



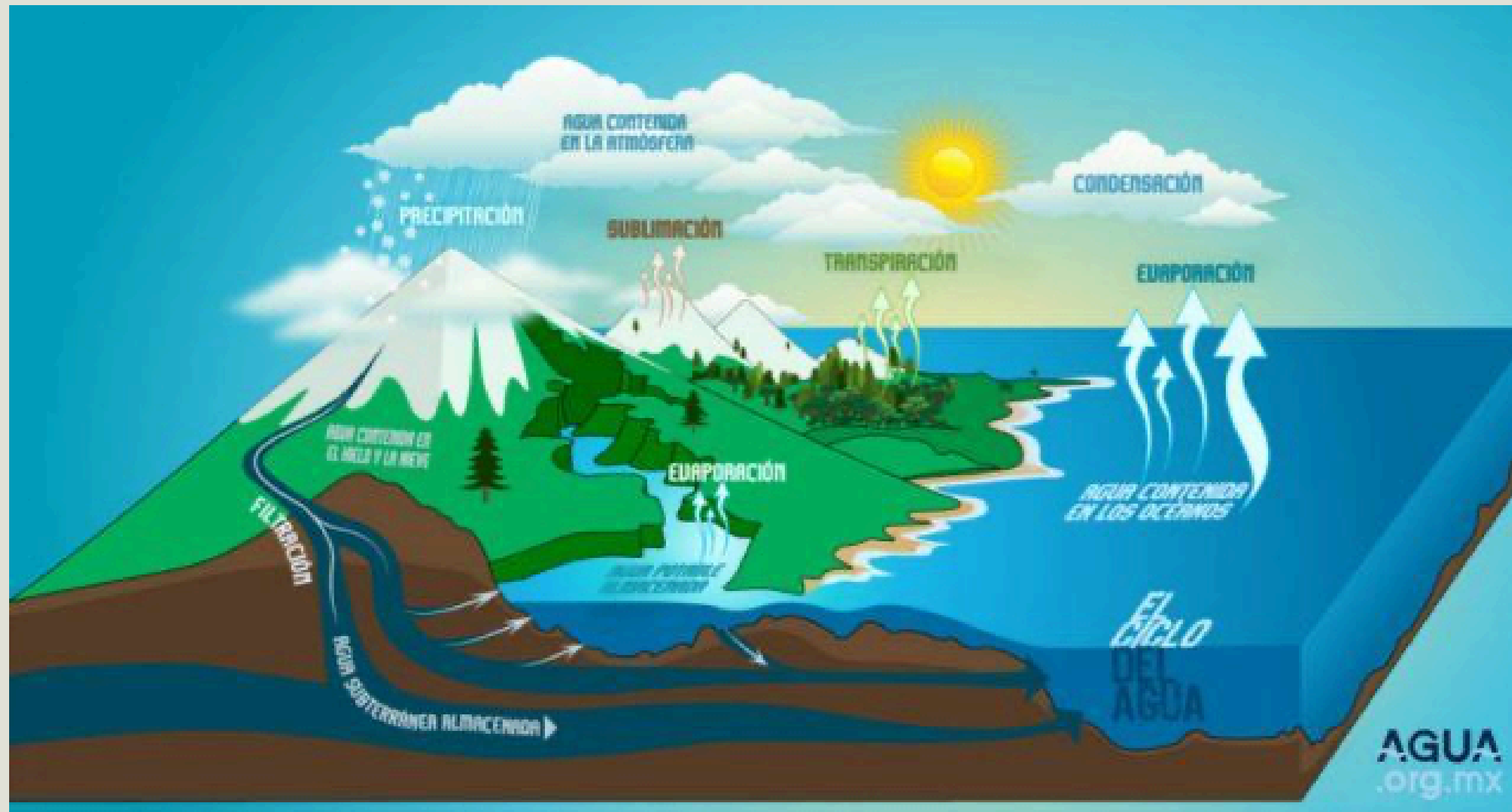
# HUELLA HÍDRICA

Modulo II

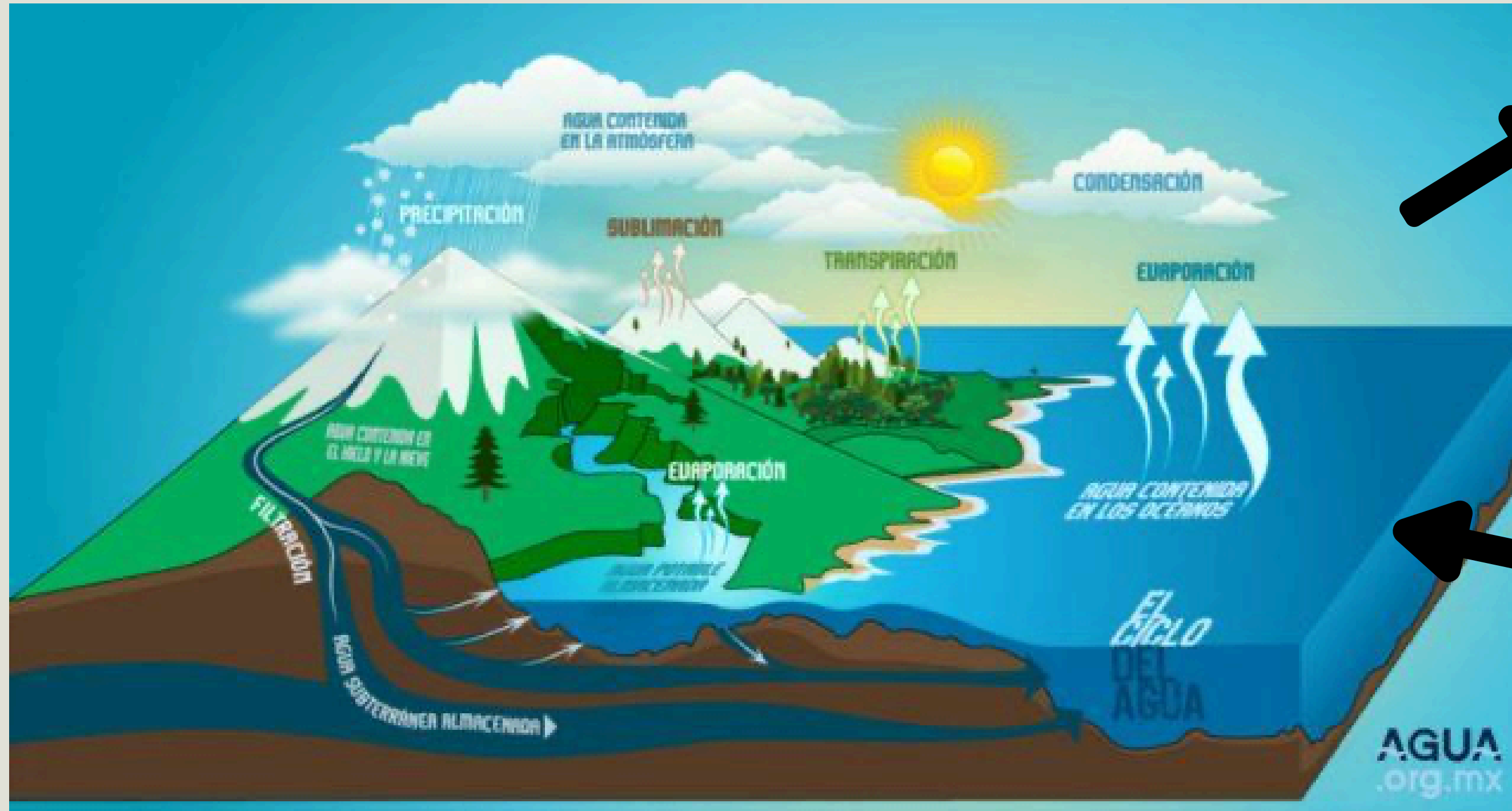
2024



# Ciclo del agua



# Ciclo del agua



**Extracción**  
uso constitutivo

**Residuo**  
contaminantes

# Agua dulce

- 2.5% del agua total del planeta
- Ríos, lagos, arroyos, lagunas, acuíferos subterráneos y glaciares.
- 1 000 mg/l de sólidos disueltos
- Convierte en agua potable

# Agua dulce

- 2.5% del agua total del planeta
- Ríos, lagos, arroyos, lagunas, acuíferos subterráneos y glaciares.
- 1 000 mg/l de sólidos disueltos
- Convierte en agua potable

# Agua salobre

- Mezcla de agua dulce y agua salada
- Estuario
- No es adecuada para el consumo humano
- 1 000-30 000 mg/l de sólidos disueltos

# Agua dulce

- 2.5% del agua total del planeta
- Ríos, lagos, arroyos, lagunas, acuíferos subterráneos y glaciares.
- 1 000 mg/l de sólidos disueltos
- Convierte en agua potable

**Huella**  
hídrica

# Agua salobre

- Mezcla de agua dulce y agua salada
- Estuario
- No es adecuada para el consumo humano
- 1 000-30 000 mg/l de sólidos disueltos

# Agua salada (mar)

# Definición de huella hídrica

- **Indicador** de sostenibilidad para analizar el **volumen de agua dulce** utilizada para producir los bienes y servicios que consumimos.
- El uso del agua se mide en términos de volúmenes de agua consumidos (evaporados o incorporados a un producto) y / o contaminados por unidad.



