UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA



Aguas Subterráneas

AÑO 2026

Cátedra

Profesor Adjunto: Ing. Enrique Montero de Espinosa

Jefe de Trabajos Prácticos: Ing. Sergio Quiroga

Dictado de clases

06 de agosto hasta el 12 de noviembre

Clases

Teórico/Prácticas

Condiciones de regularidad

Asistencia al 75% de las clases

Aprobación de la totalidad de los Trabajos Prácticos.

Aprobación de dos exámenes parciales (o sus respectivos recuperatorios).

Acreditación del espacio curricular

Examen final

Contacto

Correo electrónico y grupo de whatsapp

Los contenidos de esta materia, están organizados para responder a la pregunta:

¿Cómo explotar y gestionar el recurso AGUA SUBTERRÁNEA de una manera sustentable?

Para **explotar** y **gestionar** primero hay que **conocer** el sistema; el desconocimiento puede llegar a perjudicar al sistema para generaciones futuras.

Apuntando a ese conocimiento, cada unidad está estructurada para responder a una pregunta específica.

¿Cuál es su origen?
¿Cómo la encontramos?
¿Cómo se mueve?
¿Cómo es la evolución hidrogeoquímica?
¿Cómo se exploran y evalúan las reservas?
¿Cómo se explotan?
¿Cómo se extraen?
¿Cómo es la gestión del recurso?



¿Cuál es el origen del agua?

UNIDAD 1: ORIGEN Y CIENCIAS DEL AGUA

- Origen
- Ciencias del agua

¿Cómo la encontramos?

UNIDAD 2: CUENCAS SEDIMENTARIAS. ZONAS DE RECARGA Y DESCARGA

- Las rocas y sedimentos y sus propiedades acuíferas
- Cuencas Sedimentarias
- Clasificación de los acuíferos
- Relación aguas superficiales y subterráneas

¿Cómo se mueve?

UNIDAD 3: MOVIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

- Parámetros hidráulicos
- Relación de los parámetros hidrodinámicos
- Hidráulica de pozos. Determinación de parámetros hidrodinámicos
- Hidráulica de pozos. Eficiencia de un pozo

¿Cómo es la evolución hidrogeoquímica?

UNIDAD 4: CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

- Elementos de la química del agua
- Evolución geoquímica del agua subterránea
- Interpretaciones
- Calidad del agua, clasificaciones y contaminación

¿Cómo se exploran y evalúan las reservas?

UNIDAD 5: EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Métodos de exploración directos e indirectos

¿Cómo se explotan?

UNIDAD 6: EXPLOTACIÓN DE UN ACUÍFERO

- Métodos de perforación
- Construcción de pozos
- Aislamiento de acuíferos
- Abandono de perforaciones

¿Cómo se extraen?

UNIDAD 7: ELEMENTOS DE EXTRACCIÓN DEL AGUA

- Tipos de Bombas
- Equipos Girostáticos
- Bombas sumergibles
- Selección de bombas

¿Cómo es la gestión del agua subterránea?

UNIDAD 8: GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

- Administración del agua subterránea
- Trámites exigidos para un proyecto de perforación

UNCUYO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD 1:
ORIGEN Y CIENCIAS DEL AGUA

Origen

La Hidrósfera. Distribución del agua sobre la superficie terrestre. Balance hídrico.

Ciencias del Agua

Hidrología e Hidrogeología. Usos e Importancia del agua subterránea

HIDRÓSFERA

*Es la **totalidad del agua que hay sobre la superficie terrestre y debajo de ella**, circulando de un sitio a otro y cambiando su estado físico.*

Comprende el **agua en sus distintas formas**: océanos, mares, ríos, lagos, pantanos, glaciares, vapor de agua en la atmósfera y aguas subterráneas.





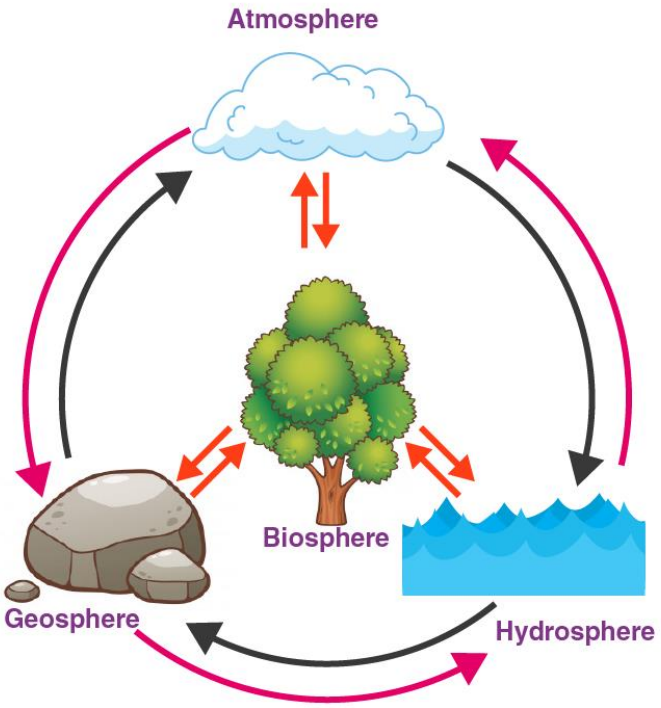




HIDRÓSFERA

Ocupa aproximadamente el **71 %** de la superficie del planeta (29% restante son rocas y sedimentos) y es crucial en:

- ciclos climáticos
- modelación del relieve
- regulación térmica
- mantenimiento de la vida



Está interconectada con las otras esferas de la Tierra (**atmósfera** y **litósfera**), influyendo en procesos geológicos y ecológicos a escala global.

CICLO DEL AGUA o CICLO HIDROLÓGICO

Es el movimiento o circulación continua del agua entre las distintas partes (esferas) del planeta (hidrósfera, litósfera y atmósfera).

El concepto del ciclo del agua parte del hecho de que la cantidad o **masa total de agua en la hidrósfera** es **constante** en el tiempo; lo que va cambiando es su distribución dentro del ciclo.

Esto trae implícito el **movimiento** de masas de agua de un **lugar a otro**, de un **estado a otro** o de **ambos a la vez**, impulsados por dos fuerzas motrices principales:

- la **RADIACIÓN SOLAR**
  (cambios de estado y circulación atmosférica)
- la **GRAVEDAD**
  (desplazamiento del agua de cotas altas a cotas bajas)

CICLO DEL AGUA o CICLO HIDROLÓGICO

El agua, en su **movimiento continuo** por sobre o por debajo de la superficie terrestre va experimentando **cambios de estado** entre sólido, líquido y gaseoso, a través de **procesos** que pueden durar entre un abrir y cerrar de ojos a millones de años.

