

Capítulo 1

HIDROENERGÍA

Central Urrá
Autor: Ingfocol Ltda

¿QUÉ ES LA HIDROENERGÍA?

Es la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada (energía potencial) a cierta altura y se dejar caer para producir energía eléctrica.

Esta fuente de energía renovable se encuentra disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua; la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas, y para su desarrollo requiere construcciones que varían de acuerdo con las condiciones del entorno.



Figura 1.1. Central de Urrá
Fuente: Ingfocol Ltda



¿CÓMO SE GENERA?

En una central hidroeléctrica, la transformación de la energía potencial en energía cinética se logra mediante la caída del agua. El agua que cae pasa por unas turbinas que se acoplan a un generador. Estas convierten la energía cinética en energía mecánica.

El generador tiene como función transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Esta transformación se consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: la parte móvil llamada rotor, y la parte estática que se denomina estátor. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, el rotor genera un flujo

magnético que actúa como inductor para que el estátor transforme la energía mecánica en energía eléctrica.

¿QUÉ ES UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA?

Una central hidroeléctrica es una instalación que permite el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos, para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a generadores. Después de este proceso, el agua se devuelve al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a usar por otra central situada aguas abajo o para consumo. (Figura 1.2).

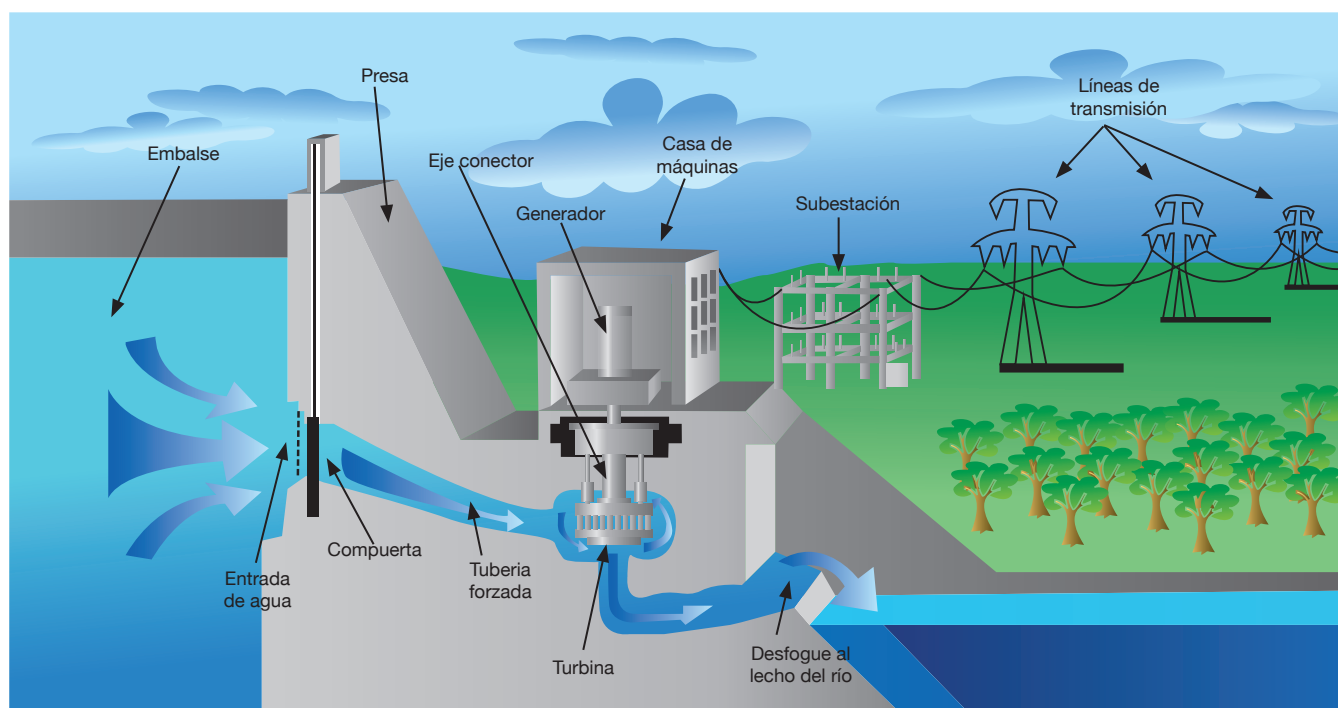


Figura 1.2. Central hidroeléctrica

COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

- **Presa.** Se encarga de contener el agua de un río y almacenarla en un embalse.
- **Sala de máquinas.** Construcción donde se sitúan las máquinas (turbinas, alternadores...) y elementos de regulación y control de la central.
- **Turbina.** Elementos que transforman en energía mecánica la energía cinética de una corriente de agua.
- **Alternador o generador.** Tipo de generador eléctrico destinado a transformar la energía mecánica en eléctrica.
- **Conducciones.** La alimentación del agua a las turbinas se hace a través de un sistema complejo de canalizaciones



TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Central de agua fluyente

Estas centrales se construyen en los lugares en que la energía hidráulica debe emplearse en el instante en que se dispone de ella, para accionar las turbinas hidráulicas.

No cuentan con reserva de agua, oscilando el caudal suministrado según las estaciones del año. En la temporada de precipitaciones abundantes (de aguas altas), desarrollan su potencia máxima y dejan pasar el agua excedente. Durante la época seca (aguas bajas), la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en la época del estío.



