, preparación, limpieza y envasado del producto.

ASPECTOS GENERALES

Para el cálculo de la huella hídrica es necesario establecer:

- **Límite de la organización:** la organización es propietaria absoluta de todas las operaciones que realiza.
- **Estándar:** Water Footprint Network.

El estudio tiene por objeto determinar el uso de agua asociado a la producción de pepinos (único producto), abarcando desde el cultivo en invernaderos, riego, recogida, limpieza, preparación y envasado. Se desestima el proceso por el cual se consiguen las semillas ya que no es significativo.

ALCANCE

- **Tipo de huella hídrica:** Huella hídrica de **organización**.
- **Unidad Funcional:** se define como unidad funcional el total de toneladas de pepinos producidos durante la campaña agrícola. La producción total anual de la planta es de **378 toneladas**.
- **Dimensión temporal:** el período temporal para el estudio es de 12 meses y comprende de septiembre a agosto de 2021-2022. La empresa está ubicada en el sur de la provincia de Loriguilla, Valencia.
- **Límites del sistema:** Se han considerado las áreas de cultivo de pepinos, el riego, la recogida, el acabado y/o lavado y el envasado. A continuación, se detallan las principales fases del proceso, desde el cultivo de pepinos hasta la recepción del producto en los almacenes de la propia organización:



Figura 10. Mapa de procesos.

El estudio **excluye** las etapas de acopio de semillas y la infraestructura utilizada de la planta de producción, al no formar parte del control operacional de la organización.

- **Criterio de corte:** Para el análisis de la cadena de suministros, se aplicó una regla de corte bajo el criterio de cantidad y valor (el producto de ambos), para discriminar aquellos insumos cuya representación no alcance el 1% del total. Para la aplicación de esta regla se consideró el 100% de insumos consumibles adquiridos durante el período de estudio.

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

$$\text{Huella hídrica azul} = \text{Agua azul evaporada} + \text{Agua azul consumida} + \text{Flujos de agua no devueltos a la cuenca}$$

Agua azul evaporada

La organización cuenta con una balsa de almacenamiento de agua para riego con una superficie de 400 m².

Al tratarse de agua expuesta directamente a la intemperie, se produce un consumo de agua por evaporación.

Para calcular la evaporación producida en una balsa no cubierta, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$ET = ET_0 \times S \times 10$$

Dónde:

- ET₀ es la evapotranspiración de la zona de estudio (obtenida de la estación meteorológica más próxima) (mm) = 1.300 mm.
- S es la superficie de la balsa (ha) = 0,04.
- 10 es una constante para pasar mm a m³.

Por tanto, para producir 378 toneladas de pepinos en la campaña 21/22, la organización consumió **520 m³ debidos a la evaporación de agua en la balsa.**

Agua azul consumida

El consumo directo de agua azul es igual a:

<i>Consumo directo</i>	<i>m³</i>
<i>Agua para el cultivo</i>	24.500,00
<i>Agua potable</i>	120,00
<i>Agua destilada</i>	1,00
Total	24.621,00

Tabla 7. Consumos directo de agua azul.

En total, el **consumo directo de agua** suma **24.621 m³**

Para calcular el consumo indirecto de agua, es necesario identificar los principales consumos de materia y energía producidos durante el periodo de estudio:

Consumo indirecto	Unidad	Consumo
<i>Fertilizantes químicos NPK (12:32)</i>	t	65,00
<i>Cajas de cartón</i>	t	16,69
<i>Plástico</i>	t	1,40
<i>Electricidad</i>	kWh	16.450,00
<i>Diésel</i>	kg	338,00

Tabla 8. Principales consumos indirectos.

Estos consumos llevan asociados un consumo de agua por su propia producción. El consumo indirecto de agua asociado al uso de estos materiales se obtiene multiplicando el dato de consumo anual por un factor de conversión.

Los factores de conversión utilizados y aquí mostrados se han calculado a partir de la información disponible en la Base de datos Ecoinvent entre otras fuentes bibliográficas, de acuerdo con el tipo, procedencia y año de consumo.