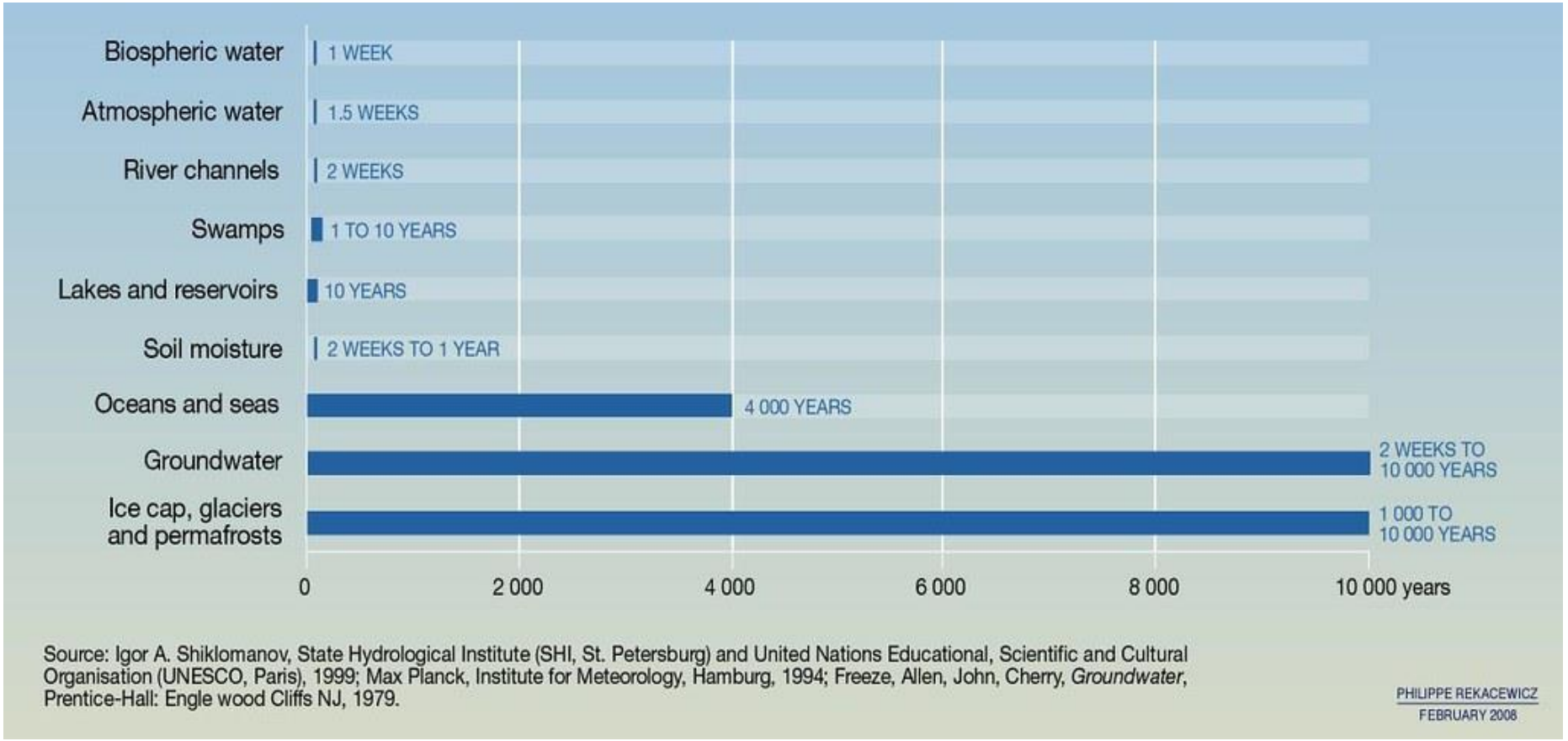
PROCESOS

- **evaporación**
- **transpiración**
- **circulación atmosférica**
- **condensación**
- **precipitación**
- **flujos superficiales y subterráneos**

CICLO DEL AGUA o CICLO HIDROLÓGICO

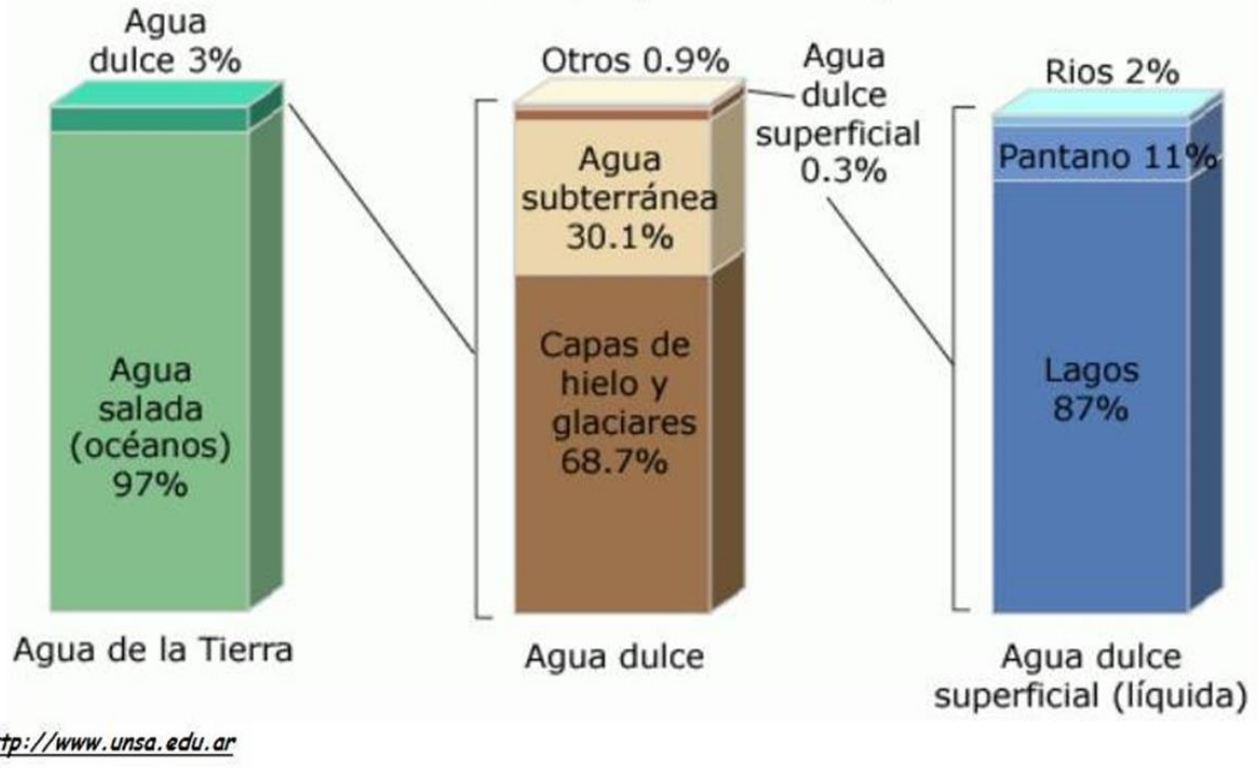


Tiempos de residencia del agua en sus distintas formas dentro del ciclo hidrológico



Distribución del agua en el planeta

La **mayor parte** de la masa de **agua** se encuentra en forma **líquida**, especialmente en océanos y mares, en menor medida como cuerpos de agua superficial (ríos, lagos, arroyos, etc.) y en napas subterráneas (acuíferos).