**Individuo**



**Producto**



**Organización**

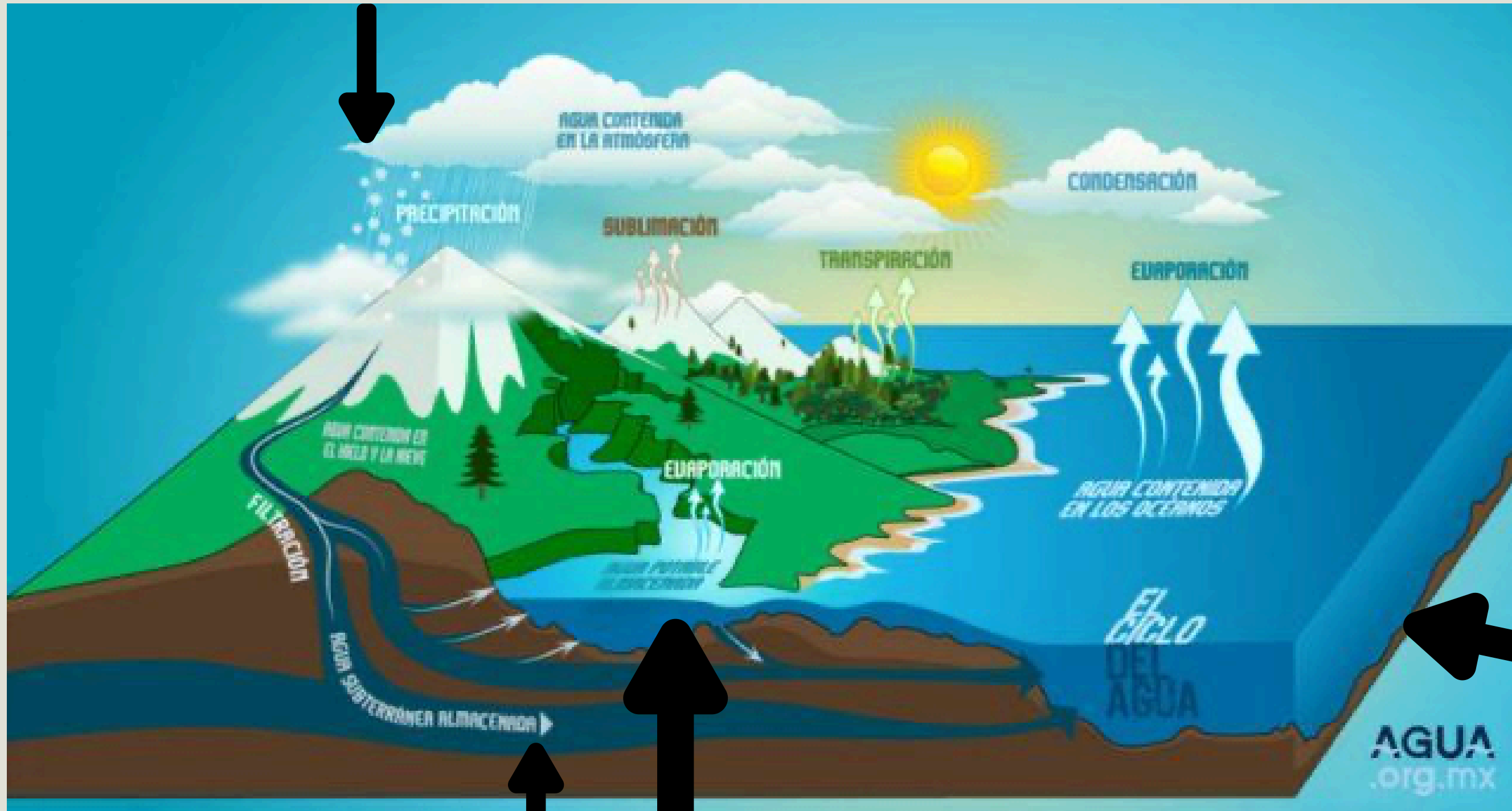


**País**

**Huella Verde**

**2002**

Dr. Arjen Hoekstra



**Huella Gris**

**Residuo contaminantes**

**Huella Azul**

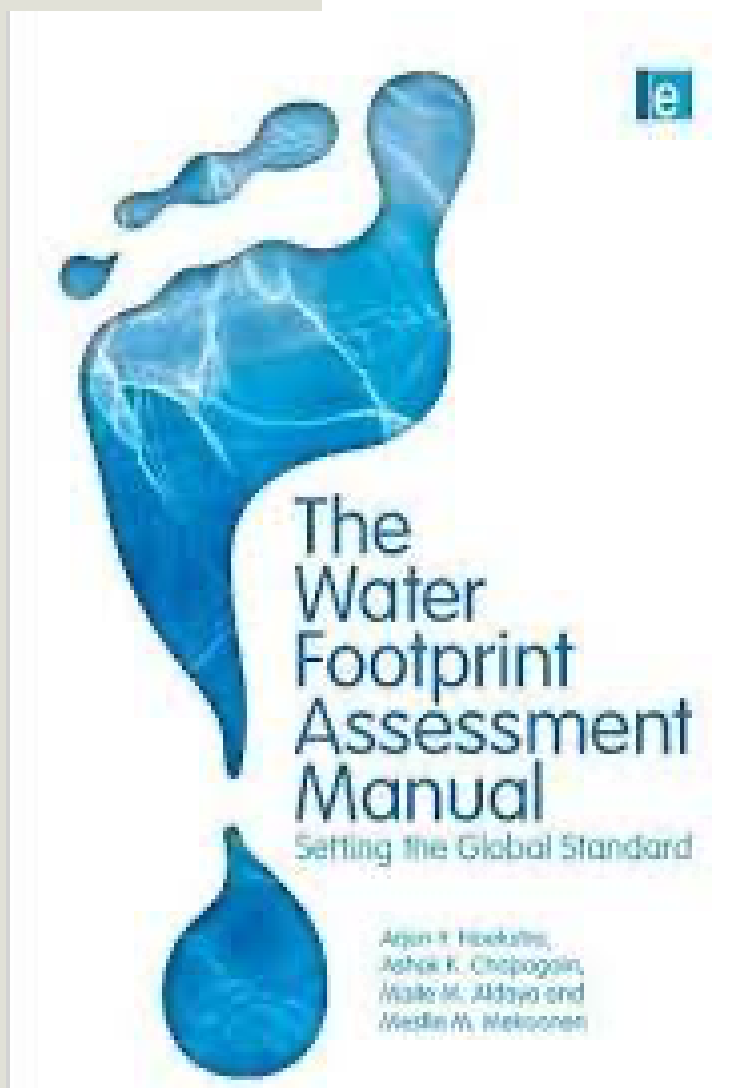


# Huella Hídrica

- Norma ISO 14046
  - Cálculo de la huella hídrica y gestión del agua
  - Enfoque modular
  - Cantidad y calidad
  - Eficiencia y optimización
- Basada en la norma ISO 14044 (ACV)

# Huella Hídrica

- Norma ISO 14046
  - Cálculo de la huella hídrica y gestión del agua
  - Enfoque modular
  - Cantidad y calidad
  - Eficiencia y optimización
  - Basada en la norma ISO 14044 (ACV)
- **ISO 14004** Directrices generales y técnicas de apoyo del SGA
- **ISO 14031** Directrices generales para medir el desempeño del SGA
- **ISO 14026** Comunicación de declaraciones ambientales



# Manual de evaluación de la huella hídrica

## Establecimiento del estándar mundial

Arjen Y. Hoekstra, Ashok K. Chapagain, Maite M. Aldaya  
y Mesfin M. Mekonnen

Título original: *The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard*

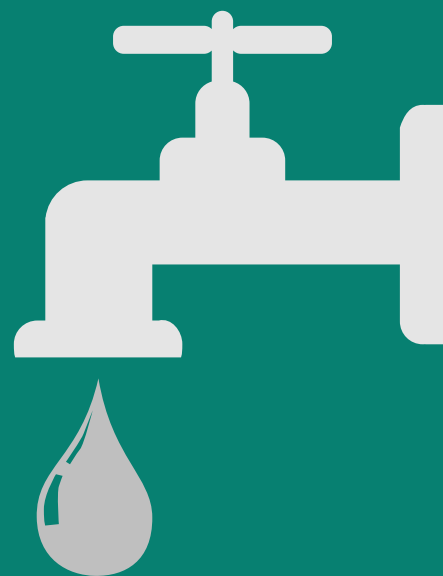
Autores: [Arjen Y. Hoekstra](#), [Ashok K. Chapagain](#), [Maite M. Aldaya](#) y [Mesfin M. Mekonnen](#)

© Water Footprint Network, 2011

ISBN: 978-1-84971-279-8

# Huella hídrica directa

Hace referencia al consumo de agua dulce que se asocia al **uso** del agua por parte de ese consumidor o productor.