Consumo indirecto	Unidad	Factor de caracterización	Trazabilidad
<i>Fertilizantes químicos NPK (12:32)</i>	m ³ /t	5,21	Tata industrial water footprint assessment : results and learning
<i>Cajas de cartón</i>	m ³ /kg	0,0053	Ecoinvent. Corrugated board box {RER} market for APOS, U
<i>Plástico</i>	m ³ /kg	3,85	Ecoinvent. Polystyrene, general purpose {RER} production APOS, U
<i>Electricidad</i>	m ³ /kWh	0,0306	Ecoinvent. Electricity, medium voltage {ES} market for APOS, U
<i>Diésel</i>	m ³ /kg	0,00594	Ecoinvent. Diesel {Europe without Switzerland} market for APOS, U

Tabla 9. Factores de caracterización para el cálculo de la huella hídrica azul indirecta.

Finalmente, se presentan los consumos indirectos de agua:

Consumo indirecto	m³
<i>Fertilizantes químicos NPK (12:32)</i>	338,65
<i>Cajas de cartón</i>	88,46
<i>Plástico</i>	5.390,00
<i>Electricidad</i>	503,37
<i>Diésel</i>	2,01
Total	6.322,48

Tabla 10. Consumos indirectos de agua azul.

Se obtiene que el **consumo indirecto** total de agua es igual a **6.322,48 m³**.

Flujos de agua no devueltos a la cuenca

No existen flujos de agua devueltos a una cuenca diferente a la de origen o en un periodo de tiempo diferente.

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA VERDE

Sectores como el de la agricultura suelen ser grandes consumidores de agua verde, sin embargo, para el caso de estudio, no existe huella hídrica verde ya que el cultivo se hace bajo invernadero y no se consume agua de lluvia.

CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS

Según el manual de WFN Sólo se calcula a nivel de nutrientes que llegan al acuífero por fertilizantes, no insecticidas. El contaminante de concentración mayoritaria para todos los fertilizantes es el N.

$$\text{Huella Hídrica Gris} = \frac{L}{C_{\max} - C_{\text{nat}}} = \frac{a \times Apl}{C_{\max} - C_{\text{nat}}}$$

Dónde:

- L, es la carga del contaminante (masa/tiempo).
- a, es la fracción del producto químico que llega a las aguas superficiales o subterráneas.
- Apl, es la cantidad del producto químico aplicada (masa/ tiempo).
- C_{max}, es la concentración máxima permitida (masa/ volumen).
- C_{nat}, es la concentración natural del medio receptor (masa/ volumen).

Es necesario tener en cuenta solo el **contaminante más crítico**, es decir, el que dé lugar al mayor volumen de agua según la fórmula anterior.

En el caso de estudio, al tratarse de fertilizantes nitrogenados, el contaminante mayoritario es el nitrógeno (22% de la composición total del fertilizante).

Como se indica en la ecuación anterior, la cantidad de nitrógeno lixiviado se calcula, multiplicando la cantidad de fertilizante aplicado por la fracción del producto químico que llega a las aguas subterráneas o superficiales.

La cantidad de producto químico aplicado al suelo (por ejemplo, fertilizante) es conocida, pero la fracción que tras su aplicación llega a las aguas superficiales o subterráneas no se puede medir. Por ello, no queda más remedio que estimarla. Para fertilizantes nitrogenados, de acuerdo con *Chapagain et al. (2006b)*, se puede suponer que existe un **10% de lixiviación**.

En el periodo analizado, el consumo de fertilizante alcanzó un valor de 65 t, por tanto, el valor de la **lixiviación o esorrentía de nitrógeno hacia masas de agua** es igual a **6,5 t/año**.

Para la norma de la calidad ambiental del nitrógeno, se han tomado 10 mg/l (medidos como N). Este límite se utiliza para calcular el volumen necesario de agua dulce para asimilar la carga de

contaminantes. Por falta de información, se considera que la concentración natural en la masa de agua receptora es cero.

A continuación, se presenta el cálculo de la huella hídrica gris:

Fertilizante	Lixiviación o escorrentía de nitrógeno hacia masas de agua (t/año)	C _{max} (mg/l)	C _{nat} (mg/l)	HH GRIS (m ³)
Fertilizantes químicos NPK (12:32)	6,50	10,00	0,00	650.000,00

Tabla 11. Cálculo de la huella hídrica gris.

La huella hídrica gris de la organización es igual a 650.000 m³.

RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en el cálculo de la huella hídrica de la organización:

Huella Hídrica	m ³	%
Huella hídrica azul	31.463,48	4,54
Huella hídrica verde	0,00	0,00
Huella hídrica gris	650.000,00	95,46
Total	681.463,48	100,00

Tabla 12. Resultados huella hídrica del caso de estudio.

