



Curso Métodos y Modelos

Profesora:
Karen Ballesteros-González PhD.

Cálculo de indicadores ambientales

9. Enfoque de modelado y simulación en el cálculo de indicadores ambientales

a. Indicadores de Cambio climático (Ej. Huella de carbono; huella hídrica)

10. Proyecto práctico: Aplicar modelos de simulación determinísticos o estocásticos para estimar indicadores ambientales y proponer mejoras sostenibles en un sistema real.

Cálculo de indicadores ambientales

Huella Carbono

Es un indicador ambiental que mide la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) que son emitidos de forma directa o indirecta por una actividad, persona, empresa, producto o servicio. Se expresa en kilogramos o toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e).

Huella Hídrica

Es un indicador que mide el volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir bienes, servicios o actividades. Fue propuesta por Arjen Hoekstra en 2002 y es ampliamente promovida por la organización Water Footprint Network (WFN).

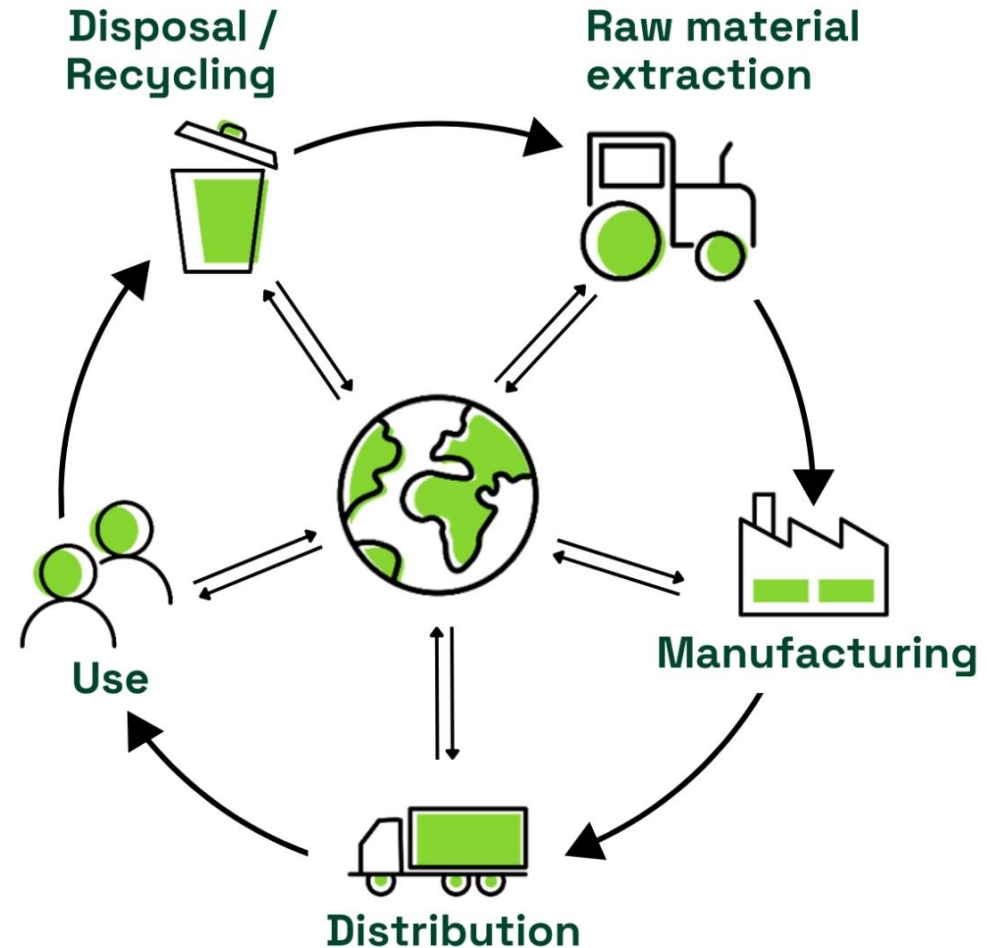
Cálculo de indicadores ambientales: LCA

Huella Carbono

- Emisiones Directas
- Emisiones Indirectas

Huella Hídrica