FUENTE: http://www.unsa.edu.ar

El **total de agua en el planeta** Tierra se estima en **1.386 millones de km^3**

Funciones e importancia de la hidrosfera

1. Ayuda a regular la temperatura de la Tierra.

El agua se calienta y se enfría mucho más lento que el aire (capacidad amortiguadora del agua); el agua acumula calor en el día y, al caer la noche, se va liberando ese calor consiguiendo que las zonas cercanas al agua no tengan cambios muy bruscos de temperatura.

2. Es fundamental para la vida de todos los seres vivos.

Todos los organismos necesitan agua para realizar sus funciones vitales.

3. Moldea y transforma los ambientes (erosión).

Por ejemplo, los acantilados y la arena en las playas son (en parte) el resultado del continuo impacto del agua sobre las rocas.

En zonas frías el agua penetra dentro de pequeñas grietas que puedan tener las rocas y, cuando se congela, el volumen del agua crece rompiendo la roca.

4. Al ser el hielo menos denso que el agua líquida, flota.

Gracias a esto, los casquetes polares pueden actuar como un ecosistema para animales y plantas.

Balance hídrico

Para un período determinado, la forma más simplificada de un balance hídrico es:

$$\text{INGRESOS} - \text{EGRESOS} = \pm \Delta S$$

Aplicado al ciclo hidrológico se puede escribir:

$$P - (ETR + ES + I) = \pm \Delta S$$

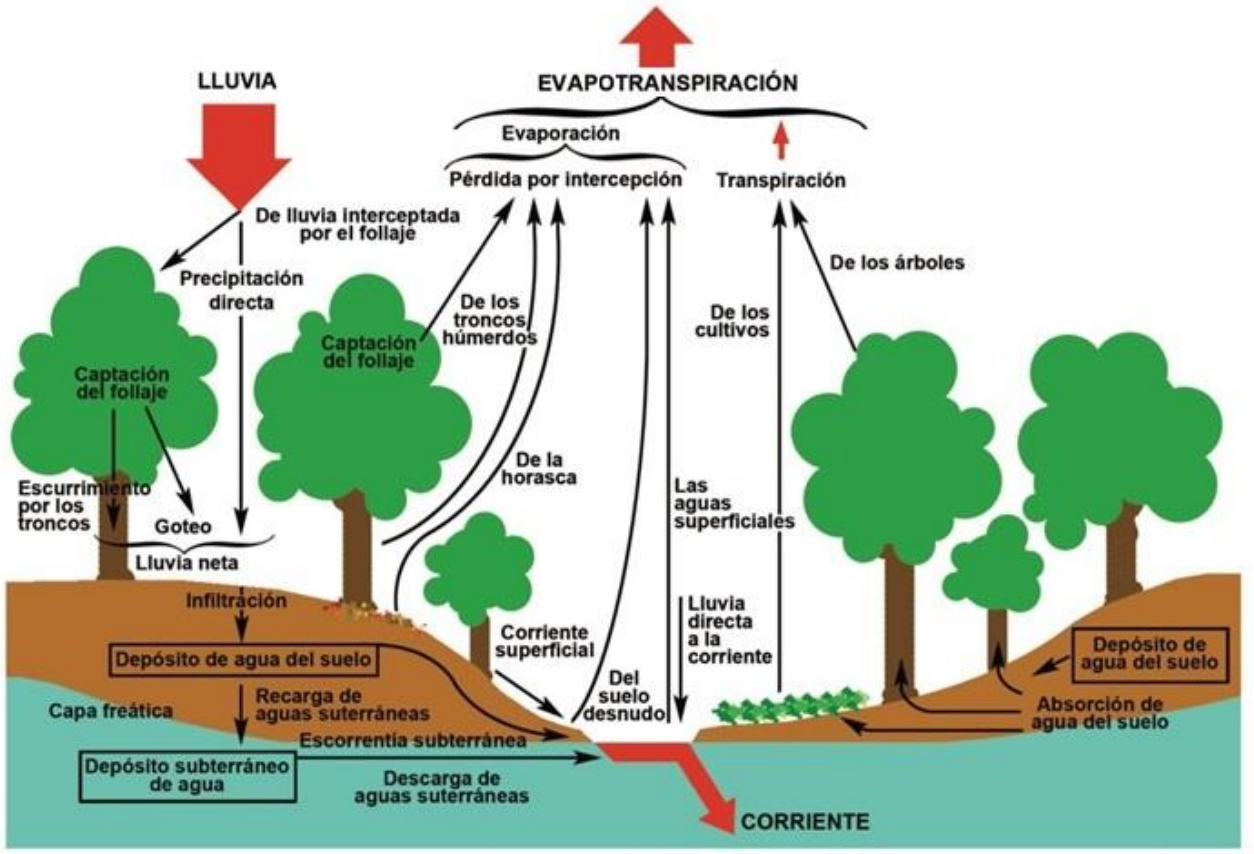


Figura 1. El ciclo hidrológico en un ecosistema forestal (adaptado de FAO 2009).

P = ETR + ES + I (P-Es-ET-I = 0)

P (Precipitación)

Lluvia / nieve / granizo

ETR (Evapotranspiración)

Evaporación: Una parte del agua precipitada se evapora desde la superficie del **suelo** o directamente desde el **follaje** de las plantas (este último fenómeno se denomina INTERCEPCIÓN) y, en lluvias de corta duración sobre zonas boscosas, éstas pueden devolver a la atmósfera una gran parte del agua precipitada sin que ésta haya alcanzado el suelo.

Transpiración: A las hojas de las plantas llega gran cantidad del agua absorbida por las raíces; una pequeña parte se utiliza en la fotosíntesis y el resto se pierde en forma de vapor a través de las hojas.

P = ETR + ES + I

Escurrimiento superficial (ES)

El agua que se mueve libremente por la superficie del terreno por acción de la gravedad; puede seguir varios caminos:

- Se evapora desde la superficie de los cuerpos de agua (ríos, lagos, embalses).
- Queda retenida como nieve o hielo (escurrimiento superficial diferido).
- Sigue su camino hacia un nivel de base local y de allí al mar (escurrimiento superficial rápido).

Infiltración (I)

El agua que se ingresa al terreno; puede seguir varios caminos:

- Evaporación, desde el suelo húmedo.
- Transpiración, desde raíz y follaje de las plantas.
- Escurrimiento subsuperficial o hipodérmico (agua infiltrada que vuelve nuevamente a la superficie).
- Percolación, hasta alcanzar el escurrimiento subterráneo.