Figura 1.3. Central a filo de agua

Fuente: Ingfocol Ltda

Central con embalse o de regulación

En este tipo de centrales se embalsa un volumen considerable de agua mediante la construcción de una o más presas que forman lagos artificiales; el embalse permite regular la cantidad de agua que pasa por las turbinas, con el fin de unificar las variaciones temporales de los caudales afluentes en el río. Las centrales con almacenamiento o regulación exigen, por lo general, una inversión de capital mayor que las de filo de agua, pero facilitan el incremento de la producción energética, disminuyendo el costo de la energía generada.

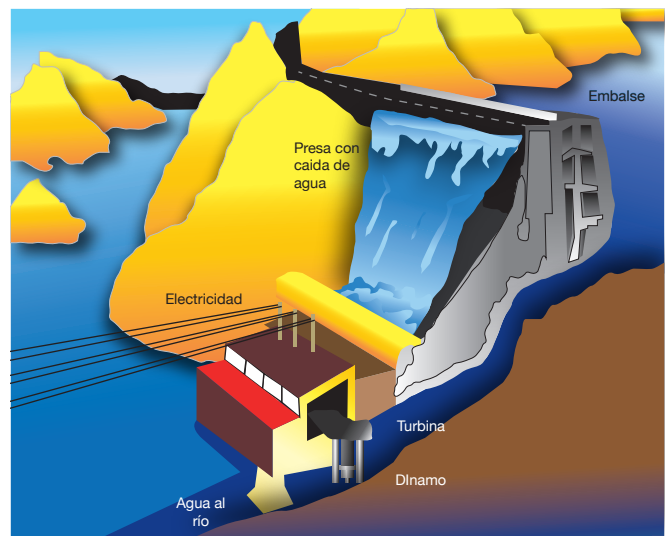


Figura 1.4. Central con embalse

Central de acumulación por bombeo

Disponen de dos embalses situados a diferente nivel; cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, el agua almacenada en el embalse superior hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador funcionando como una central convencional generando energía. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en las que la demanda es menor el agua se bombea al embalse superior para que inicie nuevamente el ciclo productivo. Para ello la central dispone de un grupo de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

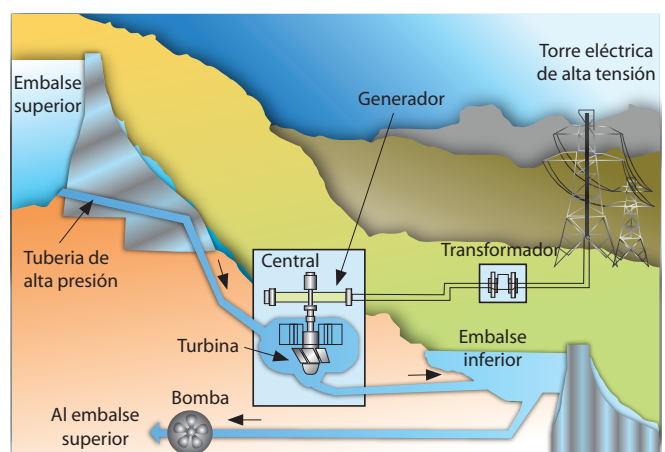


Figura 1.5. Central de acumulación por bombeo



Centrales mareomotrices

La energía de las mareas se transforma en electricidad en las denominadas centrales mareomotrices, que funcionan como un embalse tradicional de río. El depósito se llena con la marea y el agua se retiene hasta la bajamar para ser liberada después a través de una red de conductos estrechos, que aumentan la presión, hasta las turbinas que generan la electricidad.

Sin embargo, su alto costo de mantenimiento frena su proliferación. El lugar ideal para instalar una central mareomotriz es un estuario, una bahía donde el agua de mar penetra. La construcción de una central mareomotriz es solo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja.

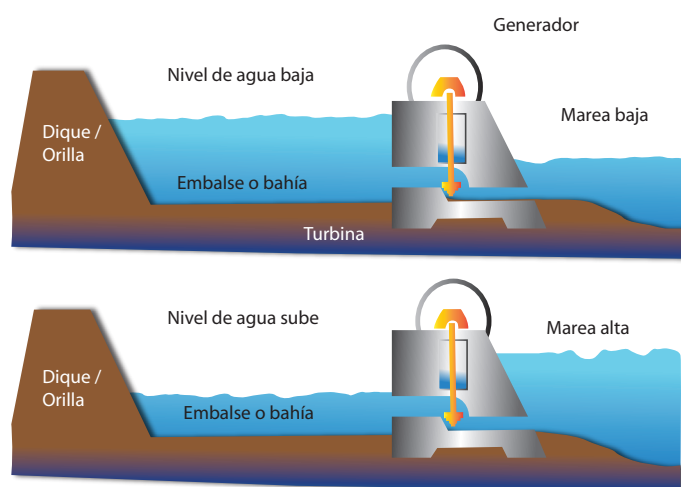


Figura 1.6. Central mareomotriz

El agua, al pasar por el canal de carga hacia el mar, acciona la hélice de la turbina y esta, al girar, mueve un generador que produce electricidad.

CLASIFICACIÓN DE LAS HIDROELÉCTRICAS

No existe un criterio único de clasificación de las centrales hidroeléctricas, ya que los valores de clasificación pueden variar según el país.

En función de su capacidad, se pueden clasificar las hidroeléctricas en picocentrales, microcentrales, minicentrales, pequeñas centrales hidroeléctricas (Pch) y centrales hidroeléctricas (Ch).