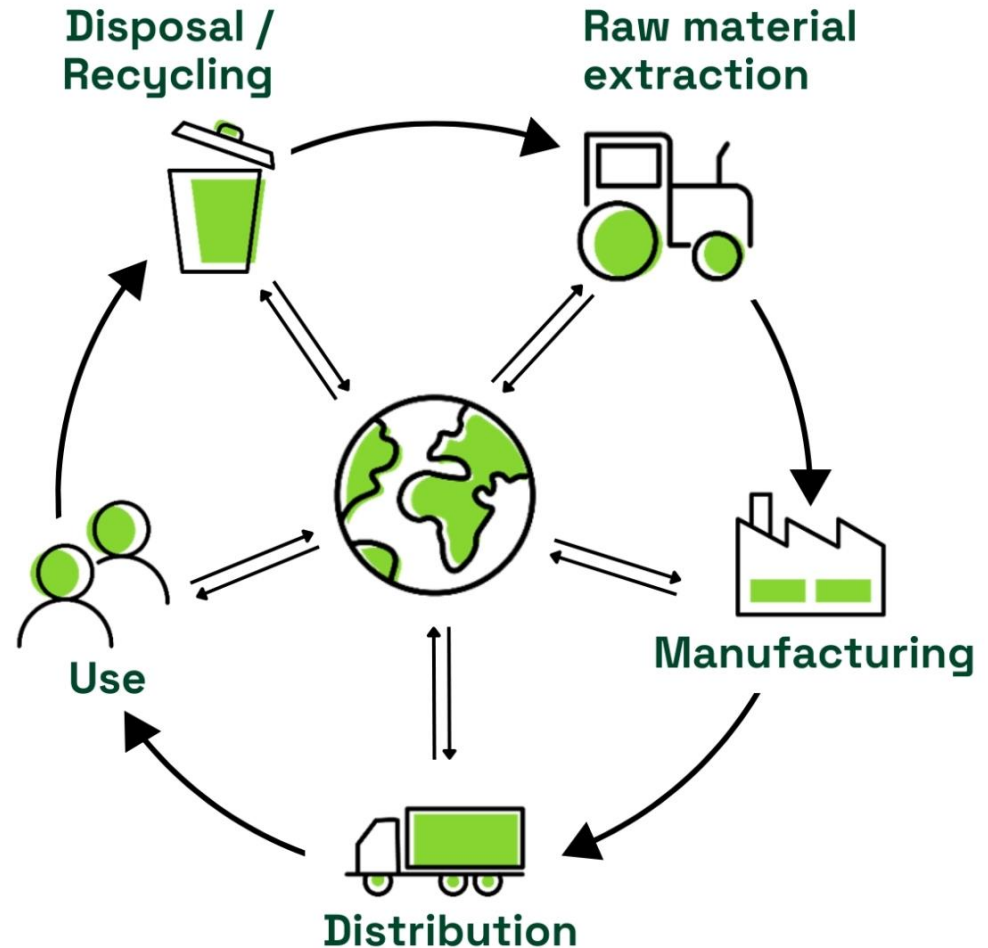
- Consumo Directo
- Consumo Indirecto



Cálculo de indicadores ambientales: LCA

LCA: Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) es una herramienta metodológica que se utiliza para evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio.

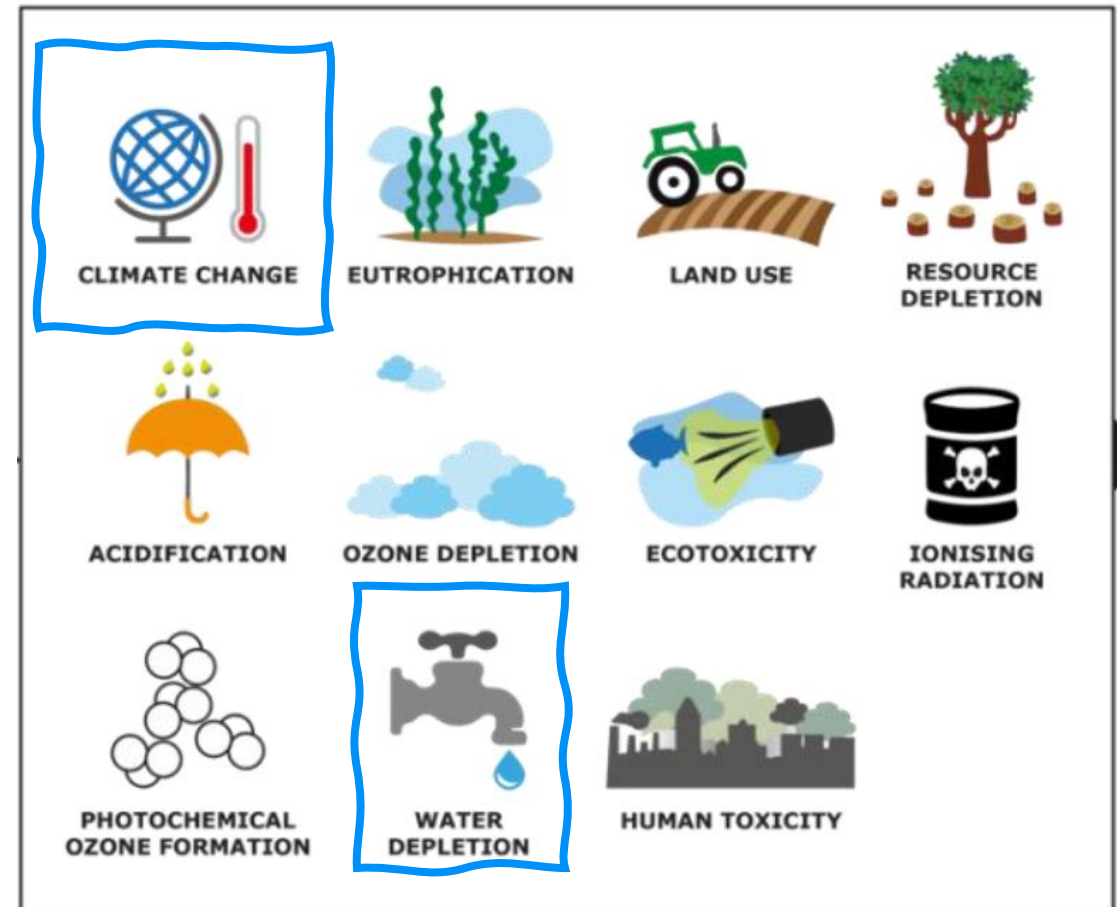


Cálculo de indicadores ambientales: LCA

LCA: Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA) es una herramienta metodológica que se utiliza para evaluar los impactos ambientales asociados a todas las etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio.

LCIA - Life Cycle Impact Assessment



Cálculo de indicadores ambientales

1. Enfoque de cuna a tumba (*Cradle to Grave*)

Descripción: Considera todas las etapas del ciclo de vida de un producto: desde la extracción de materias primas (la "cuna"), pasando por la producción, uso, y hasta la disposición final (la "tumba").

- Extracción de materias primas
- Producción y manufactura
- Distribución
- Uso del producto
- Fin de vida (reciclaje, disposición, incineración, etc.)

Objetivo: Evaluar el impacto completo de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.