Agua subterránea

*Es el agua que **alcanzó la zona saturada** y **circula por el medio físico** (sedimentos, rocas porosas o rocas fisuradas) **siguiendo el gradiente hidráulico regional** (pendiente hidráulica).*

Este camino, desde que ingresa al terreno hasta que sale del mismo puede involucrar recorridos de unos cuantos metros a varios kilómetros, en períodos que van desde meses a miles de años.

Es una **SALIDA** del sistema que puede darse de alguna de las siguientes formas :

- **Artificialmente**, a través de pozos u otras obras de captación.
- **Naturalmente**, a través de:
    - un manantial.
    - procesos de evapotranspiración.
    - plantas freatófitas.
    - superficie freática cercana a la superficie del terreno.
    - aporte a un curso fluvial.
    - descarga en el mar u otro cuerpo de agua (lago, salar, pantano, etc.).

Ciencias del agua

Existen varias disciplinas que estudian los recursos hídricos.

Rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, propiedades físicas y químicas, es decir la hidrósfera:

HIDROLOGÍA

Cuando se estudia el agua que se encuentra en océanos, mares, ríos, lagos, otros cuerpos de agua, la atmósfera y la superficie terrestre, lo que incluye precipitaciones, escorrentía, humedad del suelo, evapotranspiración y equilibrio de las masas glaciares:

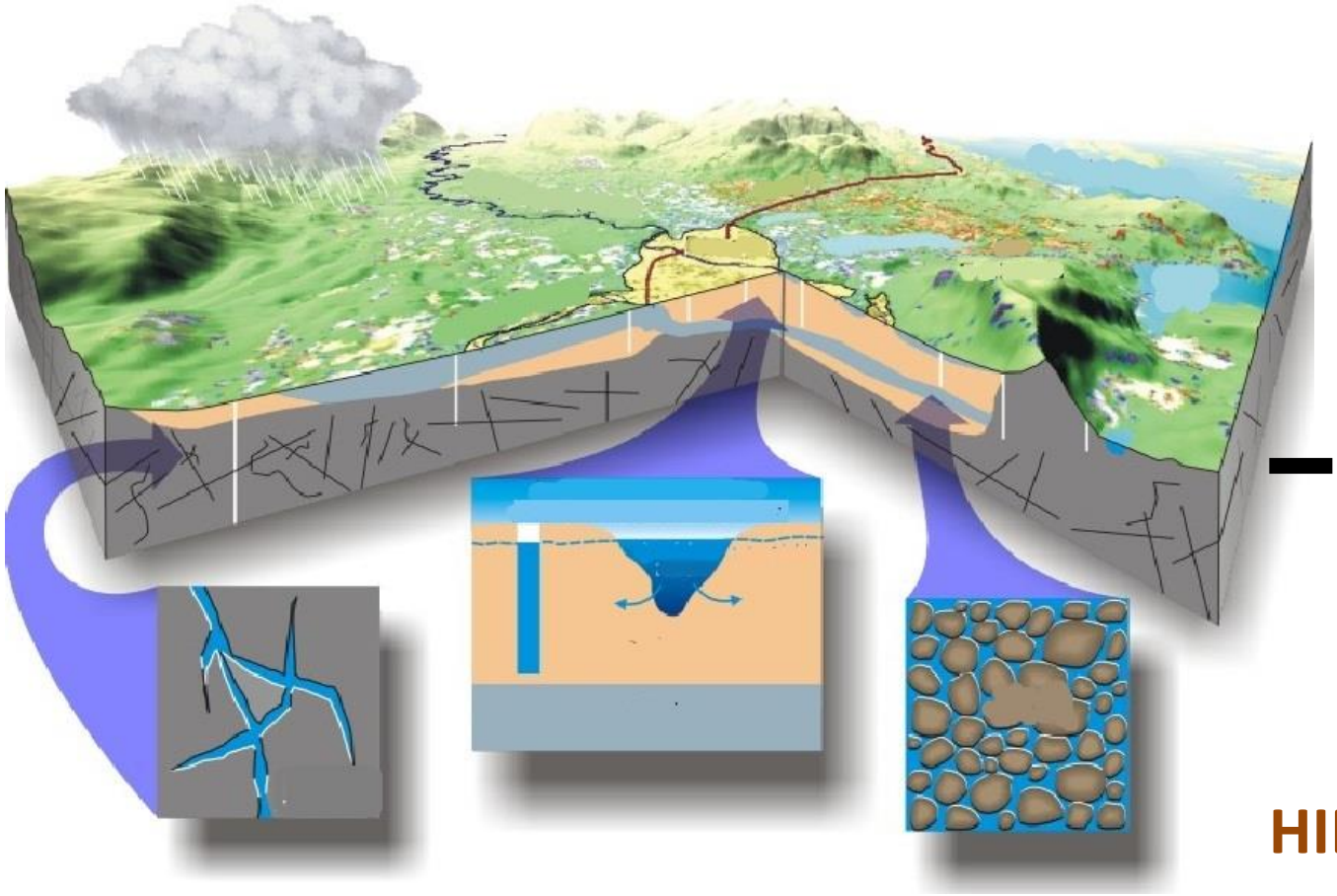
Hidrología superficial (Hidrología)

Cuando el estudio comprende a las aguas subterráneas:

Hidrología subterránea (Hidrogeología)

Ciencia que estudia a la hidrósfera

HIDROLOGÍA



Hidrología Superficial

HIDROLOGÍA

Hidrología Subterránea

HIDROGEOLOGÍA

Usos e Importancia del Agua Subterránea

- El agua subterránea es un recurso **vital para la humanidad**.
- Constituye la **mayor reserva de agua dulce accesible**.
- Proporciona **agua potable** a cerca del **50% de la población mundial** y representa alrededor del **43%** de toda el agua utilizada para **el riego**.

- Su papel en el **ecosistema** es esencial: mantiene manantiales, lagos, lagunas, humedales y caudales de ríos.
- Regula la interface agua dulce / agua salada en los acuíferos costeros.
- En **entornos desérticos**, la descarga de agua subterránea forma los **oasis** (hábitat para animales y plantas).