La clasificación que se empleó en el atlas para la generación de los mapas fue la que adoptó la UPME del Ministerio de Minas y Energía sugerida por la Organización Latinoamericana de Energía (Olade) para las centrales hidroeléctricas¹ que se describe a continuación:

Picocentrales

Capacidad instalada entre 0,5 y 5 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Microcentrales

Capacidad instalada entre 5 y 50 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Minicentrales

Capacidad instalada entre 50 y 500 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas o casos aislados de zonas interconectadas.

Hidroeléctricas (PCH)

Capacidad instalada entre 500 y 20.000 kW, operación a filo de agua, aplicable a zonas no interconectadas y zonas interconectadas (sin posibilidad de participar en el despacho eléctrico, menores a 500 kW, y con posibilidad de hacerlo las mayores a 10.000 kW).

Centrales hidroeléctricas (CH)

Capacidad instalada mayor de 20 MW, aplicable a zonas interconectadas, con participación obligada en el despacho eléctrico.

¹ Esta clasificación se adoptó debido a que en el documento citado presenta una inconsistencia; define las Pch en el rango de 500 a 10.000 kW, pero luego aplica la definición también para centrales entre 10.000 y 20.000 kW. (pag 39). Consulte <http://www.siel.gov.co/siel/documentos/documentacion/generacion/costos_indicativos_generacion_ee.pdf>



HIDROENERGÍA EN EL MUNDO

La hidroenergía es la forma de energía renovable más utilizada en todo el mundo y representa la quinta parte de la electricidad mundial². Esta ha ayudado en el crecimiento económico en muchos países, como Brasil, Canadá, China, Estados Unidos y Noruega. (Banco Mundial, 2014)

En 2014, el desarrollo de la energía hidroeléctrica continuó su crecimiento, con un estimado de 1.055 GW total en el mundo³.

China dominó el mercado añadiendo 21,85 GW de nueva capacidad dentro de sus fronteras. Otros países también lideran el mercado en nuevas implementaciones. Estos países son Malasia (3,34 GW), Canadá (1,72 GW), India (1,20 GW), Turquía (1,35 GW), Brasil (3,31 GW) y Rusia (1,06 GW). (International Hydropower Association, 2015).

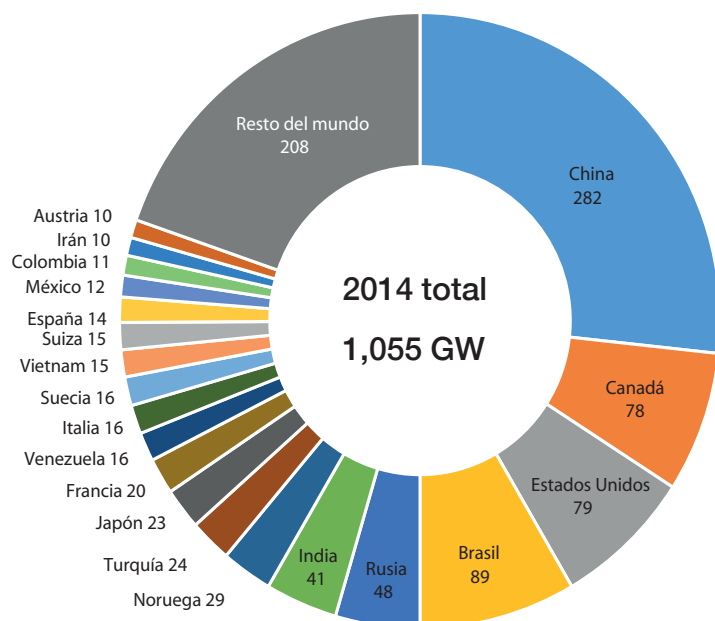


Figura 1.7. Total mundial de la capacidad hidroeléctrica instalada (GW) por país en 2014. Las cifras no incluyen acumulación por bombeo

Fuente: Key Trends in Hydropower, 2015

HIDROENERGÍA EN COLOMBIA

Desde finales del siglo XIX, cuando se empezó a estructurar el sistema energético colombiano, se pudo ver que el país tenía un gran potencial para generar electricidad a partir de la energía que produce el agua, ya que, debido a su ubicación, se presta para desarrollar proyectos que impliquen aprovechamientos hidráulicos.

De acuerdo con esto se crea el Sistema Interconectado Nacional (SIN), como un conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de distribución que se encuentran interconectados entre sí por el Sistema de Transmisión Nacional (STN).

El SIN tiene una cobertura alrededor del 48% en el territorio nacional, pero provee cerca del 98.2% del consumo total de energía eléctrica del país; este se encuentra distribuido en la región Central o Andina y en la Costa Atlántica. El resto de la demanda de energía se da en zonas remotas del territorio llamadas Zonas no interconectadas. (UPME, 2013).

La compañía XM S.A. E.S.P, es la compañía que actualmente opera el SIN de Colombia y administra el Mercado de Energía Mayorista (MEM) del país. En su informe "Operación del SIN y administración del mercado", revela que la capacidad efectiva neta (CEN)⁴ instalada en el SIN al finalizar 2014 fue 15,489 MW.

En la tabla 1.1 se presenta los registros de capacidad efectiva neta a diciembre del 2013 y 2014. Al comparar la capacidad de 2014 con la registrada en 2013, se observa un crecimiento en 930 MW, equivalentes al 6,4%.

Este aumento obedece principalmente a la entrada en operación de las centrales hidroeléctricas Hidrosogamoso, 819 MW; Darío Valencia Samper, unidad 1 y 5, de 50 MW cada una; el Popal, 19.9 MW; el Salto II, 35 MW y Laguneta, 18 MW. De acuerdo con lo anterior se puede identificar que el recurso hidráulico tuvo una participación del 64% en la generación de energía eléctrica⁵.