2. Enfoque de cuna a puerta (*Cradle to Gate*)

Descripción: Se detiene en la etapa de salida de la fábrica o planta, sin incluir el uso del producto ni su disposición final.

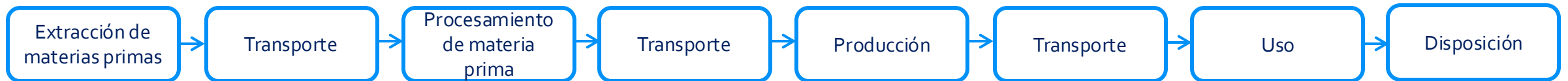
- Extracción de materias primas
- Producción y procesamiento
- Transporte hasta el punto de venta o uso

Objetivo: Útil para comparar procesos industriales o productos antes de su uso por parte del consumidor.

Cálculo de indicadores ambientales

1. Enfoque de cuna a tumba (*Cradle to Grave*)

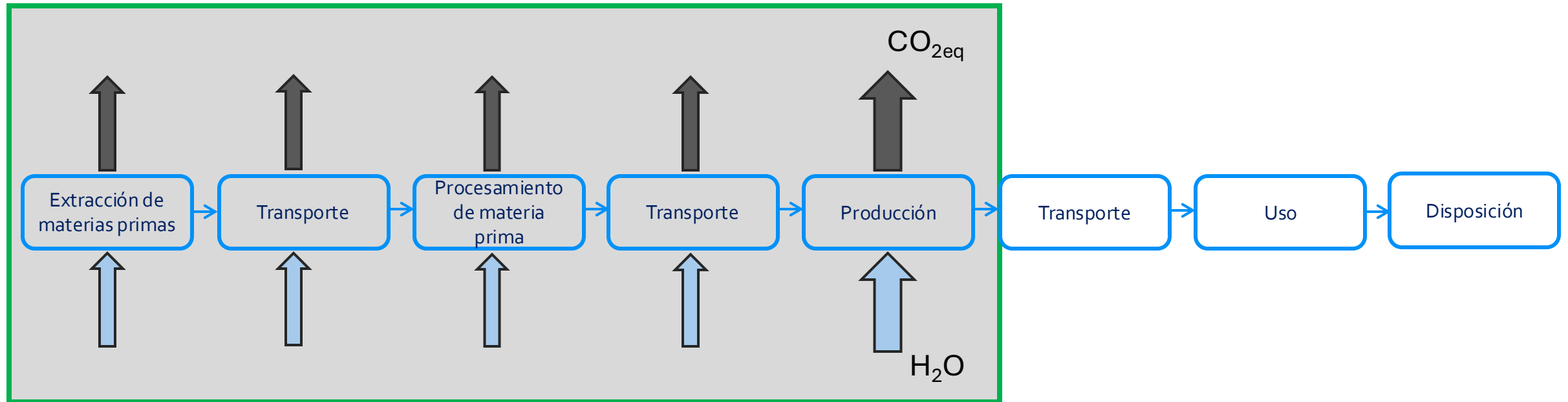
2. Enfoque de cuna a puerta (*Cradle to Gate*)



Cálculo de indicadores ambientales

1. Enfoque de cuna a tumba (*Cradle to Grave*)

2. Enfoque de cuna a puerta (*Cradle to Gate*)

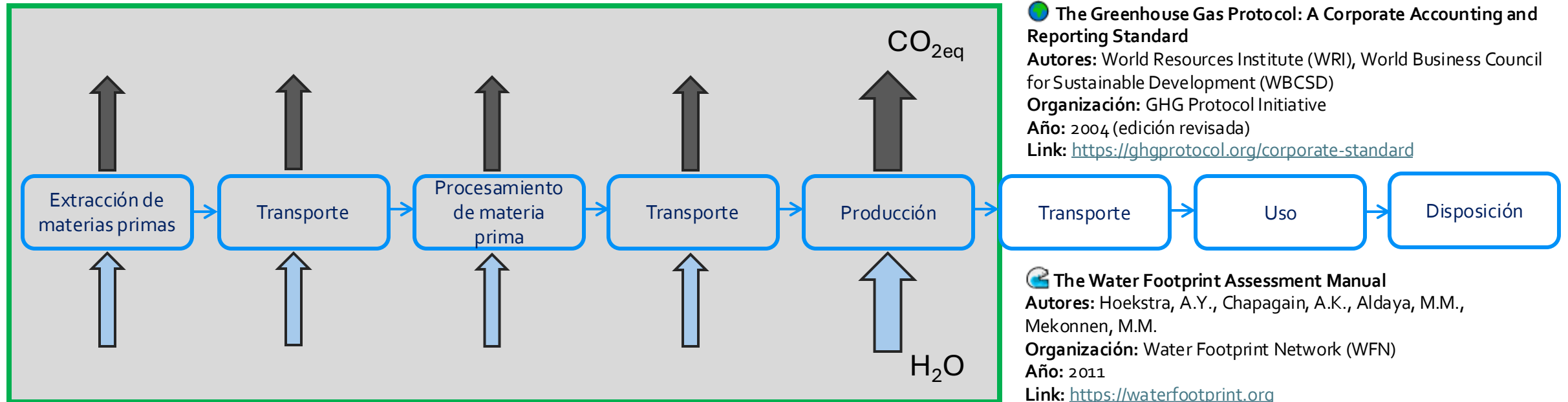


Directo e Indirecto

Cálculo de indicadores ambientales

1. Enfoque de cuna a tumba (*Cradle to Grave*)

2. Enfoque de cuna a puerta (*Cradle to Gate*)



Directo e Indirecto

¿Protocolos?

Cálculo de indicadores ambientales

El **Análisis de Ciclo de Vida (LCA)** se desarrolla en **cuatro etapas principales**, según la norma ISO 14040:

1. Definición del objetivo y alcance

¿Qué se quiere evaluar?