Usos e Importancia del Agua Subterránea

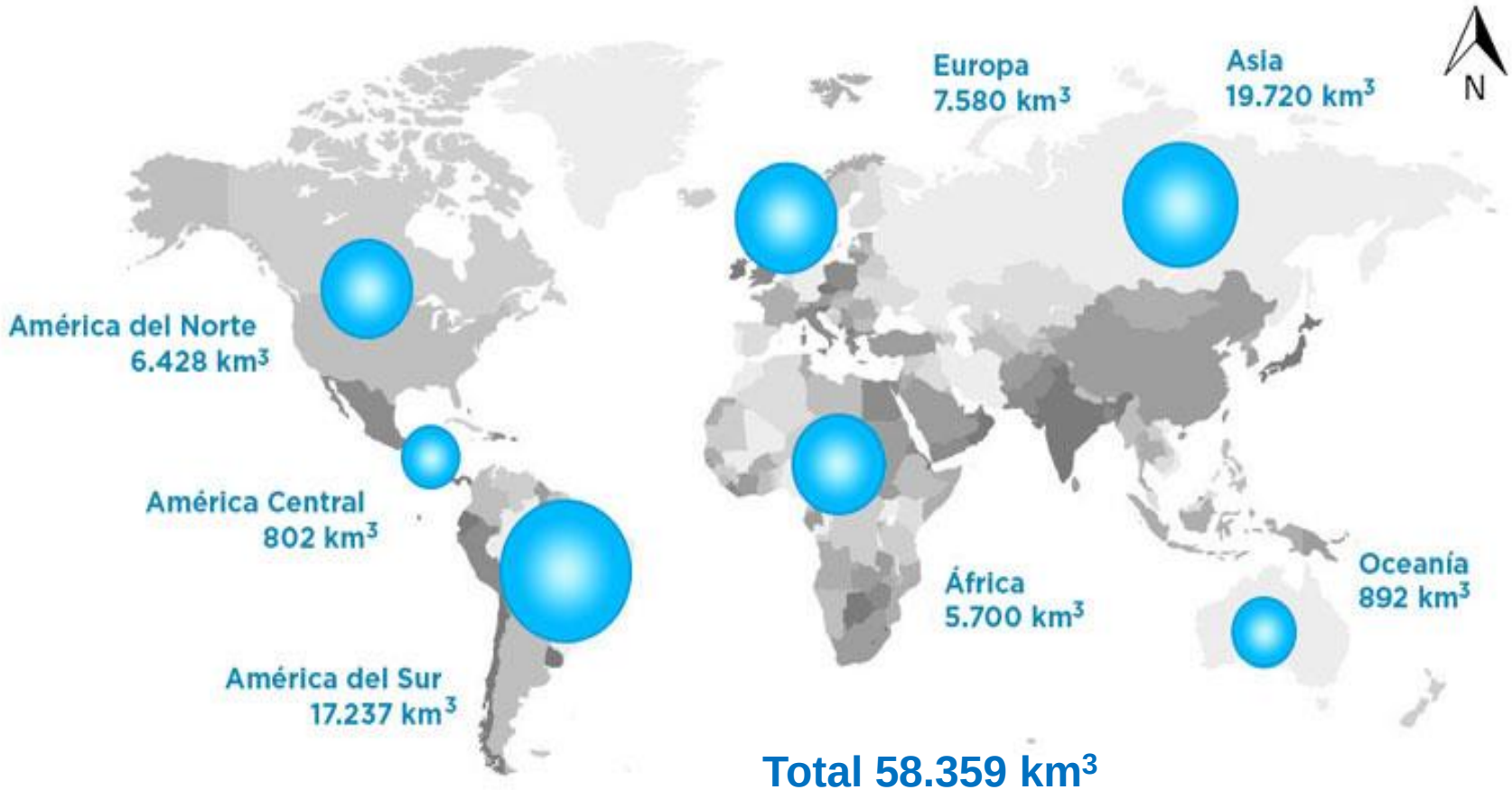
La **relación** entre los **recursos hídricos** mundiales **disponibles** y la **densidad demográfica** mundial está **irregularmente repartida** en las diferentes regiones del mundo.

Varias regiones están agotando sus recursos de agua dulce a un ritmo muy rápido y algunos países experimentan niveles extremadamente altos de **estrés hídrico.**

Hay alrededor de **800 millones de personas que no tienen acceso a agua limpia** y unos 4 mil millones de personas que viven bajo la escasez de agua al menos un mes al año.

A nivel mundial, el principal problema es el **acceso al AGUA POTABLE**. Esto ocasiona millones de casos al año de enfermedades relacionadas a la falta de agua segura.

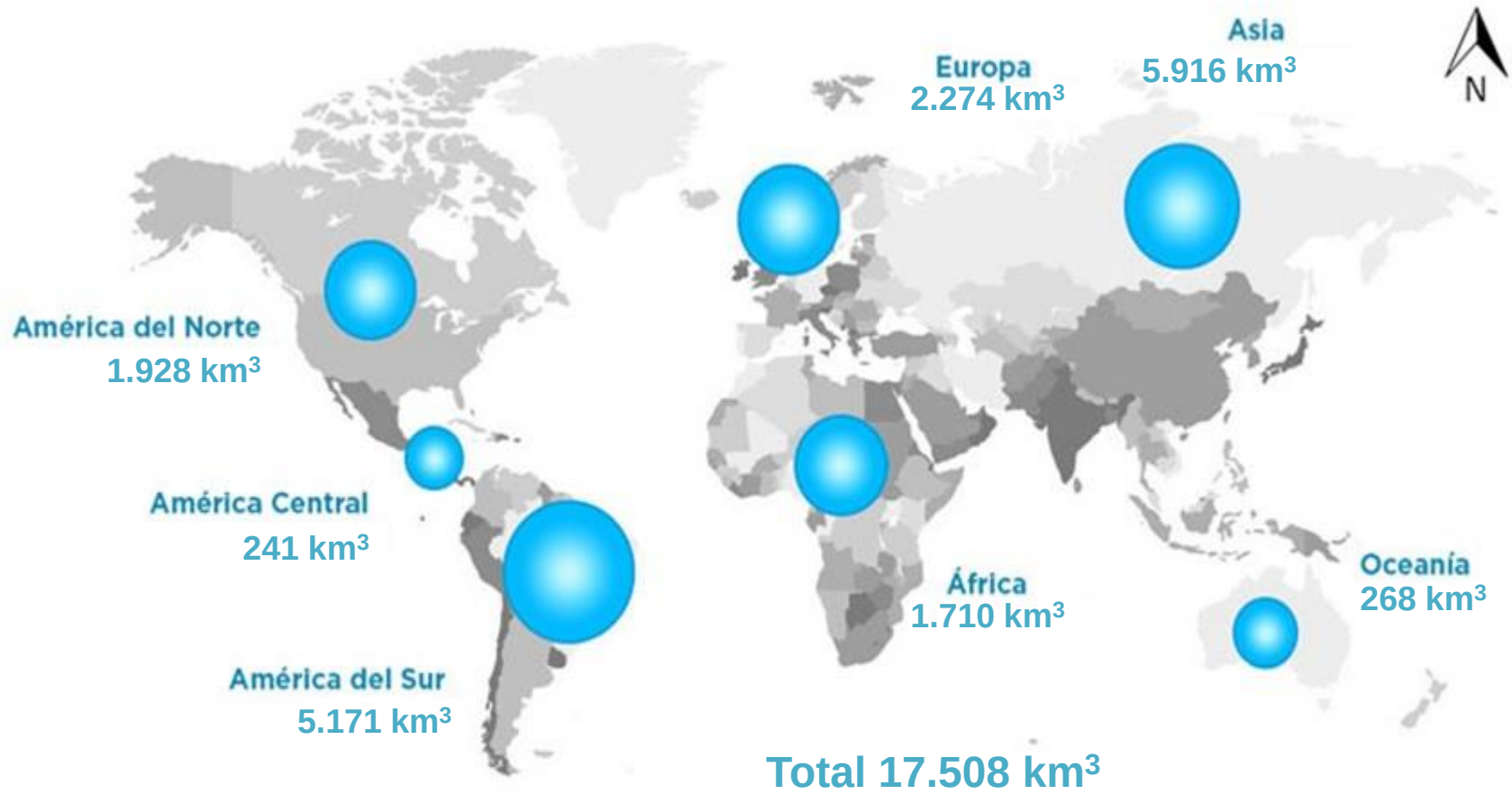
Reservas mundiales de agua dulce
(por región)