² Dato tomado de la página oficial del Banco Mundial <<http://www.bancomundial.org/es/topic/hydropower/overview>>

³ Dato tomado de página oficial international hydropower association. Publicación 2015 *Key Trends In Hydropower*. <<http://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/IHA%202015%20Key%20Trends%20in%20Hydropower.pdf>>

⁴ La capacidad efectiva es la máxima cantidad de potencia neta (expresada en megavatios) que puede suministrar una unidad de generación en condiciones normales de operación

⁵ Datos tomados de la página oficial de XM S.A. E.S.P. <<http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>>



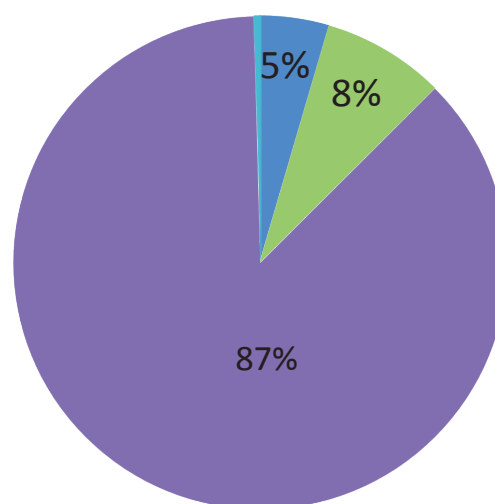
Tabla 1.1. Capacidad efectiva neta del SIN a diciembre 31 de 2013 y 2014

Recursos	2013 MW	2014 MW	Participación %	Variación (%) 2013 - 2014
Hidráulicos	9.315	10.315	64	10,7
Térmicos	4.515	4.402	31	-2,5
Gas	1.972	1.757		-10,9
Carbón	997	1.003		0,6
Combustóleo	307	297		-3,3
ACPM	917	1.023		11,6
Jet1	46	46		0
Gas-Jet A1	276	276		0
Menores	662,2	694,7	4,5	4,9
Hidráulicos	560,5	584,9		4,4
Térmicos	83,4	91,4		9,6
Eólica	18,4	18,4		0
Cogeneradores	66,3	77,3	0,5	16,6
Total SIN	14.558,50	15.489	100	6,4

Fuente: XM S.A. E.S.P.

Vertimientos por región

Durante 2014 los vertimientos totales del SIN fueron de 776 GWh, muy superiores a los registrados en 2013 (150,7 GWh). La gran mayoría de estos vertimientos (87,1%) se registraron en la región Oriente, seguida muy de lejos por centro con el 8% del total y Antioquia con el (5%)⁶. En Valle los vertimientos fueron insignificantes (0,4%), y en la región Caribe no hubo.



■ Antioquia ■ Caribe ■ Centro ■ Oriente ■ Valle

Figura 1.8. Vertimientos GWh

Fuente: XM S.A. E.S.P.

Demanda de energía nacional

Colombia en 2014, tuvo una demanda de energía 63,571 GWh, con un crecimiento del 4,4% frente a 2013, que se constituye en el mayor crecimiento de demanda en los últimos 10 años. (Figura 1.9).

La razón principal de este mayor crecimiento se debió al incremento del 5% de la demanda de energía del

mercado regulado (consumo de energía del sector residencial y pequeños negocios) ocasionado por el mayor consumo de energía en refrigeración y acondicionamiento del ambiente ante la presencia de las altas temperaturas en el país entre los meses de mayo a octubre⁷.

⁶ Datos tomados de la página oficial de XM S.A. E.S.P. <<http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/2-11-Anex-Vertimientos-por-region.aspx>>

⁷ Datos tomados de la página oficial de informes XM S.A. E.S.P. <<http://informesanuales.xm.com.co/2014/SitePages/operacion/3-1-Demanda-de-energia-nacional.aspx>>

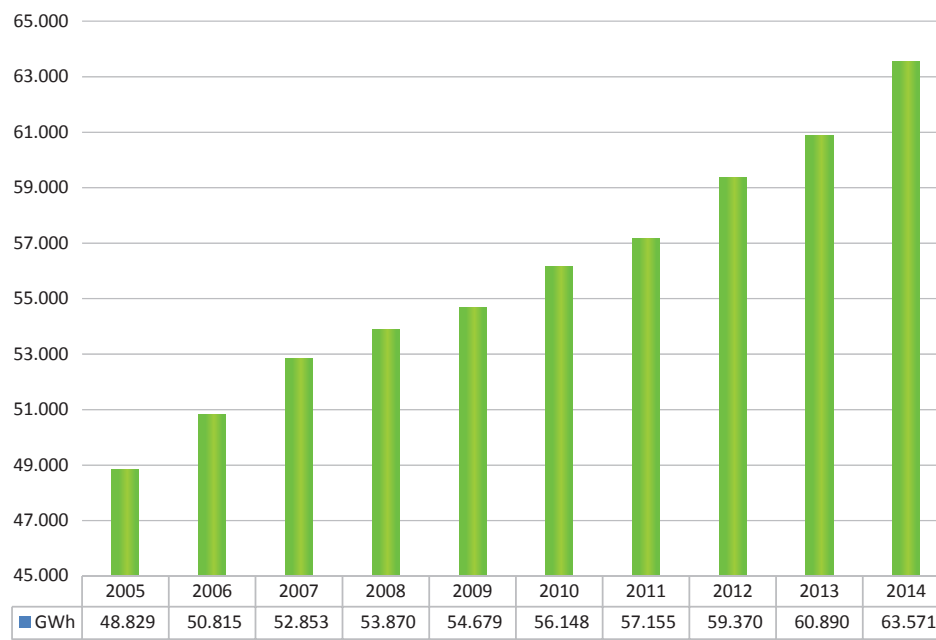


Figura 1.9. Comportamiento de la demanda de energía en Colombia de los últimos 10 años

Fuente: XM S.A. E.S.P.