- El propósito del estudio
- El sistema de producto a analizar
- Los límites del sistema (cuna a tumba, cuna a puerta, etc.)
- La unidad funcional (por ejemplo, 1 litro de leche, 1 kWh de energía...)

2. Análisis de inventario (LCI – Life Cycle Inventory)

Se recopilan todos los datos cuantitativos sobre:

- Entradas: energía, materias primas, agua, etc.
- Salidas: emisiones a aire, agua, suelo; residuos; productos intermedios.

Se construye un balance de masa y energía del sistema.

3. Evaluación del impacto (LCIA – Life Cycle Impact Assessment)

Se agrupan y traducen los datos del inventario en categorías de impacto, como:

- Cambio climático (emisiones de CO₂-equivalente)
- Eutrofización
- Acidificación
- Toxicidad humana
- Agotamiento de recursos - Agua

4. Interpretación

Se analizan los resultados, se identifican los procesos más críticos, y se hacen recomendaciones.

- Análisis de incertidumbre
- Comparación de escenarios
- Validación de la consistencia y calidad de datos

Cálculo de indicadores ambientales

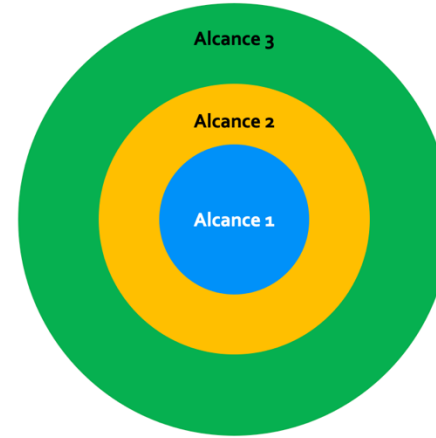
El **Análisis de Ciclo de Vida (LCA)** se desarrolla en **cuatro etapas principales**, según la norma ISO 14040:

1. Objetivo y Alcance
2. Unidad funcional
3. Definir diagrama de proceso
- 4. *Definir Entrada y Salidas en cada Etapa***
- 5. *Definir impactos de cada entrada o salida***
6. Sumar todos los impactos
7. ...
8. ...
9. Informe de resultados
10. Comparar con otros LCAs

Cálculo de indicadores ambientales

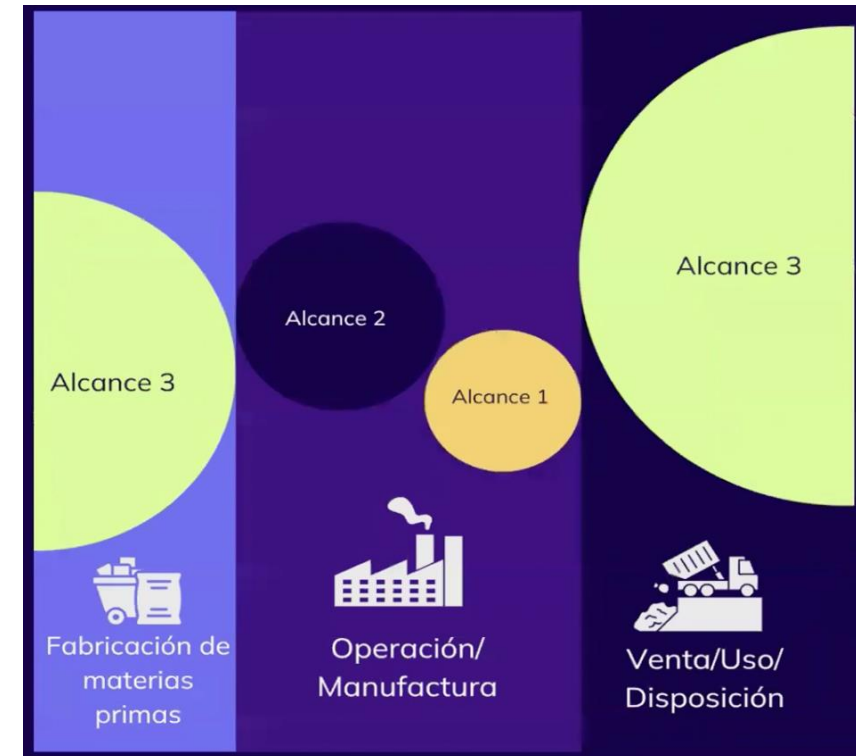
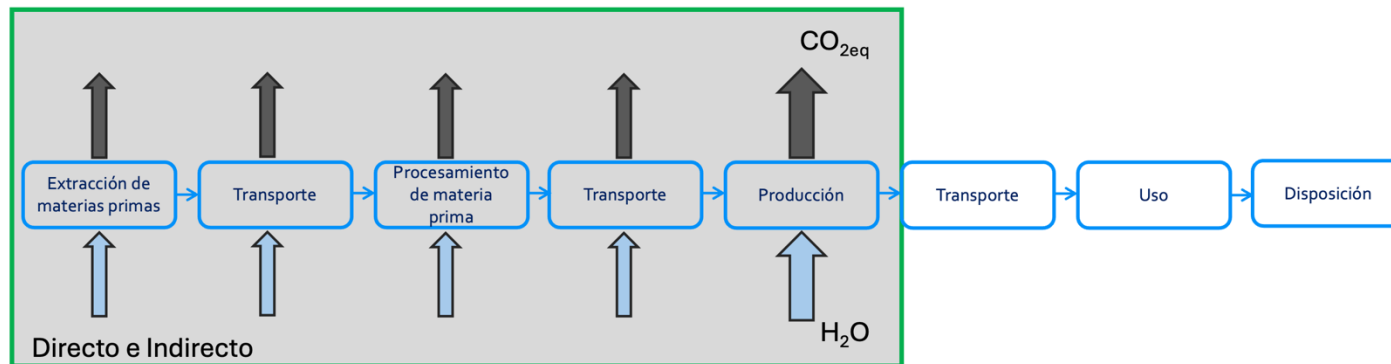
1. Objetivo y Alcance

- ¿Cuál impacto medir?
- ¿Désde donde hasta donde?