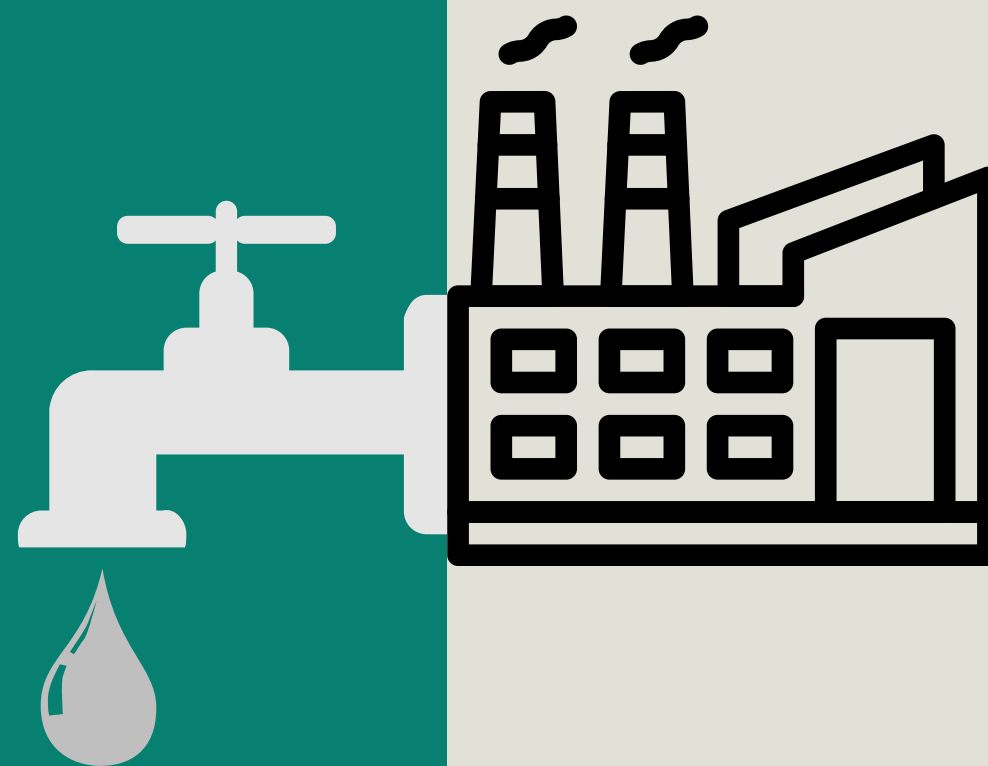


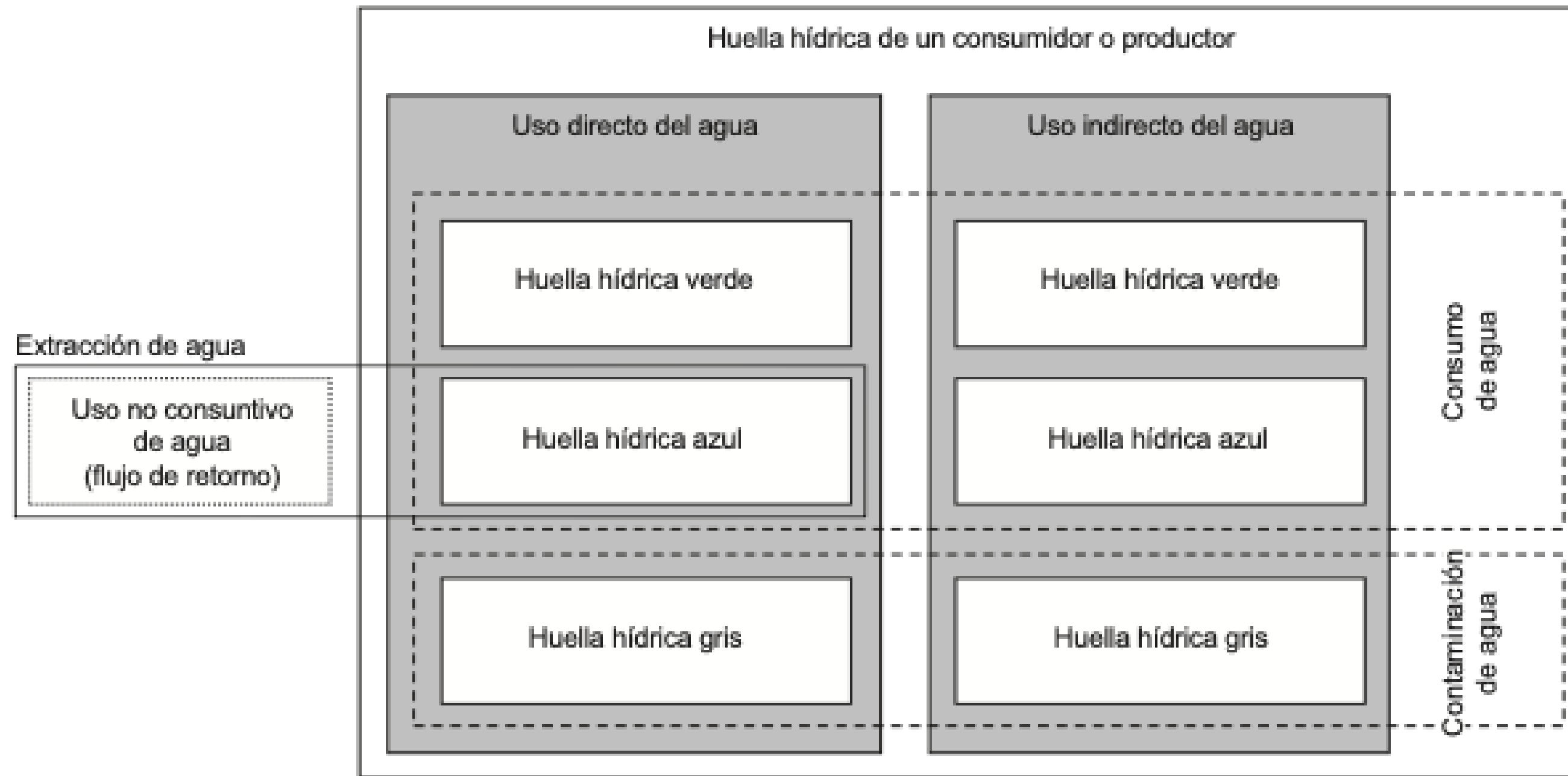
# Huella hídrica directa

Hace referencia al consumo de agua dulce que se asocia al **uso** del agua por parte de ese consumidor o productor.

# huella hídrica indirecta

Consumo del agua que pueden asociarse con la **producción** de bienes y servicios consumidos por el consumidor o los productos de entrada utilizados por el productor.





1. No incluye el uso de agua azul en la medida en que esta agua **regresa a su origen**.
2. No está restringida al uso de agua azul, sino que también incluye la **verde y la gris**.
3. No está restringida al uso directo del agua, sino que también incluye su uso **indirecto**.

## Agua Verde

Precipitaciones  
retenidas en el suelo

## Agua Azul

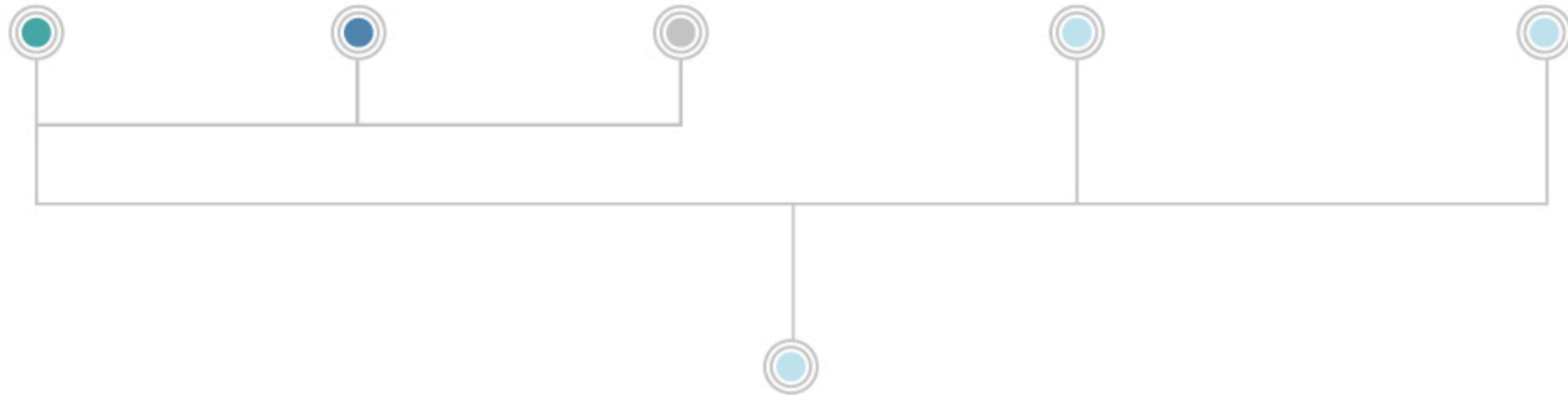
De ríos, lagos  
y acuíferos

## Agua gris

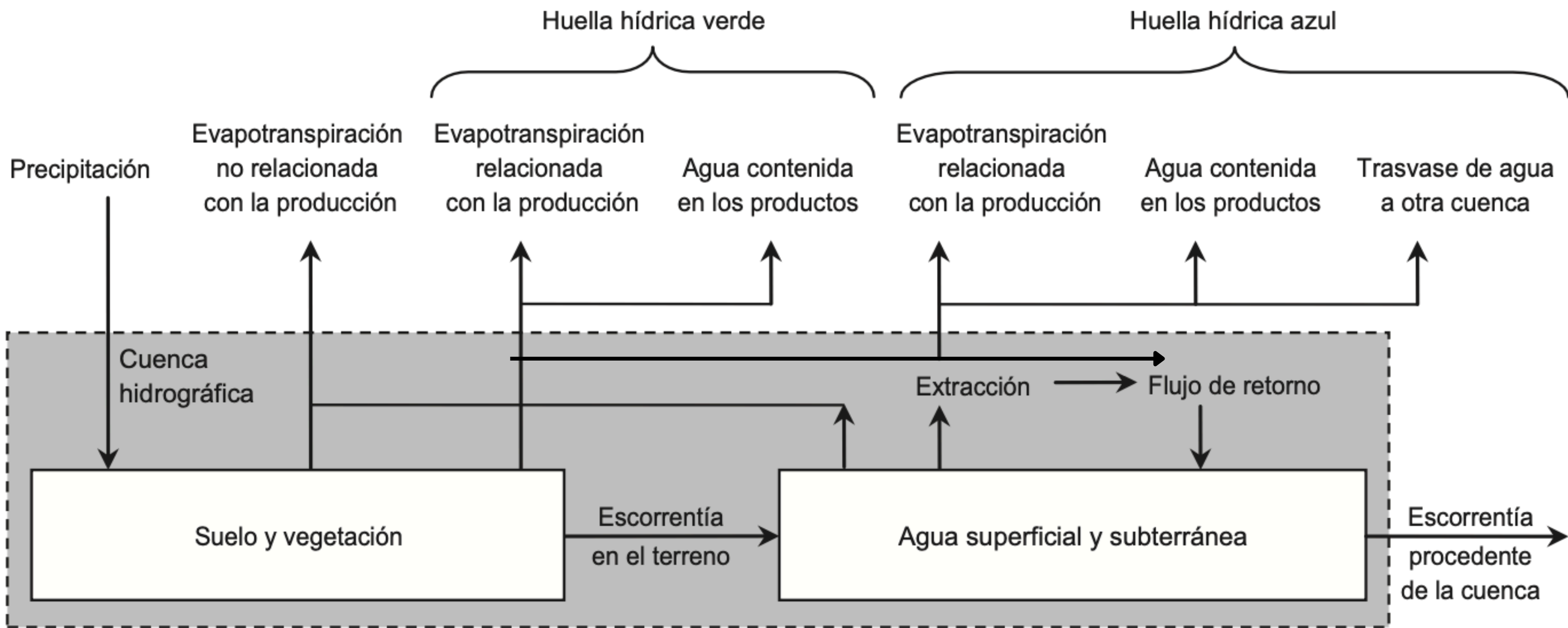
Necesaria para  
que el medio receptor  
asimile los  
contaminantes vertidos