Central Urrá

Capítulo 2

AGUA

SUPERFICIAL



Chec
Autor: Ingfocol Ltda

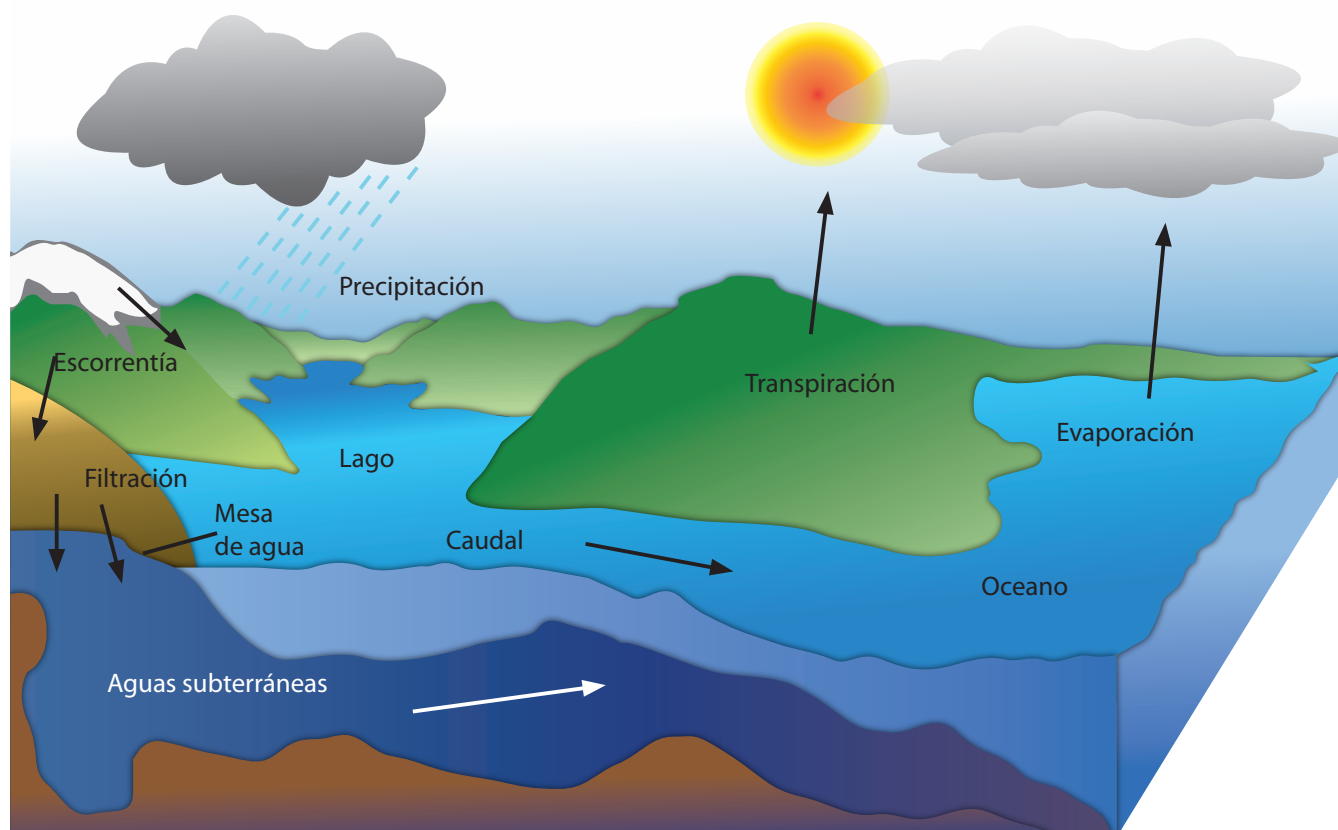
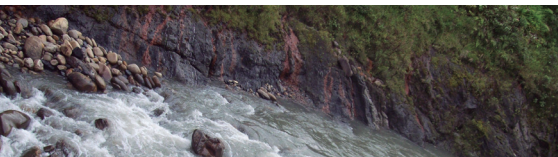


Figura 2.1. Ciclo hidrológico

El agua es un recurso natural básico e insustituible, sin el cual no es posible la vida ni la actividad del hombre. Se diferencia de los otros recursos naturales por su gran propiedad de renovación a causa del ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico, estudiado como un sistema, es el proceso continuo que permite que el agua circule entre la atmósfera y la superficie terrestre a través de fenómenos físicos como evaporación, condensación, precipitación y transpiración. (Figura 2.1).

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que integran una totalidad, la cual contribuye al desarrollo de un propósito. También es normal definir un sistema como la representación de un conjunto de subsistemas que intercambian energía con el fin de transformarla. Por ello, el ciclo hidrológico se puede dividir en tres subsistemas (Figura 2.2): el agua atmosférica, el agua superficial y el agua subsuperficial. En el subsistema agua atmosférica, se dan procesos como la evaporación y la precipitación; en



el subsistema agua superficial, tienen lugar procesos como el nacimiento de quebradas y el caudal de los ríos; en

el subsistema agua subsuperficial, se presenta la infiltración y la recarga de acuíferos.