1. Enfoque de cuna a tumba (*Cradle to Grave*)

2. Enfoque de cuna a puerta (*Cradle to Gate*)



Cálculo de indicadores ambientales

¿Qué es la unidad funcional en un LCA?

La unidad funcional es el punto de referencia cuantitativo que se utiliza para comparar productos o sistemas de forma justa y coherente en un Análisis de Ciclo de Vida (LCA).

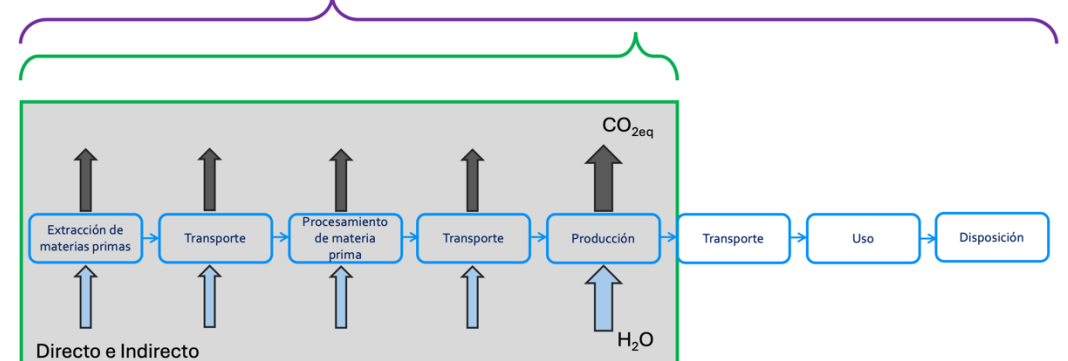
En otras palabras, es la medida estándar del “servicio” que presta un producto, y sobre ella se calculan todos los impactos ambientales.

- Una bolsa con capacidad de carga de 10kg
- Una bolsa con capacidad de carga de 10kg para 3 usos.



1. Enfoque de cuna a tumba (Cradle to Grave)

2. Enfoque de cuna a puerta (Cradle to Gate)



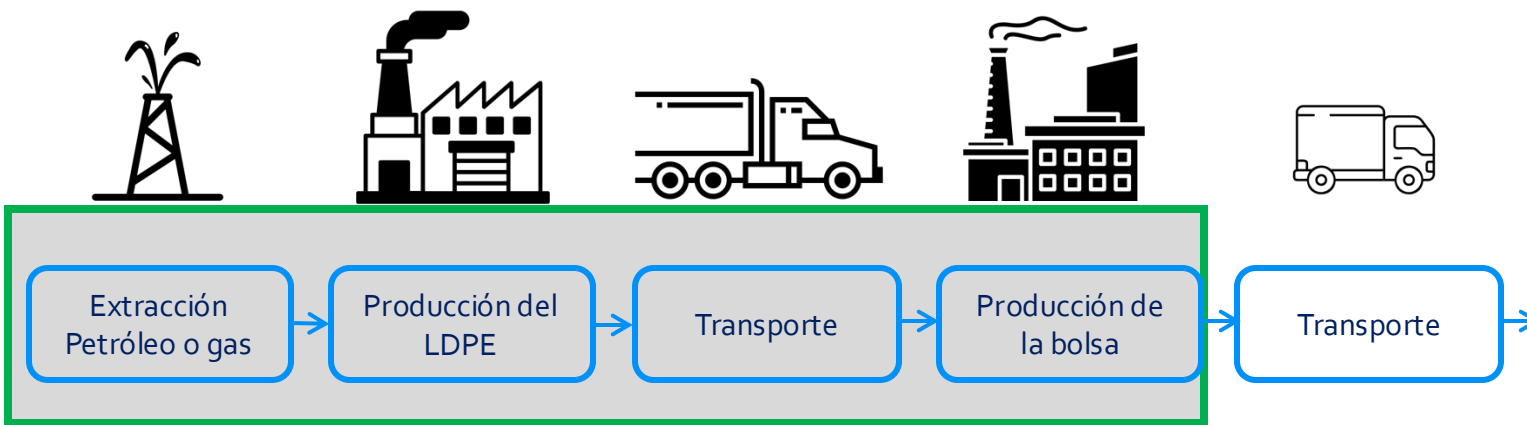
Cálculo de indicadores ambientales

Definir diagrama de proceso o proceso

Definir materias primas:

Bolsa Plastica

- Polietileno de baja densidad (LDPE).
 - Petroleo o gas natural



1. Producción de resina plástica (extracción y polimerización)

- Materia prima: se parte del petróleo o gas natural.
- Proceso: se somete a craqueo para obtener etileno.
- Polimerización: el etileno se transforma en polietileno de alta (HDPE) o baja densidad (LDPE).

2. Transporte y recepción de la resina

- Las resinas (pequeños pellets) se transportan a la planta y se almacenan en silos.

3. Extrusión y soplado (Film Blowing)

- Los pellets se funden en una extrusora a altas temperaturas.
- Se forma un tubo plástico fundido que se infla con aire (soplado).
- Esto genera una película tubular que luego se enfría y se enrolla.

4. Impresión (opcional)

- La película puede ser impresa con logos o información comercial mediante técnicas como flexografía o rotograbado.