Total 58.359 km³

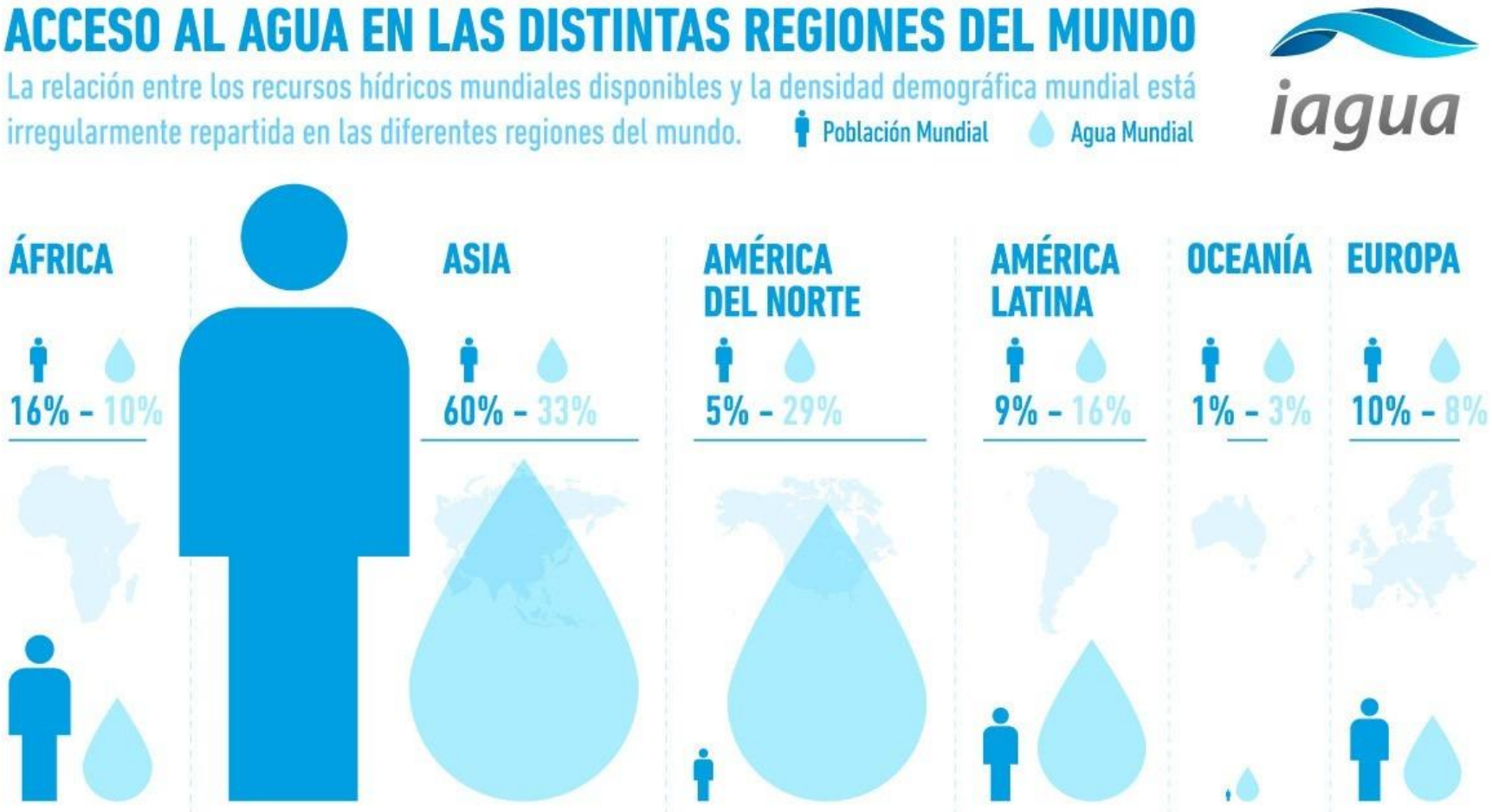
Para algunas regiones los valores no comprenden a 100% de los países que las conforman: África (93% de los países); Centroamérica (81% de los países); Europa (85% de los países) y Oceanía (31% de los países).

Reservas mundiales de agua subterránea
(por región)



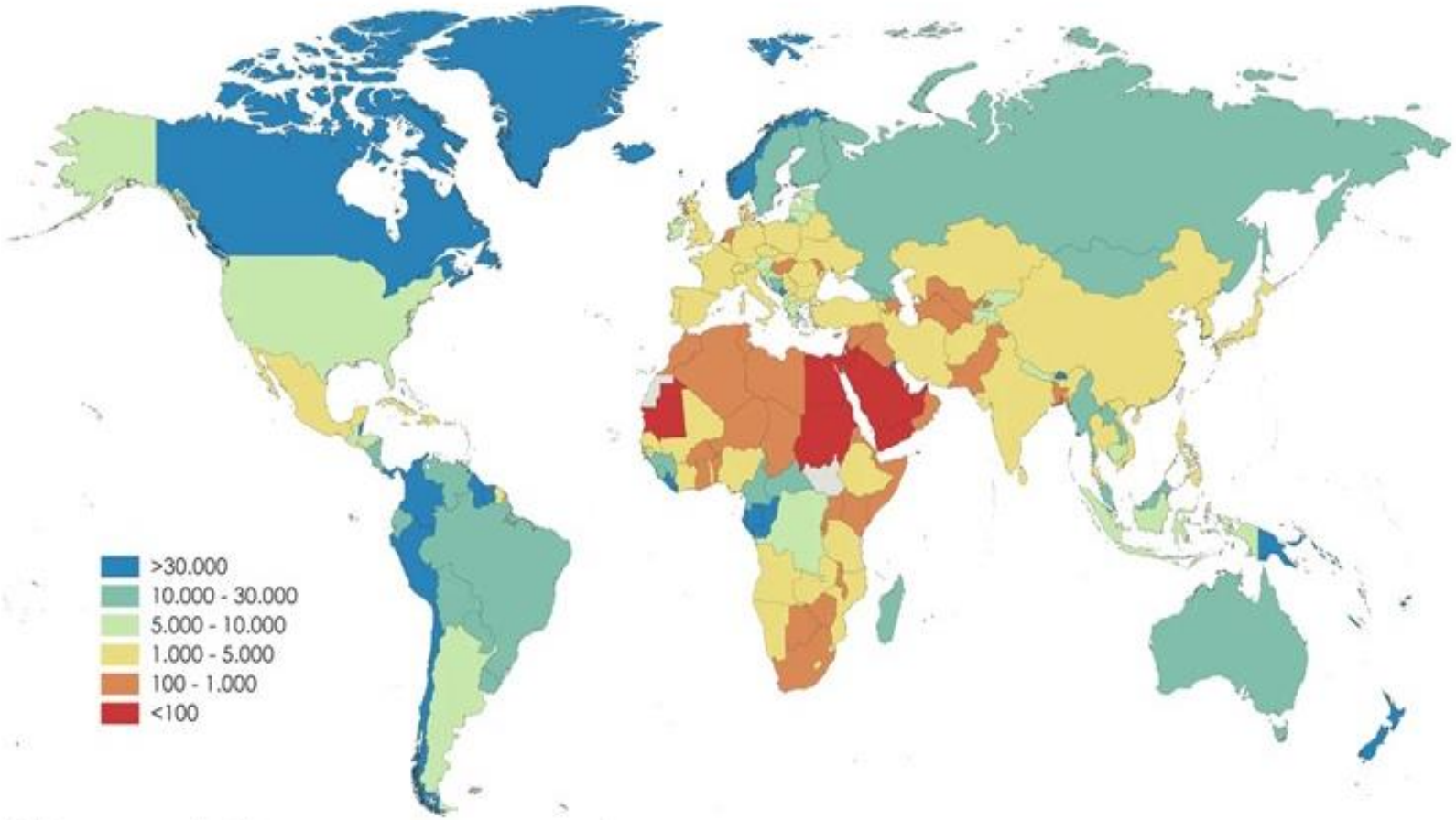
Para algunas regiones los valores no comprenden a 100% de los países que las conforman: África (93% de los países); Centroamérica (81% de los países); Europa (85% de los países) y Oceanía (31% de los países).