**Consumo  
directo e indirecto**

**Dimensión  
temporal y espacial**

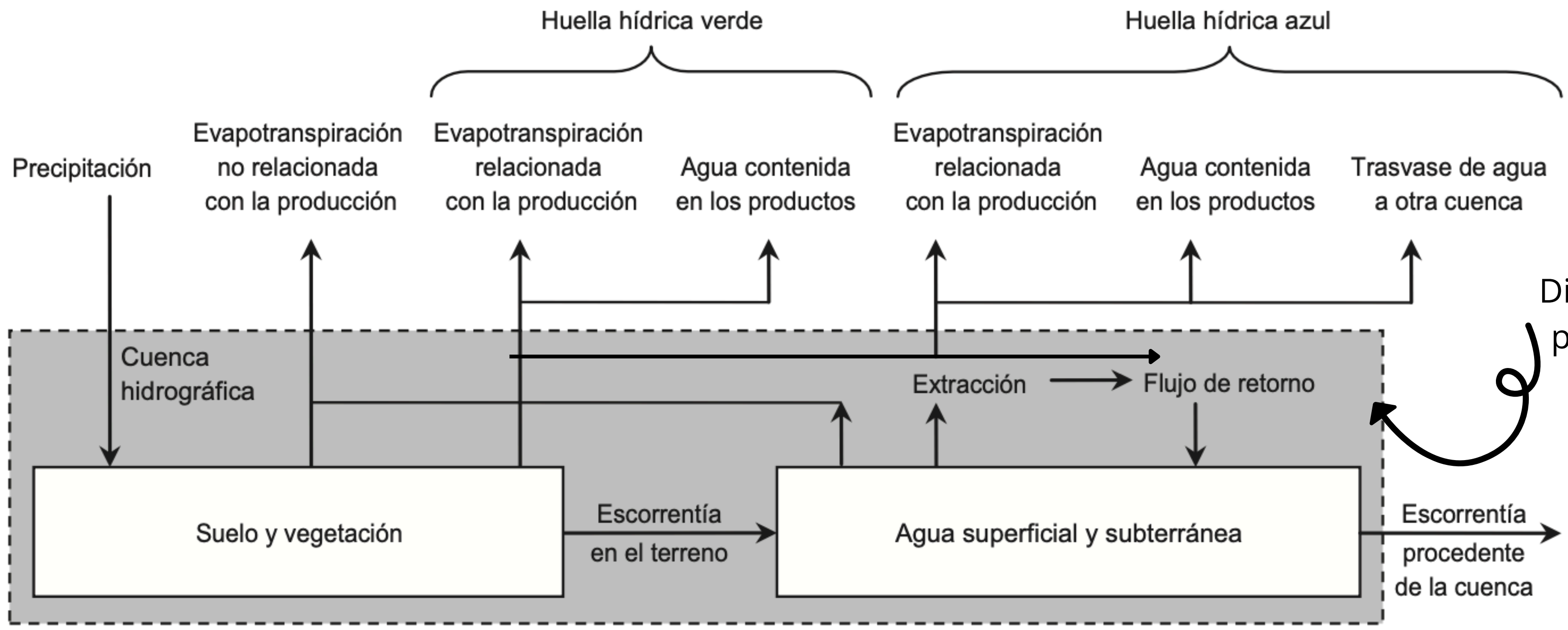


# Huella hídrica





Uso  
consuntivo

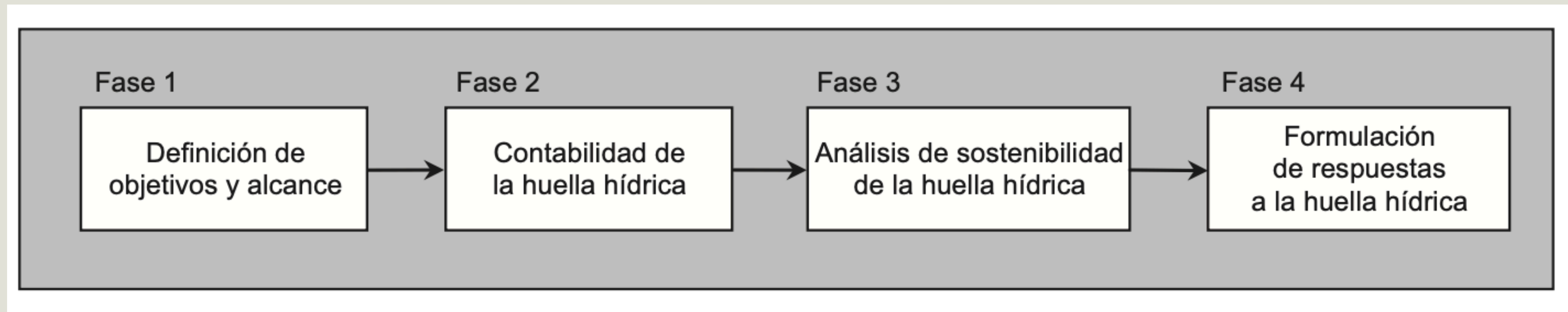


# Evaluación de la huella hídrica

1. Cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor, o cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica en un área geográfica específica.
2. Analizar la sostenibilidad medioambiental, social y económica de esta huella hídrica.
3. Formular una estrategia de respuesta.

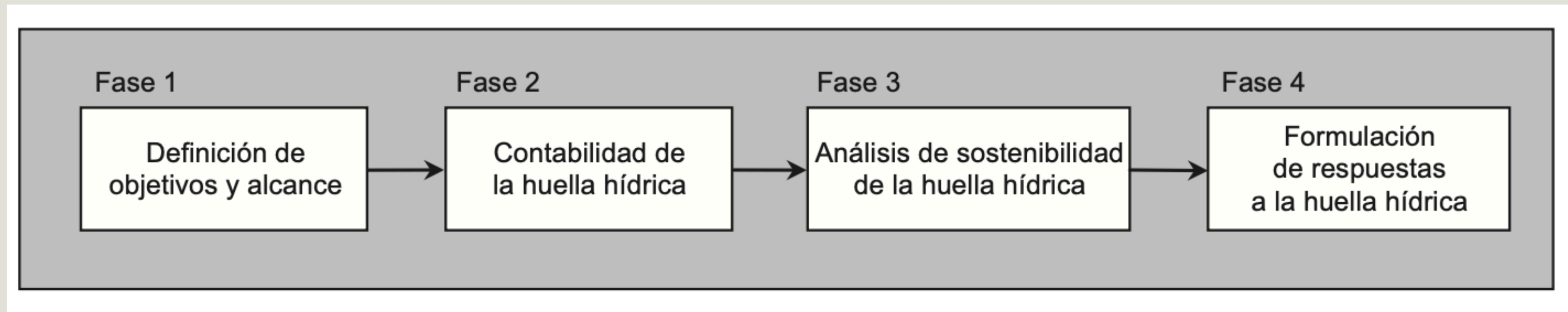
# Evaluación de la huella hídrica

1. Cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor, o cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica en un área geográfica específica.
2. Analizar la sostenibilidad medioambiental, social y económica de esta huella hídrica.
3. Formular una estrategia de respuesta.



# Evaluación de la huella hídrica

1. Cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor, o cuantificar en el espacio y el tiempo la huella hídrica en un área geográfica específica.
2. Analizar la sostenibilidad medioambiental, social y económica de esta huella hídrica.
3. Formular una estrategia de respuesta.



Cuando el objetivo es identificar **puntos críticos**, será necesario incluir mayor detalle en el alcance y en las consiguientes contabilidad y evaluación de sostenibilidad, para que sea posible identificar exactamente dónde y cuándo la huella hídrica tiene los mayores impactos locales medioambientales, sociales o económicos.

# Alcance

## General

- ¿Cuál es el objetivo final? ¿Concienciar, identificar los puntos críticos, formular políticas o definir objetivos cuantitativos?
- ¿Se centra en una fase en especial? ¿Se centra en la contabilidad, en el análisis de sostenibilidad o en la formulación de respuestas?
- ¿Cuál es el ámbito de interés? ¿La huella hídrica directa o indirecta? ¿La huella hídrica verde, azul o gris?
- ¿Cómo se maneja el tiempo? ¿Se centra en la evaluación de un año en particular, en la media de unos pocos años o en un análisis de tendencias?

## Evaluación de la huella hídrica de proceso

- ¿Qué proceso hay que tener en cuenta? ¿Un proceso específico o procesos alternativos y sustituibles (con el fin de comparar las huellas hídricas de técnicas alternativas)?
- ¿En qué escala? ¿Un proceso específico en un lugar específico o un mismo proceso en diferentes lugares?