5. Corte y sellado

- La película se desenrolla y se corta y sella según el tamaño deseado de la bolsa.
- Se forman los mangos (en forma de camiseta) y se troquelan.

6. Empaque y distribución

- Las bolsas terminadas se empaquetan en bultos y se envían a los centros de distribución o clientes.

Cálculo de indicadores ambientales

Definir diagrama de proceso o proceso

Definir materias primas:

Bolsa de Papel

- Papel
 - Madera
- Pegamento
 - Monómero de vinil acetato (derivado del petróleo)



1. Extracción de materia prima (biológica y química)

- Fuente: árboles provenientes de plantaciones forestales o bosques gestionados (principalmente pinos o eucaliptos).

Procesos:

- Corte de árboles.
- Transporte de la madera a la planta de celulosa.
- Emisiones asociadas al uso de maquinaria y transporte (CO_2 , NO_x , etc.).

2. Producción de pulpa de celulosa

Método mecánico o químico (ej. proceso Kraft).

Pasos:

- Trituración de la madera.
- Separación de la lignina para obtener fibras de celulosa.
- Uso de productos químicos como hidróxido de sodio y sulfuro de sodio.

Impactos:

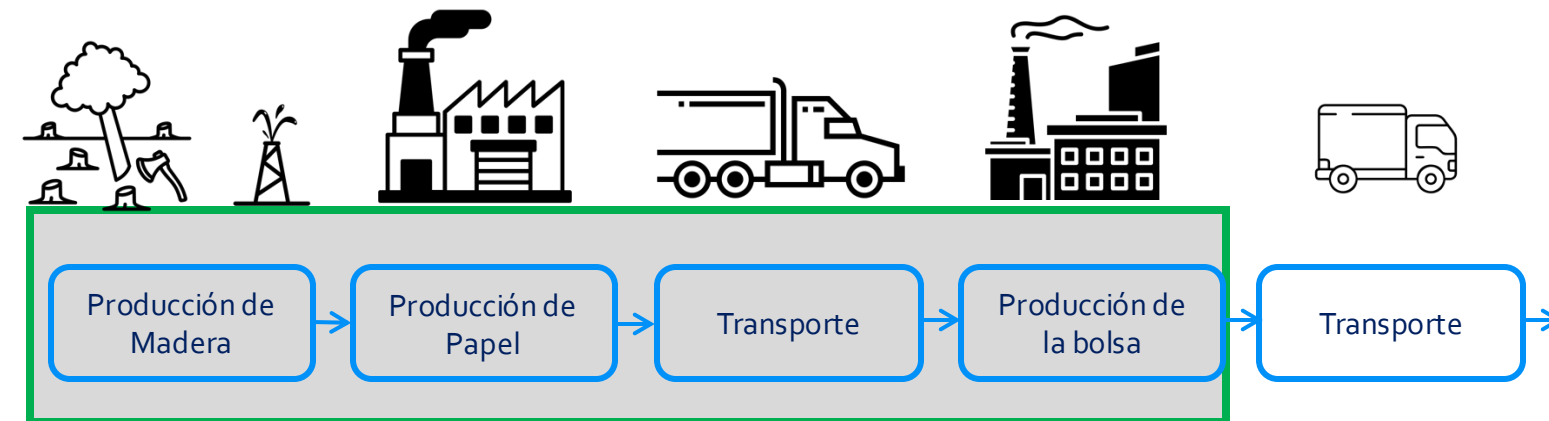
- Consumo elevado de agua y energía.
- Generación de efluentes líquidos y emisiones.

4. Producción del papel

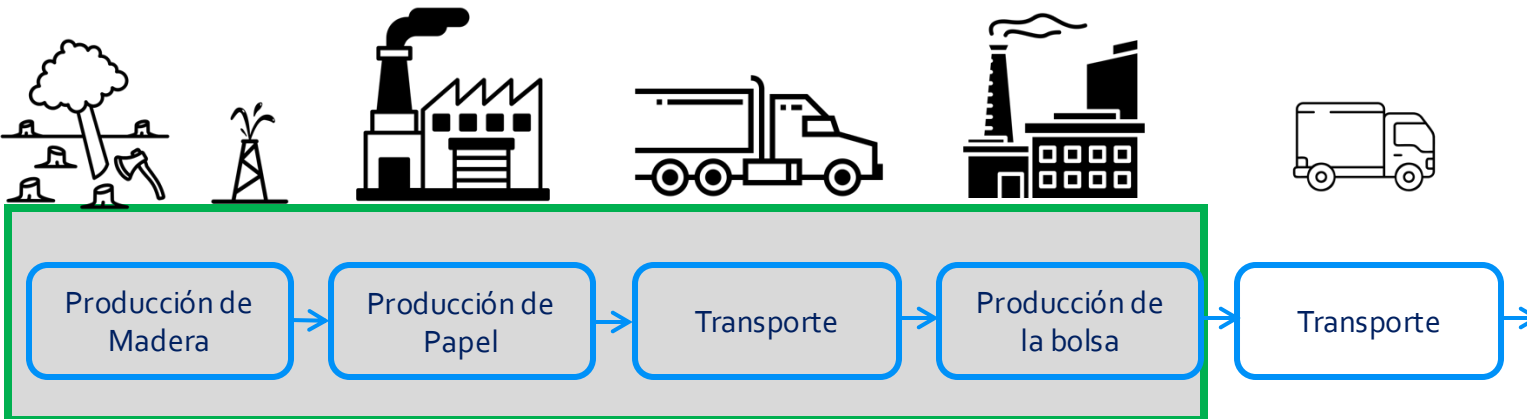
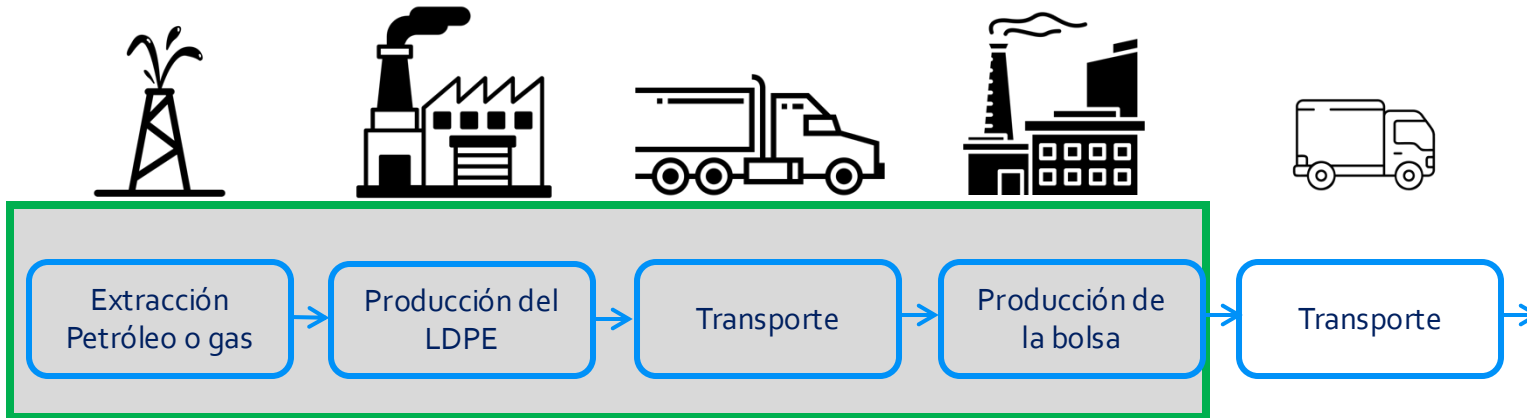
- La pulpa se mezcla con agua y se convierte en una hoja continua mediante rodillos.
- Secado y prensado: uso intensivo de calor y energía.
- Resultado: rollos de papel kraft marrón o blanqueado, que luego se usan para fabricar bolsas.