Como puede observar el 95,38% del total de la huella hídrica de la organización es debido a la huella hídrica gris. La huella hídrica azul directa representa el 3,69% de la huella, siendo el 0,93% restante derivado de la huella hídrica azul indirecta.

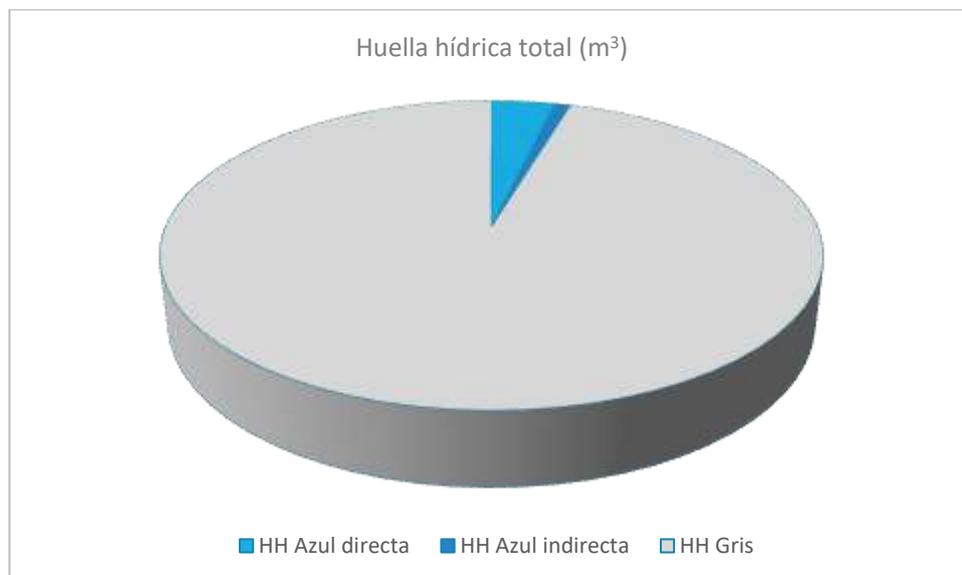


Gráfico 1. Huella hídrica total del caso de estudio.



Gráfico 2. Huella hídrica azul del caso de estudio.

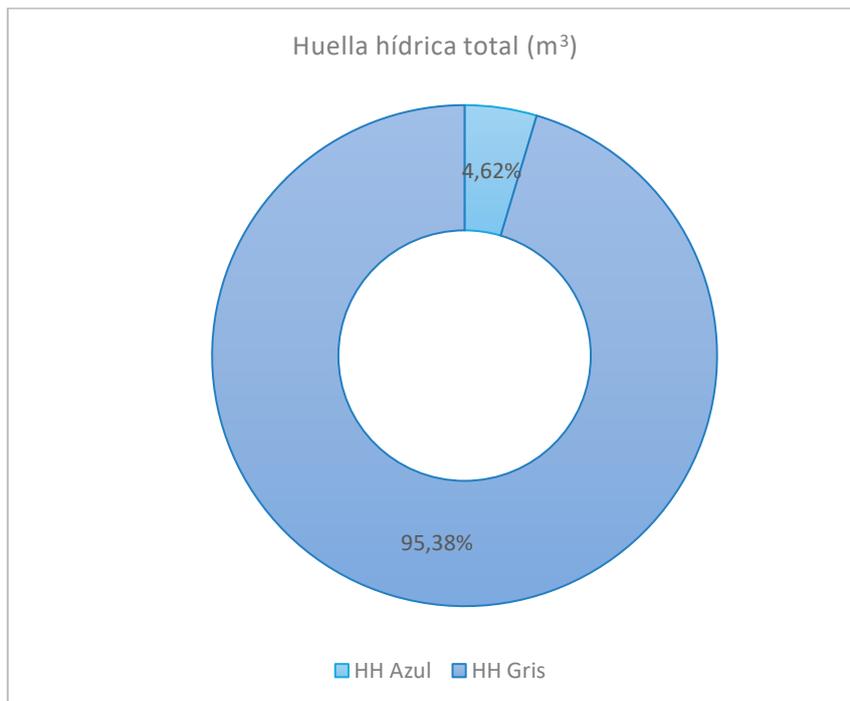


Gráfico 3. Huella hídrica total del caso de estudio.