## Evaluación de la huella hídrica del producto

- ¿Qué producto tenemos en cuenta? ¿Un lote particular de una marca específica, un tipo de producto específico o el total de una categoría de producto?
- ¿En qué escala? ¿Incluir producto(s) de un solo campo agrícola o fábrica, una o más empresas o una o más regiones de producción?

# ¿Dónde truncar el análisis de la cadena de suministro?

La norma general es incluir la de todos los procesos dentro de un sistema de producción (árbol de producción) que contribuyan considerablemente a la huella hídrica total.

Lo más probable es que los componentes industriales contribuyan de forma particular cuando puedan asociarse con la contaminación de agua

# ¿Qué nivel de resolución espaciotemporal?

Nivel A: Datos de medidas globales

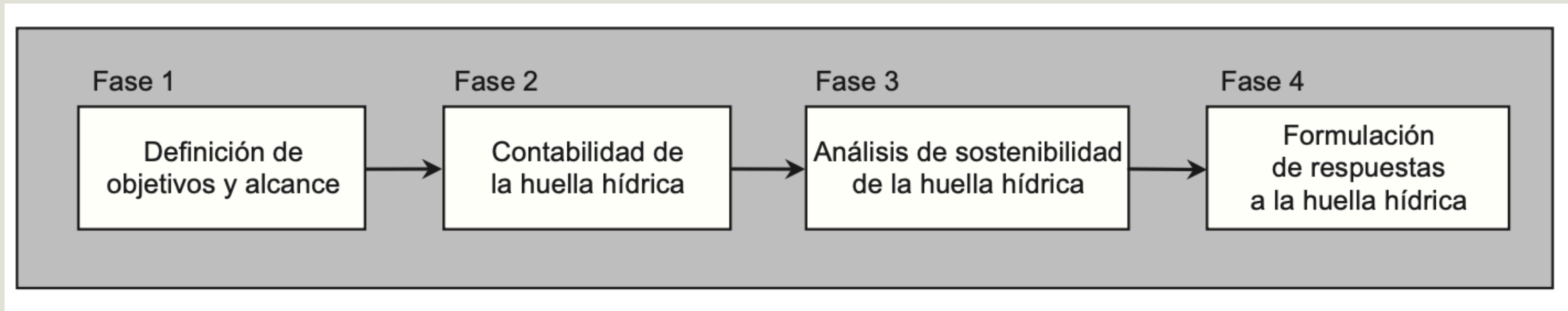
Nivel B: Datos de medidas nacionales o regionales (mensual de varios años)

Nivel C: Datos precisos sobre los productos de entrada utilizados y las fuentes precisas de dichos productos.

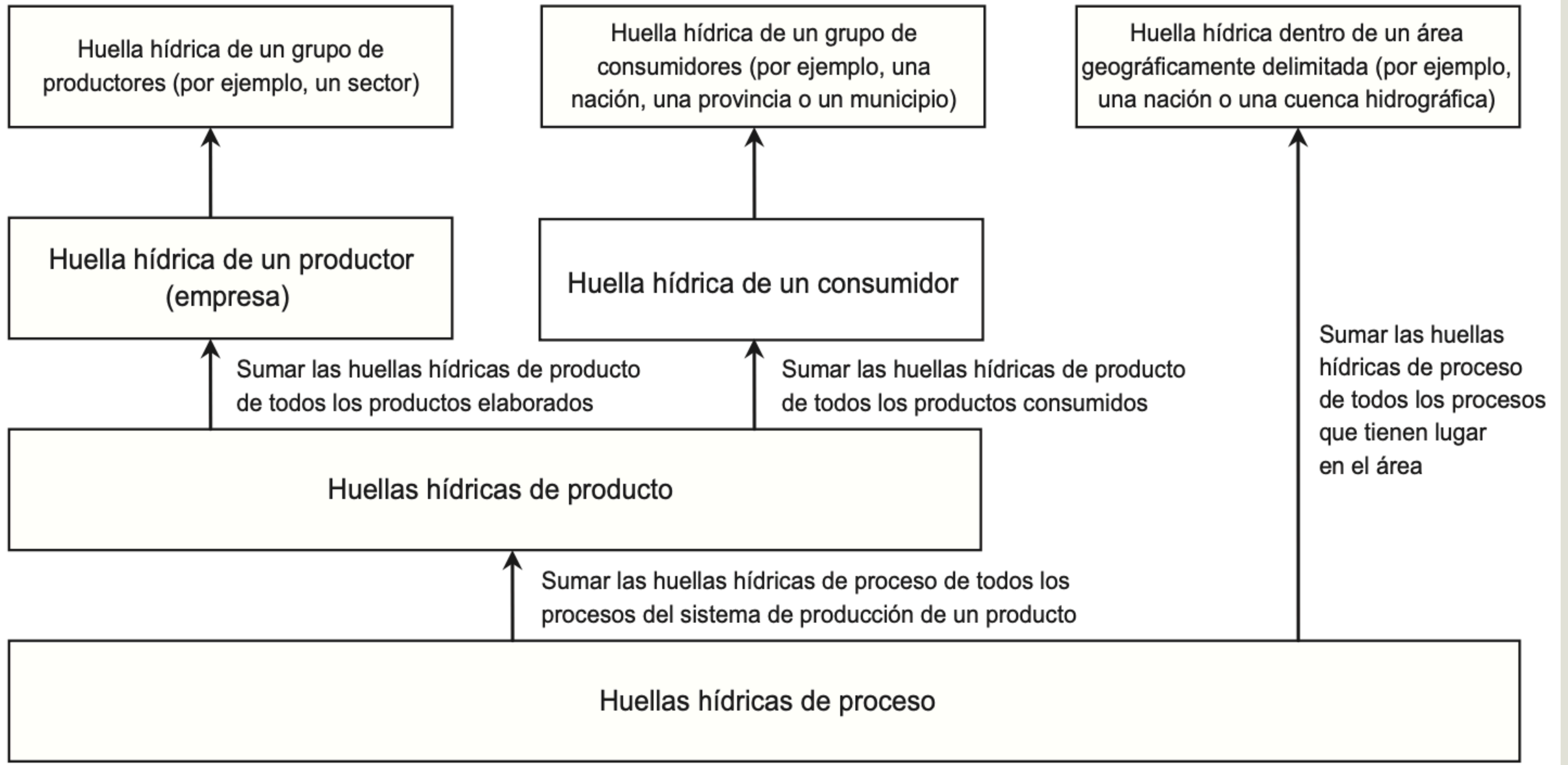
*La resolución espacial mínima ~100-1 000 km<sup>2</sup> y temporal 1 mes; año medio = 30 años*

	<b>Resolución espacial</b>	<b>Resolución temporal</b>	<b>Fuente de los datos necesarios sobre el uso del agua</b>	<b>Uso típico de la contabilidad</b>
Nivel A	Media global	Anual	Literatura científica disponible sobre el consumo y la contaminación típicos del agua por producto o proceso	Concienciación; identificación aproximada de los componentes que más contribuyen a la huella hídrica total; desarrollo de proyecciones globales sobre el consumo de agua
Nivel B	Nacional, regional o de la zona de captación	Anual o mensual	Igual que la anterior, pero usando datos específicos a nivel nacional, regional o de la zona de captación	Identificación aproximada de la dispersión y la variabilidad espacial; la base de conocimiento para la identificación de puntos críticos y decisiones sobre la asignación del agua
Nivel C	Pequeña zona de captación o terreno específico	Mensual o diario	Datos empíricos o (si no se pudieran medir directamente) las mejores estimaciones sobre consumo y contaminación de agua especificados por lugar geográfico y durante el año	Base de conocimiento para llevar a cabo un análisis de sostenibilidad de la huella hídrica; formulación de una estrategia para reducir las huellas hídricas y sus impactos locales asociados.

# Evaluación de la huella hídrica







Huella hídrica de un grupo de productores (por ejemplo, un sector)

Huella hídrica de un grupo de consumidores (por ejemplo, una nación, una provincia o un municipio)

Huella hídrica dentro de un área geográficamente delimitada (por ejemplo, una nación o una cuenca hidrográfica)

Huella hídrica de un productor (empresa)

Huella hídrica de un consumidor

Sumar las huellas hídricas de producto de todos los productos elaborados

Sumar las huellas hídricas de producto de todos los productos consumidos

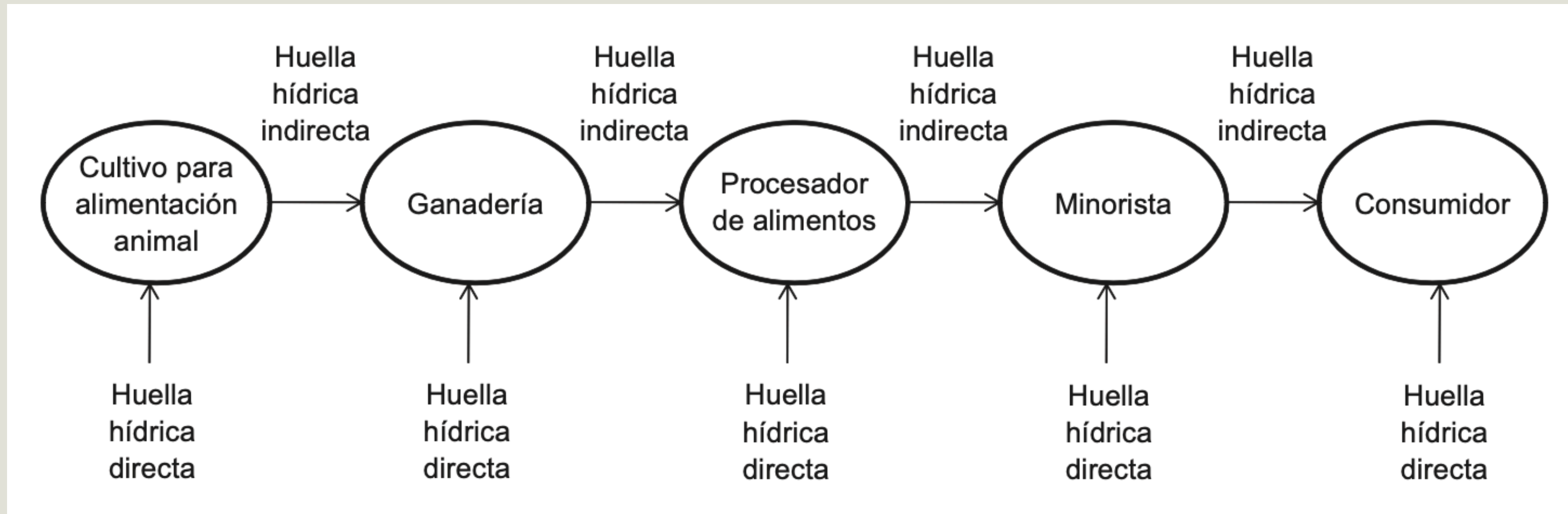
Huellas hídricas de producto

Sumar las huellas hídricas de proceso de todos los procesos que tienen lugar en el área