5. Conversión en bolsas

- Corte del papel según medidas estándar.
- Plegado y formación: creación del fondo, laterales y asas.
- Pegado: se usan adhesivos (a base de agua o químicos).
- Empaque: almacenamiento en cajas de cartón.



Cálculo de indicadores ambientales



Cálculo de indicadores ambientales

Bolsa Plástica

Huella hídrica:

Baja: Menor en comparación con la bolsa de papel. Principalmente asociada a procesos industriales como el enfriamiento y limpieza de equipos, no tanto a la materia prima.

Huella de carbono:

Moderada a alta, dependiendo de:

- El uso de petróleo o gas natural como materia prima.
- El consumo energético en la producción de etileno y polietileno (extracción, craqueo, polimerización).
- El transporte y la conversión del film en bolsas.

Ventaja potencial:

- Muy eficiente en uso de materiales: se requiere menos masa y energía para producir una bolsa que cumpla la misma función que una de papel.
- Alta resistencia y reutilización posible.
- Si se recicla adecuadamente, puede tener una menor huella por uso.

Bolsa de Papel

Huella hídrica:

Alta, especialmente en procesos de pulpa y blanqueo.

Huella de carbono:

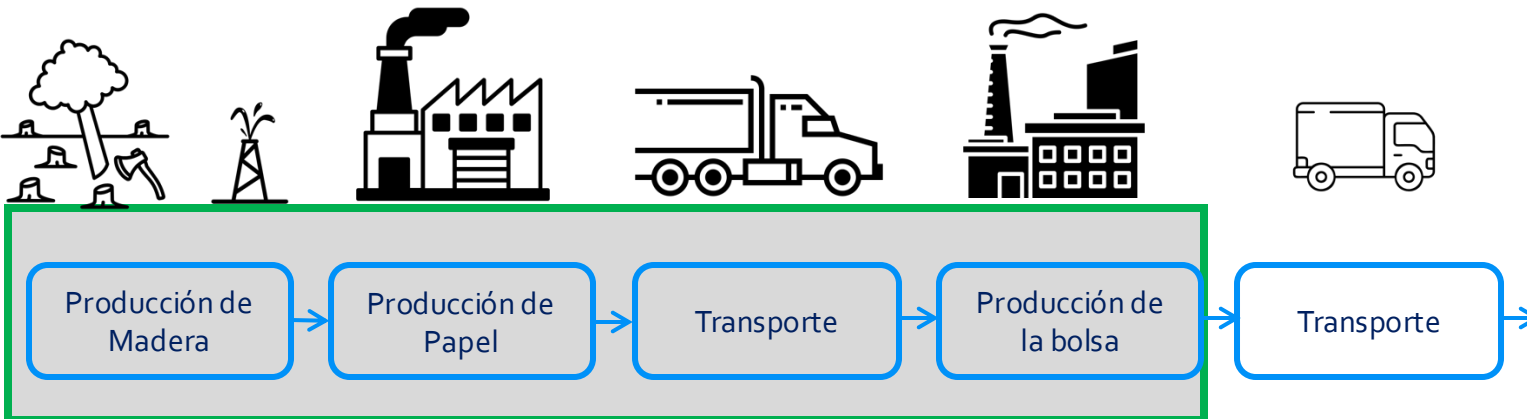
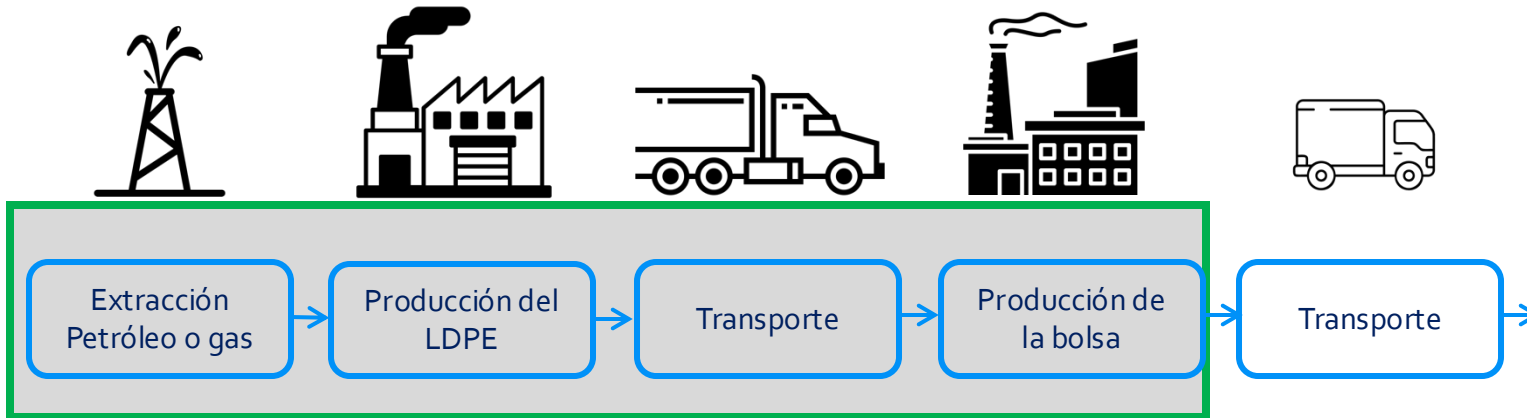
depende de la fuente de energía (eléctrica, térmica), transporte y productos químicos.