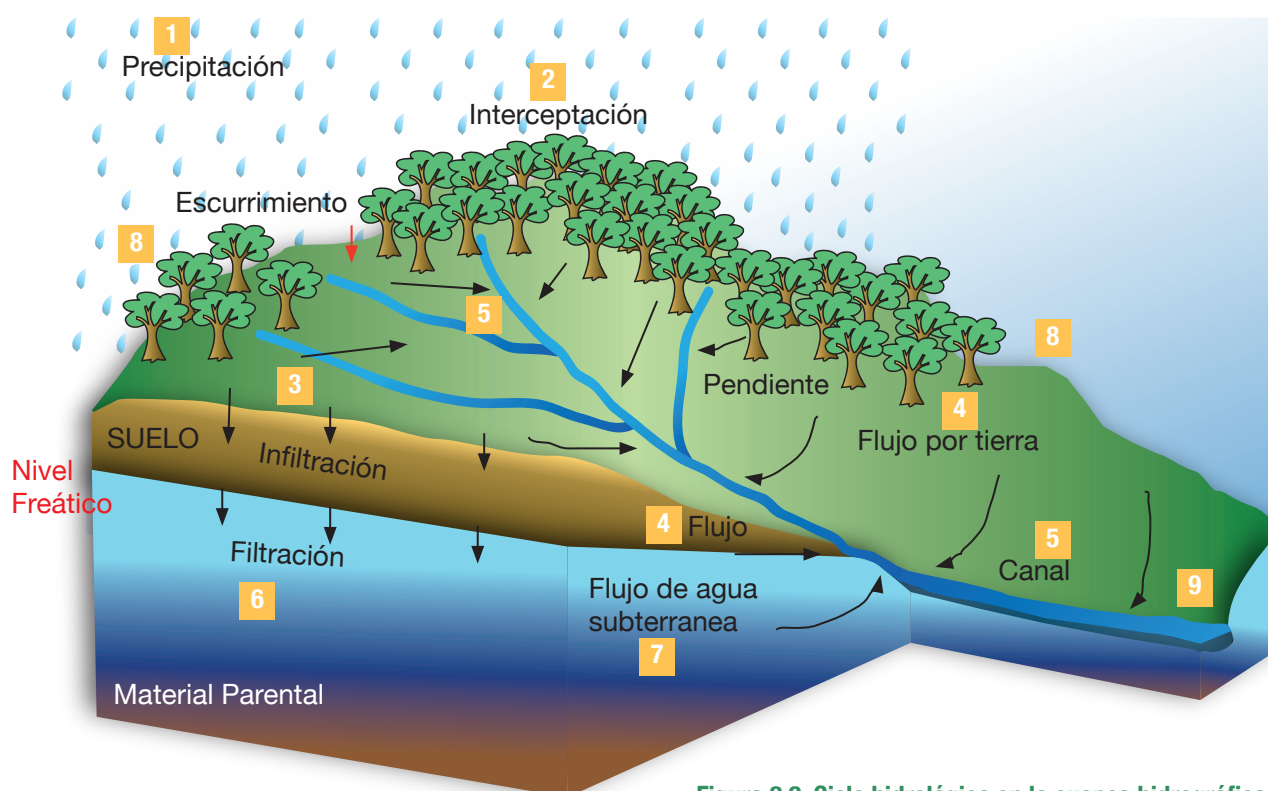
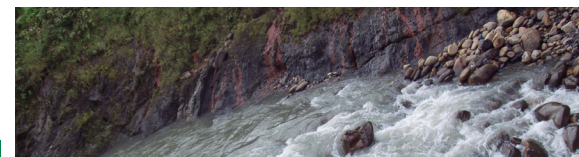


Figura 2.2. Ciclo hidrológico en la cuenca hidrográfica

El ciclo hidrológico (Figura 2.2) puede explicarse a escala de cuenca hidrográfica, la cual se define como el espacio geográfico en el cual el agua aportada por la precipitación es recolectada y conducida a un punto determinado (desembocadura o estación de aforo). El caudal en este punto es un componente del ciclo hidrológico que resulta de la relación con otros componentes: de la precipitación [1] que cae, una parte es interceptada por las plantas [2], otra se infiltra en el suelo [3], y la restante fluye sobre y bajo la superficie terrestre [4] hacia los drenajes alimentando directamente el río principal [5]. Del agua infiltrada, una porción alcanza niveles más profundos del suelo (percolación [6]) y, algún tiempo después, brotan aguas abajo en forma de flujo subterráneo [7] para descargar finalmente al río. Parte del agua infiltrada es transpirada [8] por las plantas, retornando a la atmósfera donde se mezcla con el agua evaporada desde ríos, lagos, embalses y océanos [9], para precipitarse nuevamente a la superficie terrestre.

Para cuantificar la cantidad de agua que circula a través de una cuenca hidrográfica se realizan mediciones de cada uno de los procesos que integran el ciclo hidrológico. La medición del caudal que fluye sobre el cauce de un río hace uso de la relación matemática que existe entre el caudal y la altura del agua en la sección transversal del cauce. Por ello se dedican enormes esfuerzos en la medición de la altura de la lámina de agua en el río, en otras palabras medir la profundidad del agua. Para medir la altura de la lámina de agua es normal emplear una regla graduada, la cual se instala en la orilla del río de tal forma que el cero de la escala graduada coincida con el fondo del cauce. Cuando la lectura se realiza de forma directa, la regla graduada recibe el nombre de limnómetro. Si la medición se hace de forma continua, recibe el nombre de limnógrafo. Es posible realizar lecturas precisas del nivel del agua al construir un pozo en una de las orillas del río, conectarlo con el cauce y realizar la lectura empleando algún tipo de sensor.