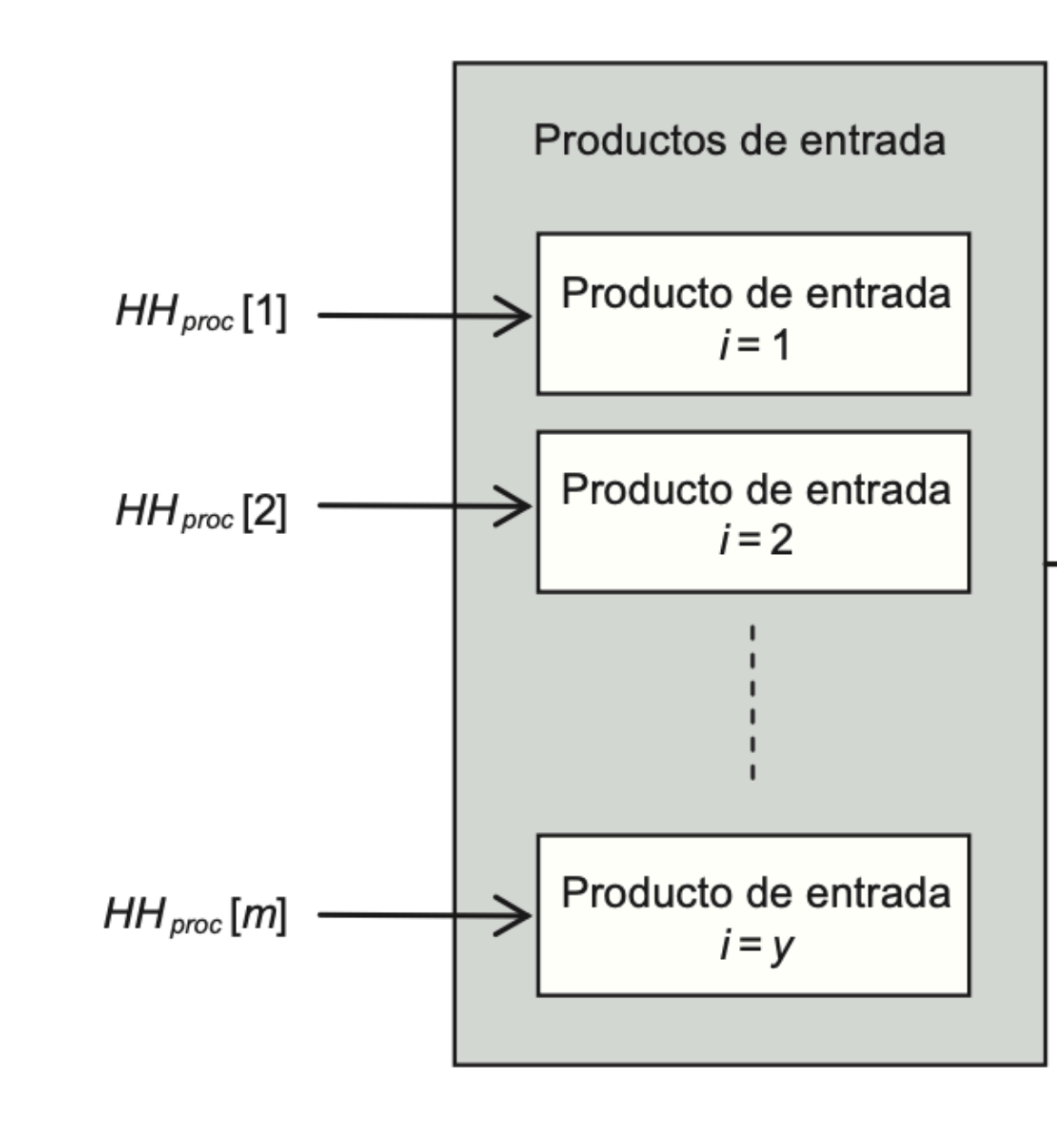
Sumar las huellas hídricas de proceso de todos los procesos del sistema de producción de un producto

Huellas hídricas de proceso

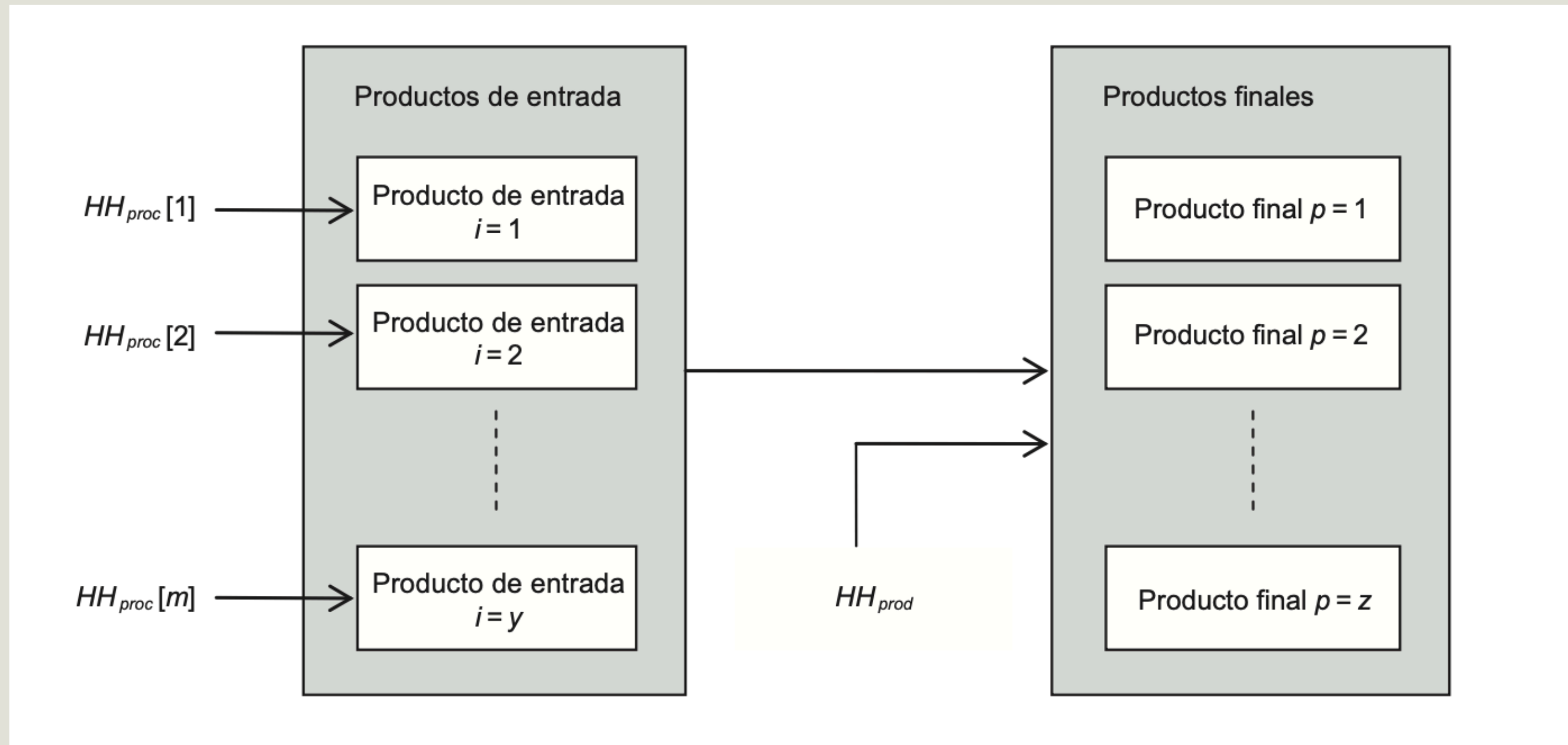
# Cadena de suministro de un producto de origen animal