Densidad demográfica (%) vs. Volumen de Agua (%)



Fuente: "Solutions for the Global Water Crisis" de Citi GPS

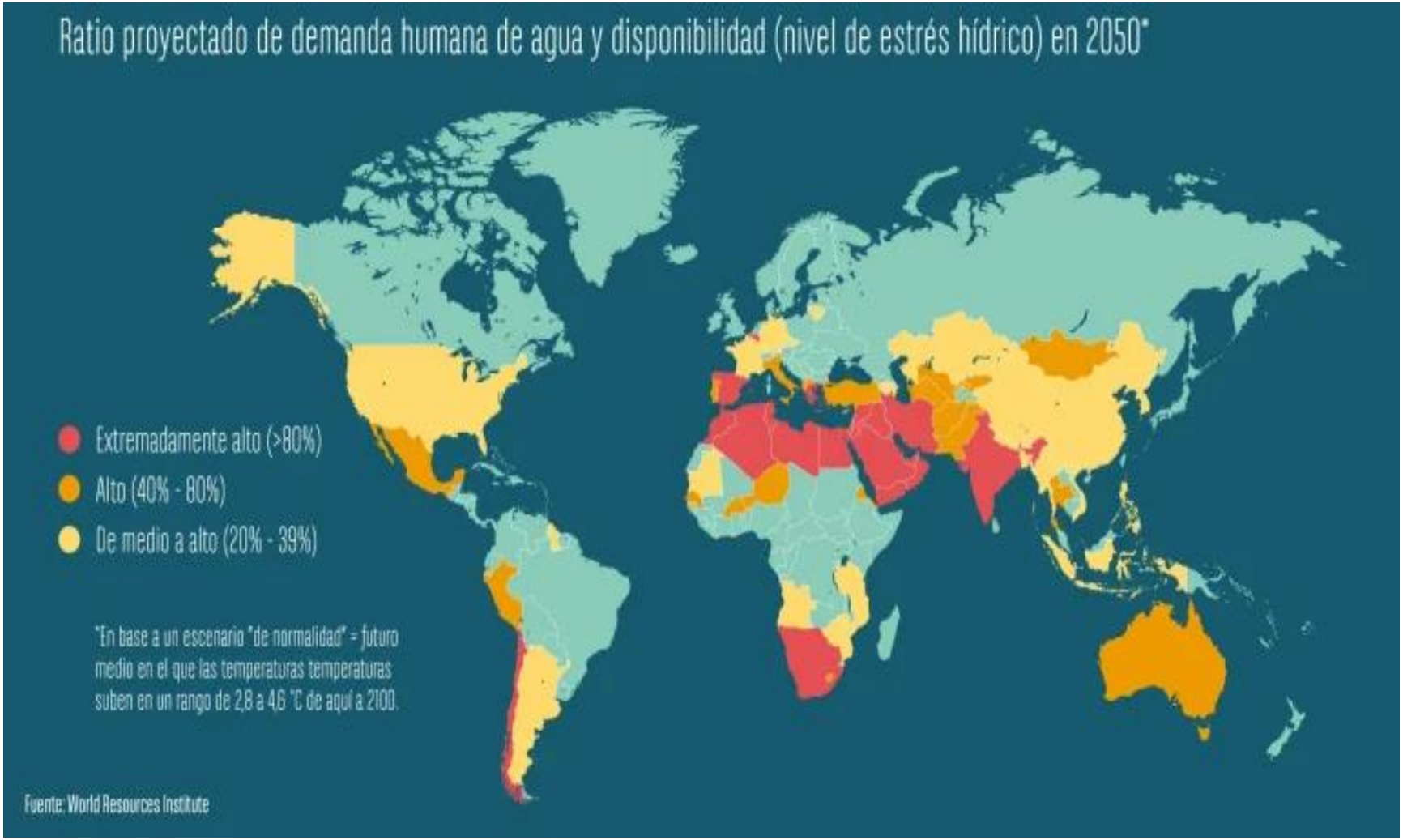
Recursos de agua dulce renovables per cápita (m^3; 2020)



Autor: Álvaro Merino (2023)

Fuente: Banco Mundial (2020)

Proyección de zonas con mayor estrés hídrico en 2050



IMPORTANCIA DEL AGUA

Principio Nº 1

Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente (Dublín 1992)



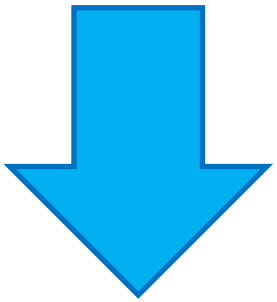
"El **agua dulce** es un **recurso finito y vulnerable**, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente"



IMPORTANCIA DEL AGUA

Diversos fenómenos en el ámbito mundial

- El crecimiento demográfico
- Los cambios en el uso del suelo:
  - El aumento de las superficies cultivadas
  - La mayor urbanización
- La contaminación
- El calentamiento climático global