Una construcción de este tipo recibe el nombre de estación de aforo o estación hidrométrica (Figura 2.3).

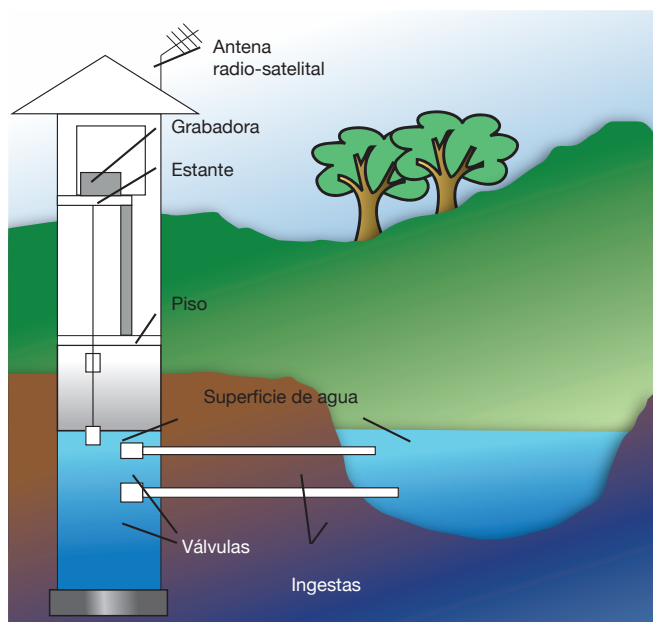


Figura 2.3. Limnómetro

El IDEAM ha explicado que la riqueza hídrica del territorio colombiano obedece a la ubicación geográfica y la influencia de factores como la circulación atmosférica, la topografía, la interacción entre la tierra y el mar y la influencia de las zonas selváticas. Por su ubicación geográfica, Colombia está bajo la influencia de los vientos alisios del noreste y del sureste, que concurren en una franja denominada “zona de confluencia intertropical”, que favorece la formación de nubosidad (Figura 2.4).

Este fenómeno se ve reforzado por estar situado en la zona ecuatorial, provocando el calentamiento de la superficie terrestre por la incidencia casi vertical de la radiación solar. La interacción de la zona de confluencia intertropical con las cordilleras colombianas propicia la presencia —en gran parte del territorio colombiano— de dos temporadas húmedas a lo largo del año; la primera de ellas entre los meses de marzo y abril, y la segunda entre

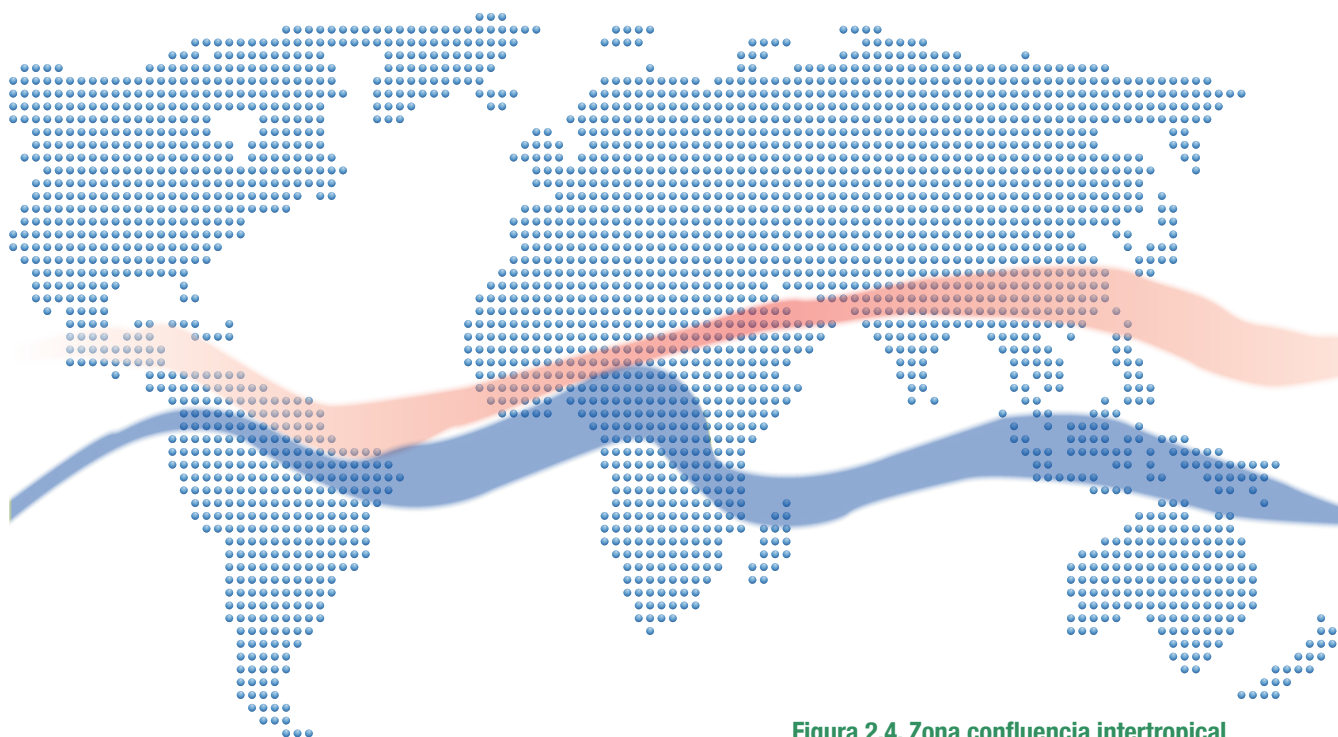
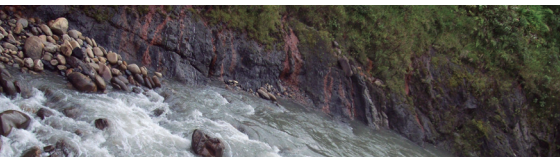