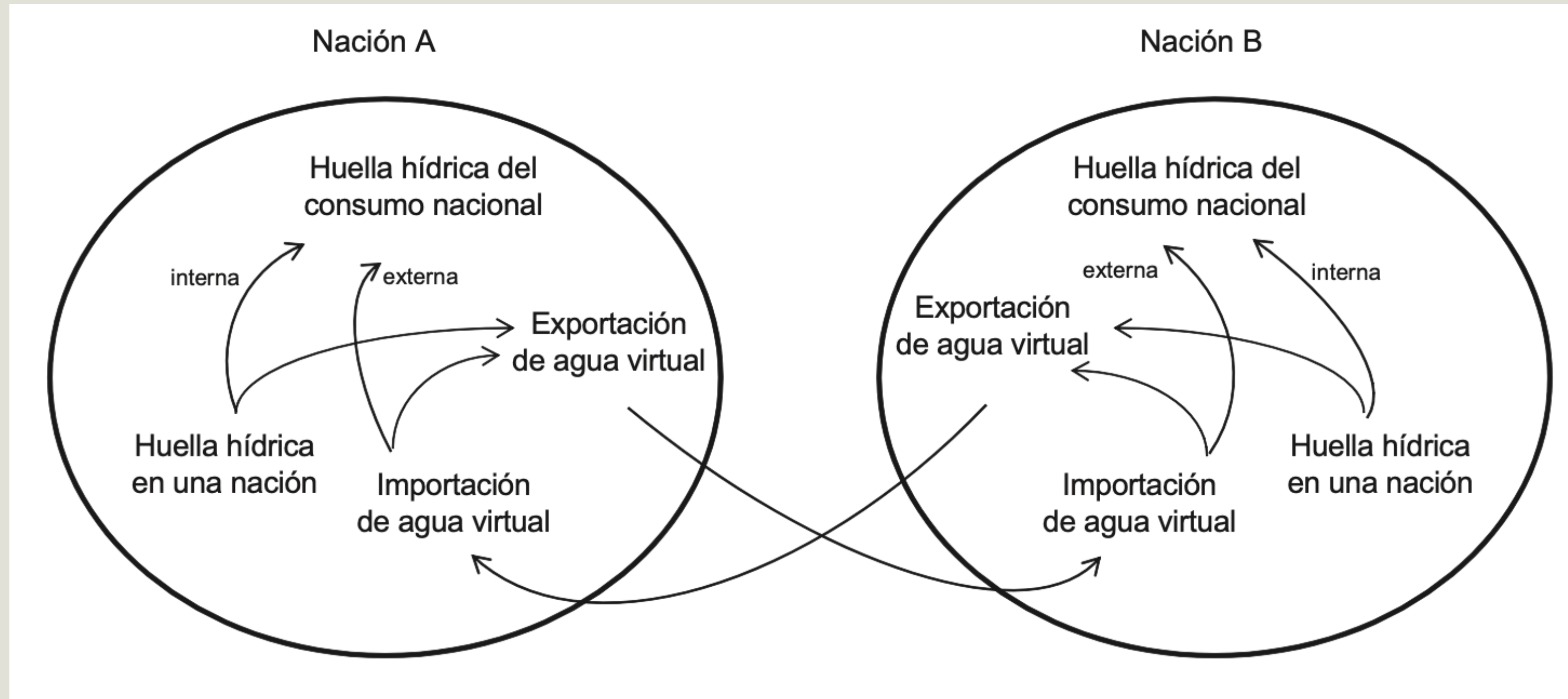
# Huella hídrica de producto



# Huella hídrica de producto



# Huella hídrica dentro de una nación o la huella hídrica del consumo nacional



# Huella hídrica Azul

- Superficial
- Subterránea que fluye
- Subterránea fósil

# Huella hídrica Azul

- Superficial
- Subterránea que fluye
- Subterránea fósil

$$HH_{proc, azul} = \text{evaporación de agua azul} + \text{incorporación de agua azul} + \text{flujo de retorno perdido} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

# Huella hídrica Azul

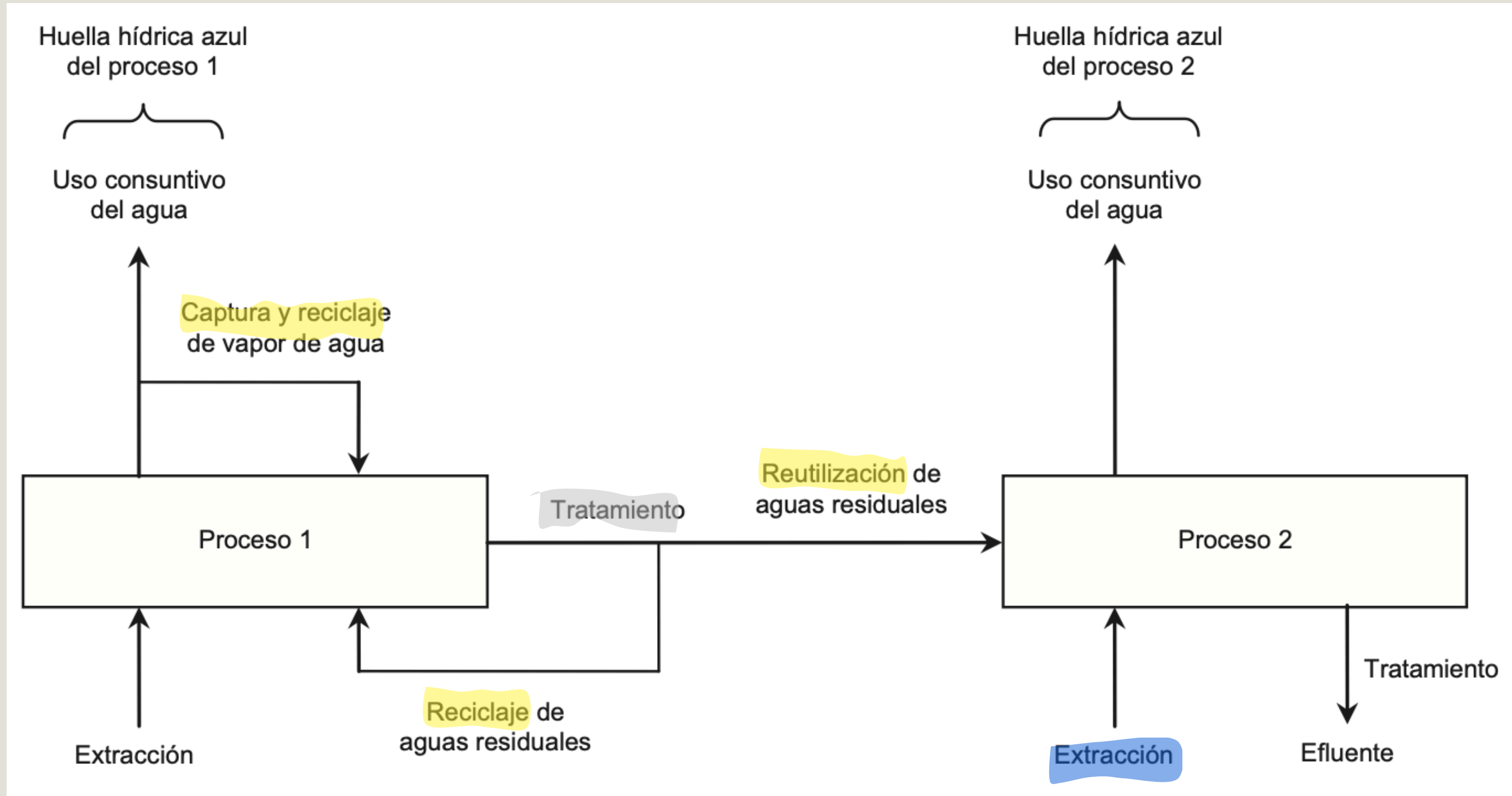
- Superficial
- Subterránea que fluye
- Subterránea fósil

$$HH_{proc, azul} = \text{evaporación de agua azul} + \text{incorporación de agua azul} + \text{flujo de retorno perdido} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

- Reciclaje de agua: Reutilización local del agua para el mismo fin
- Reutilización de agua: Nuevo uso de esta en otra parte, posiblemente para un fin diferente.



# Huella hídrica Azul



# Huella hídrica Verde

- Almacenan en el suelo
- Forma temporal en la superficie del suelo o de la vegetación.
  - Evapora o transpira a través de las plantas

# Huella hídrica Verde

- Almacenan en el suelo
- Forma temporal en la superficie del suelo o de la vegetación.
  - Evapora o transpira a través de las plantas

$$HH_{proc, verde} = \text{evaporación de agua verde} + \text{incorporación de agua verde} \\ \text{[volumen/tiempo]}$$

- Estimación mediante forma empíricas

# Huella hídrica Gris

- Término introducido por Hoekstra y Chapagain (2008)
- Volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes basado en las concentraciones en condiciones naturales y en las normas o legislación de calidad ambiental del agua existentes
- El tratamiento de aguas residuales antes de su vertido se traducirá en una disminución de la huella hídrica gris

# Huella hídrica Gris

- Término introducido por Hoekstra y Chapagain (2008)
- Volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes basado en las concentraciones en condiciones naturales y en las normas o legislación de calidad ambiental del agua existentes
- El tratamiento de aguas residuales antes de su vertido se traducirá en una disminución de la huella hídrica gris

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Por norma  
ambiental

Sin intervención  
humana

# Huella hídrica Gris

- Término introducido por Hoekstra y Chapagain (2008)
- Volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes basado en las concentraciones en condiciones naturales y en las normas o legislación de calidad ambiental del agua existentes
- El tratamiento de aguas residuales antes de su vertido se traducirá en una disminución de la huella hídrica gris

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

- Especificar qué normas de la calidad de agua y de las concentraciones naturales han sido usadas en la preparación de la contabilidad de la huella hídrica gris.

# Huella hídrica Gris

- $HHG < 0$ 
  - Parte de la capacidad de asimilación ha sido consumida
- $HHG =$  Caudal de agua ambiente
  - Concentración de la norma
- $HHG >$  Caudal de agua ambiente
  - Indicador de la gravedad de la contaminación
- Carga crítica
  - La huella hídrica gris es igual al caudal de agua disponible, que será necesario para diluir totalmente las sustancias químicas a niveles de concentración aceptables.