EJERCEN **PRESIONES CRECIENTES** SOBRE EL RECURSO

USOS ALTERNATIVOS DEL AGUA

El agua se utiliza para varios propósitos:

- Higiene y bebida (domésticos)
- Agricultura







USOS ALTERNATIVOS DEL AGUA

El agua se utiliza para varios propósitos:

- Industria
- Generación de energía (hidroeléctrica)





USOS ALTERNATIVOS DEL AGUA

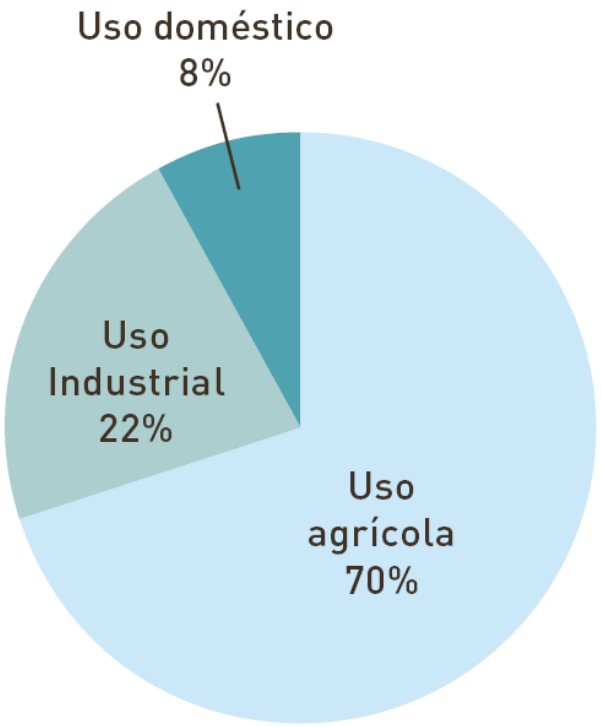
El agua se utiliza para varios propósitos:

- Recreación
- Medicinal (aguas termales)

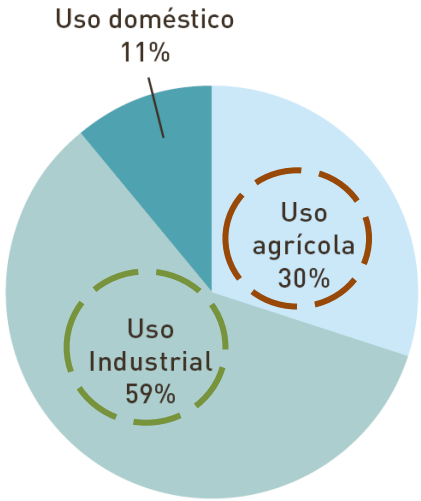




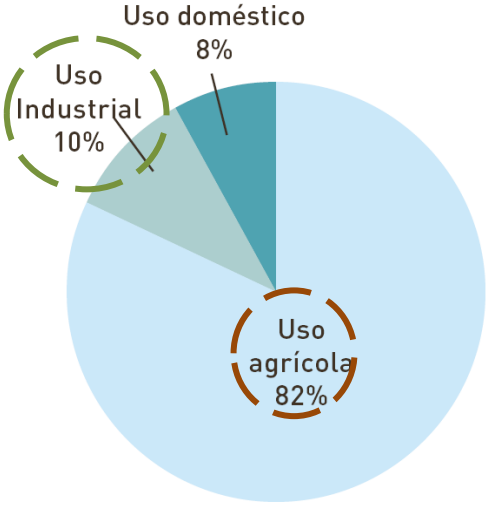
USOS ALTERNATIVOS DEL AGUA



Usos alternativos del agua
(mundo)



Usos alternativos del agua
(países de ingresos elevados)



Usos alternativos del agua
(países de ingresos medios
y bajos)

Fuente : BANCO MUNDIAL

IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La capacidad de los sistemas de **aguas subterráneas** para ofrecer diversos "servicios y beneficios" a las sociedades depende de sus propiedades (geográficamente variables) y está influenciada por procesos naturales y humanos.

Muchos de los principales depósitos de agua subterránea (acuíferos) del mundo se están agotando.

Agotamiento

- disminución del caudal de ríos y arroyos
- desecación de manantiales y/o humedales
- pérdida de vegetación
- la disminución del nivel del agua de los pozos
- hundimiento de la tierra

IMPORTANCIA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En muchas áreas, el agua subterránea es la única posibilidad para contar con un suministro de agua.



Ciudad

16.000 habitantes
consumo x habitante de 300 litros/día

4.800 m^3 de agua dulce/día



Perforación

Caudal: 200 m^3/hora

4.800 m^3 de agua dulce/día

Ventajas y desventajas del uso de agua subterránea

VENTAJAS

- **Calidad constante**
- **Utilizable con mínimo tratamiento**
- **Temperatura estable**
- **Ausencia de masa biótica**
- **Sin sólidos**
- **Estabilidad de caudales**

Utilización para agua potable

- **Pequeñas inversiones** iniciales (vs. plantas de potabilización).
- **Crecimiento** del **abastecimiento** en grandes ciudades puede **solucionarse paulatinamente**.
- Las **captaciones** pueden ubicarse muy **próximas a los consumos** (economía en conducciones.)
- Generalmente **no** necesita **tratamiento especial** (cloración).
- Permite solucionar problemas de abastecimiento en forma muy rápida (corto tiempo de construcción).

Utilización en agricultura

- Permite solucionar **problemas de riego** sin tener que esperar soluciones de **infraestructura** (Estado).
- Captaciones **próximas al consumo**.
- Permiten disponer del agua **cuando se requiere**.
- Utilizar como **complemento** de **riego superficial**.
- Permite **reducir** los **volúmenes** de aplicación **por hectárea** (menos pérdidas en la conducción).

Utilización en industrias

- Permite **disponer** de una **fuente propia** independiente de variaciones en la red de suministro (si existe).
- Permite ubicar la **captación** dentro del **mismo predio** de la industria.
- Permite obtener agua de calidad para procesos industriales.

Ventajas y desventajas del uso de agua subterránea

DESVENTAJAS

Sobreexplotación

Extracción excesiva de agua subterránea puede producir:

Agotamiento: afecta la disponibilidad

Subsidencia: hundimiento del suelo (daños a la infraestructura).

Intrusión salina: ingreso de agua salada (zonas costeras).

Contaminación

- Vertido de sustancias químicas, aguas residuales, uso de fertilizantes y pesticidas.
- Perforaciones en mal estado.

Calidad del agua

Puede contener sólidos disueltos, metales, contaminantes naturales (As), lo que afecta su calidad y puede requerir tratamiento para ser apta para el consumo humano.

Costo inicial

La perforación de pozos profundos es costosa (equipos especiales).

Recarga lenta

Puede tomar años o décadas (vulnerables a la sobreexplotación).

Dependencia de la energía

Requiere el uso de bombas para extraerlas (excepto surgentes) y puede ser problemático en caso de fallas de energía o en áreas remotas.