Figura 2.4. Zona confluencia intertropical

septiembre y noviembre. En el sureste del país también son importantes los efectos de un sistema de baja presión que se forma en la cuenca amazónica, que interactúa con el movimiento del sol y la topografía del territorio, provocando la mayor frecuencia de lluvias entre los meses de marzo y noviembre. Cuando

se considera la existencia de todos los sistemas de circulación atmosférica, las condiciones topográficas, la cercanía al mar y la influencia de las zonas boscosas, Colombia puede dividirse en cinco áreas hidrográficas (Figura 2.5): Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoco, Amazonas y Pacífico.



Atlas

Potencial Hidroenergético de Colombia

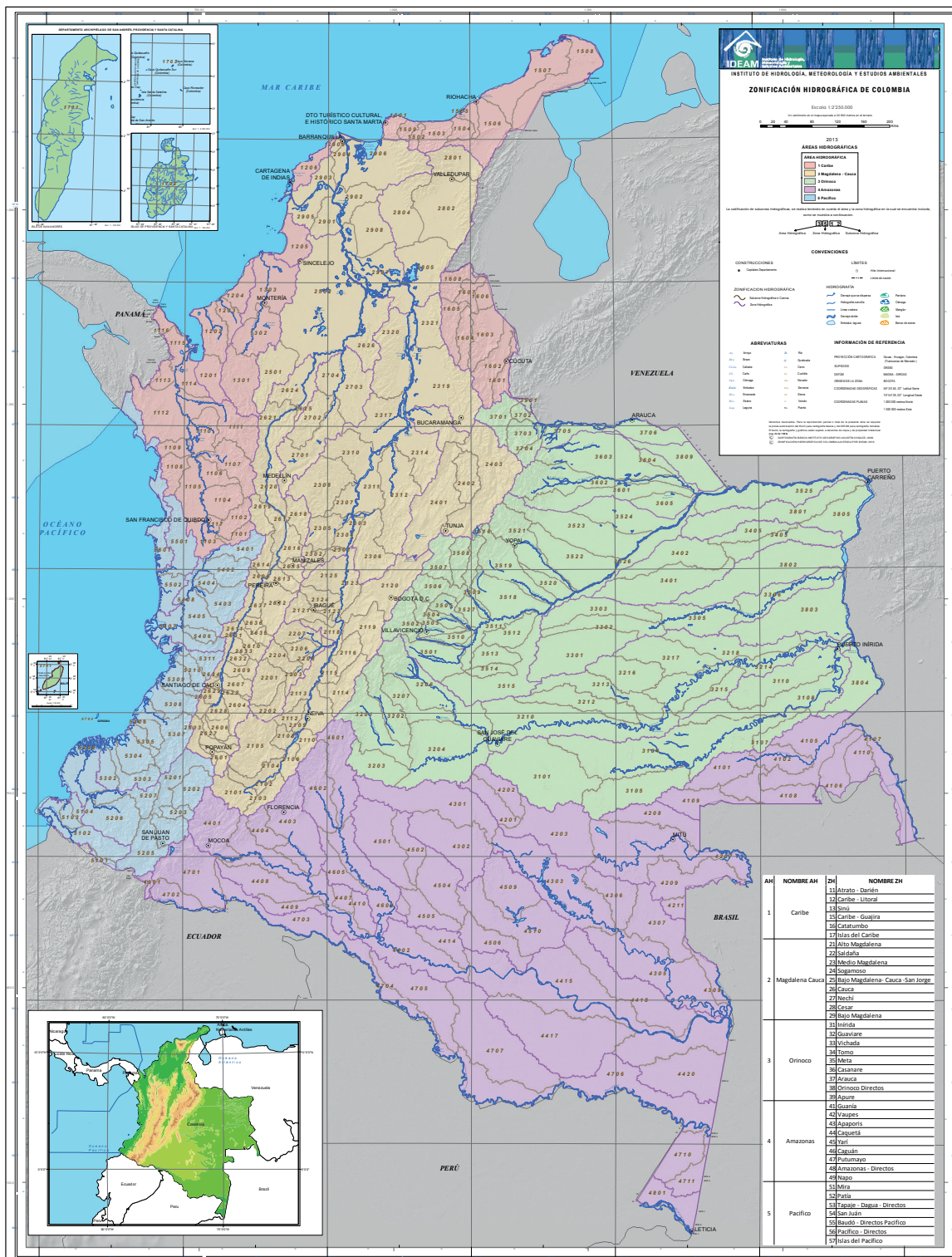


Figura 2.5. Áreas hidrográficas

Fuente: IDEAM

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) dispone de una red de estaciones hidrométricas que fue concebida para estudiar la variabilidad espacial y temporal del caudal a escala de país. La red dispone del mayor número de estaciones en las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca, las cuales generan aproximadamente

el 70% de la producción hidroeléctrica del país, el 85% del Producto Interno Bruto y concentran más del 65% de la población colombiana. Para el desarrollo del presente estudio el IDEAM suministró los caudales medios mensuales con un periodo de registro variando entre los años 1974 y 2011.