# Huella hídrica Gris

- Contaminación térmica.
  - La huella hídrica gris se calcula entonces como la diferencia entre la temperatura de un caudal efluente y la de la masa de agua receptora, dividido por el aumento de la temperatura máximo aceptable

$$HH_{proc,gris} = \frac{T_{efl} - T_{real}}{T_{m\acute{a}x} - T_{nat}} \times Efl \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

- Si no existiese ninguna directriz local, recomendamos considerar un valor predeterminado de 3 °C



# Alcance del análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica

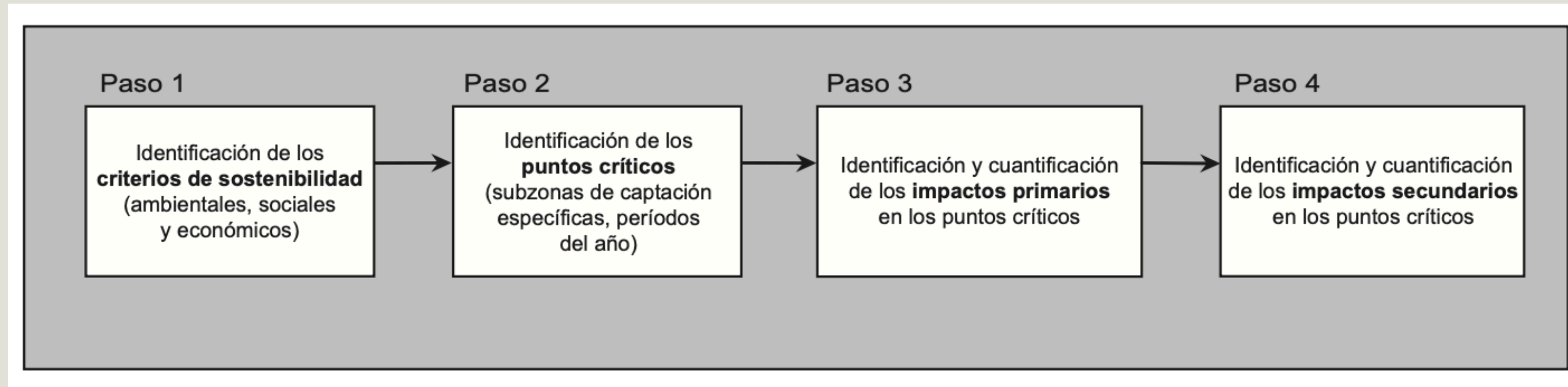
- Para hacerse una idea de lo que significa el tamaño de la huella hídrica es necesario compararla con los recursos disponibles de agua dulce (también expresados en m<sup>3</sup>/año)
- Depende de la perspectiva elegida
  - ¿Considerar la sostenibilidad de la huella hídrica verde, azul o gris?
  - ¿Considerar la dimensión ambiental, social o económica de la sostenibilidad?
  - ¿Identificar los puntos críticos únicamente o analizar los impactos primarios o secundarios también en los puntos críticos?

# Alcance del análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica

- Para hacerse una idea de lo que significa el tamaño de la huella hídrica es necesario compararla con los recursos disponibles de agua dulce (también expresados en m<sup>3</sup>/año)
- Depende de la perspectiva elegida
  - ¿Considerar la sostenibilidad de la huella hídrica verde, azul o gris?
  - ¿Considerar la dimensión ambiental, social o económica de la sostenibilidad?
  - ¿Identificar los puntos críticos únicamente o analizar los impactos primarios o secundarios también en los puntos críticos?

**Realizar la comparación entre la huella hídrica humana y lo que la Tierra puede soportar de manera sostenible**

# Análisis de la sostenibilidad



Es necesario reducirla cuando:

1. La huella hídrica del proceso contribuye a la creación de un punto crítico.
2. La huella hídrica puede reducirse o evitarse en su totalidad.

# Análisis de la sostenibilidad

- Efecto acumulativo de todas las actividades en el área geográfica en cuestión
- No podemos analizar la sostenibilidad de la huella hídrica de un proceso sin conocer la sostenibilidad de la huella hídrica total en la zona de captación donde se localiza el proceso.
- Cuando la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor contribuya a una situación insostenible observada dentro de un determinado contexto geográfico, cabría decir que esta huella hídrica es también insostenible.

## **Ambiental**

Normas de calidad ambiental

Los flujos de aguas deben permanecer dentro de unos límites comparados con la escorrentía natural

Caudal mínimo ecológico y necesidades de agua de los ecosistemas

## **Social**

Necesidades básicas humanas

Solo la fracción del suministro de agua dulce disponible que queda tras restar las necesidades hídricas del ambiente y para las necesidades básicas humanas, puede destinarse a bienes de "lujo"

## **Económica**

Los beneficios de una huella hídrica que resultan del uso de agua para un fin determinado deben ser mayores a los costes totales asociados a la misma huella hídrica, incluyendo externalidades, costes de oportunidad y una renta de escasez.

# Puntos críticos

**Período** específico del año (por ejemplo, el período seco) en una **subzona** de captación específica en la que la huella hídrica **no es sostenible**, ya sea porque pone en juego las necesidades **ambientales** de agua o las normas de calidad del agua, o porque el uso o asignación del agua en la zona de captación es **injusto o económicamente ineficiente**.

# Puntos críticos

**Período** específico del año (por ejemplo, el período seco) en una **subzona** de captación específica en la que la huella hídrica **no es sostenible**, ya sea porque pone en juego las necesidades **ambientales** de agua o las normas de calidad del agua, o porque el uso o asignación del agua en la zona de captación es **injusto o económicamente ineficiente**.

	Puntos no críticos	Puntos críticos*
Bajo potencial de reducción	0	+
Alto potencial de reducción **	+	++

\* Un punto crítico es un período del año específico (por ejemplo, el período seco) en una (sub)zona de captación específica en la que la huella hídrica es insostenible, por ejemplo, porque compromete las necesidades ambientales de agua o las normas de la calidad hídrica, o porque la asignación y uso de agua en la zona de captación se consideran injustos o económicamente ineficientes.

\*\* Existe un alto potencial de reducción cuando la huella hídrica se puede evitar por completo o reducir considerablemente a un coste social razonable.

# Impactos primarios

Alteración de los flujos y la calidad de agua

# Impactos secundarios

Bienes o servicios ecológicos, sociales y económicos que se ven deteriorados en una zona de captación debido a los impactos primarios



# Impactos primarios

## HH Verde

$$DA_{verde} [x, t] = ET_{verde} [x, t] - ET_{veg} [x, t] - ET_{improd} [x, t]$$

[volumen/tiempo]

almacenada  
en el suelo

vegetación  
natural

superficie  
improductiva

# Impactos primarios

## HH Verde

$$DA_{verde} [x, t] = ET_{verde} [x, t] - ET_{veg} [x, t] - ET_{improd} [x, t]$$

[volumen/tiempo]

almacenada  
en el suelo

vegetación  
natural

superficie  
improductiva

$$EA_{verde} [x, t] = \frac{\sum HH_{verde} [x, t]}{DA_{verde} [x, t]}$$

# Impactos primarios

## HH Azul

$$DA_{\text{azul}}[x, t] = E_{\text{nat}}[x, t] - CME[x, t] \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

escorrentía  
natural de la  
zona de  
captación

caudal  
mínimo  
ecológico

# Impactos primarios

## HH Azul

$$DA_{azul}[x, t] = E_{nat}[x, t] - CME[x, t] \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

escorrentía  
natural de la  
zona de  
captación

caudal  
mínimo  
ecológico

$$EA_{azul}[x, t] = \frac{\sum HH_{azul}[x, t]}{DA_{azul}[x, t]}$$

# Impactos primarios

## HH Gris

Una huella hídrica gris en un período específico en una zona de captación específica genera un punto crítico cuando se violan las normas de la calidad ambiental en ese período y en esa zona de captación

# Impactos primarios

## HH Gris

Una huella hídrica gris en un período específico en una zona de captación específica genera un punto crítico cuando se violan las normas de la calidad ambiental en ese período y en esa zona de captación

$$NCA [x, t] = \frac{\sum HH_{gris} [x, t]}{E_{real} [x, t]}$$

escorrentía  
real

# Mitigación

- Responsabilidad compartida
  - Consumidores, los productores, los inversores y los gobiernos

# Mitigación

- Responsabilidad compartida
  - Consumidores, los productores, los inversores y los gobiernos

	Agricultura	Industria
Huella hídrica verde	<p>Disminuir la huella hídrica verde (<math>m^3/t</math>) incrementando la <b>productividad</b> del agua verde (<math>t/m^3</math>) tanto en la agricultura de secano como en la de regadío.</p> <p>Aumentar la <b>producción total</b> de agricultura de secano.</p>	Irrelevante.
Huella hídrica azul	<p>Disminuir la huella hídrica azul (<math>m^3/t</math>) incrementando la <b>productividad</b> del agua azul (<math>t/m^3</math>) en la agricultura de regadío.</p> <p>Disminuir la <b>proporción</b> de huella hídrica azul/verde.</p> <p>Disminuir la huella hídrica azul global (en un 50%, por ejemplo).</p>	<p>Huella hídrica azul igual a cero: no se producen pérdidas por evaporación (reciclado total) no se puede evitar únicamente la huella hídrica azul <b>relacionada con la incorporación de agua.</b></p>
Huella hídrica gris	<p><b>Reducir</b> el uso de fertilizantes artificiales y pesticidas; aplicación más efectiva.</p> <p>Disminuir casi hasta cero la huella hídrica gris gracias a la agricultura orgánica.</p>	<p>Huella hídrica gris igual a cero: no hay contaminación (<b>reciclaje total</b>, recuperando calor de efluentes calentados y tratamiento de las cuencas de retorno restantes).</p>





Energías  
Renovables

***"La solución al problema en áreas con escasez hídrica reside en las áreas con abundancia"***

**¿Dudas?**

carmina@fq.edu.uy