Ventaja potencial:

Si la madera proviene de fuentes sostenibles y el papel es reciclado o compostado adecuadamente.



Cálculo de indicadores ambientales



Cálculo de indicadores ambientales

Huella Carbono

Cantidad total de GEI que son emitidos de forma directa o indirecta y se expresa en kilogramos o toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e).

$$\text{Huella de Carbono (kg CO}_{2eq}) = \sum_{i=1}^n (\text{Factor de Actividad} * \text{Factor de Emisión})$$

Donde:

Factor de Actividad: litros de gasoline/km; KWh de electricidad; combustible consumido/hr)

Factor de Emisión: Emisión de GEI / unidad

n: Número de actividades

Huella Hídrica

Volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir bienes, servicios o realizar actividades.

$$HH_{total} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris}$$

Huella Hídrica Verde: Se calcula especialmente para cultivos y productos agrícolas.

$$HH_{verde} = \frac{\text{Agua de lluvia utilizada por el cultivo (mm)}}{\text{Rendimiento total del cultivo } (\frac{ton}{ha})}$$

Huella Hídrica Azul:

$$HH_{azul} = \frac{\text{Volumen total de agua consumida en proceso productivo (m}^3\text{)}}{\text{Producto (Unidad funcional)}}$$

Huella Hídrica Gris: ¿Cuánta agua necesitas para que el contaminante se diluya y no cause daño?

$$HH_{gris} = \frac{L \text{ (carga del contaminante emitido en kg)}}{(C_{max} - C_{nat})}$$

Cálculo de indicadores ambientales

Huella Hídrica

Huella Hídrica Verde: Se calcula especialmente para cultivos y productos agrícolas.

$$HH_{verde} = \frac{\text{Agua de lluvia utilizada por el cultivo (mm)}}{\text{Rendimiento total del cultivo } (\frac{ton}{ha})}$$

Ejemplo: Cultivo de Maíz (Zea mays)

Supongamos que queremos calcular la **huella hídrica verde** del cultivo de **1 tonelada de maíz** en una región templada.

Variable	Valor	Unidad
Evapotranspiración efectiva (ET)	450 mm (lamina de agua)	mm (milímetros) a cada m² de terreno cultivado
Rendimiento del cultivo	6 toneladas por hectárea	t/ha
Fracción verde del consumo hídrico	90%	(0.9)



Cálculo de indicadores ambientales

Huella Hídrica

La agua azul se refiere a agua dulce líquida disponible en ríos, lagos, embalses y acuíferos subterráneos, que puede ser extraída para uso humano, especialmente en riego agrícola, consumo doméstico e industrial.

Huella Hídrica Azul:

$$HH_{\text{azul}} = \frac{\text{Volumento total de agua consumida en proceso productivo (m}^3\text{)}}{\text{Producto (Unidad funcional)}}$$

Ejemplo: Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo riego
Queremos calcular: La huella hídrica azul para 1 tonelada de tomates cultivados en condiciones irrigadas.

Variable	Valor	Unidad
Evapotranspiración total del cultivo	600 mm/t	mm (milímetros)
Fracción que proviene del riego	0.7	(70%)
Producción del cultivo	50 toneladas por hectárea	t/ha



Cálculo de indicadores ambientales

Fuentes para obtener la Evapotranspiración total (ETc)

1. FAO – Manual y base de datos CROPWAT / CLIMWAT

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 (Allen et al., 1998):

- Documento guía para el cálculo de ET utilizando el método Penman-Monteith FAO.
- Incluye coeficientes de cultivo (Kc) para diferentes etapas de crecimiento.

[CROPWAT](#): software para calcular requerimientos de agua de cultivos.

[CLIMWAT](#): base de datos climática compatible con CROPWAT.

2. AquaCrop (FAO)

Software que simula la productividad de cultivos bajo diferentes condiciones hídricas.

Estima la evapotranspiración y balance hídrico de forma dinámica.

[AquaCrop](#)

Cálculo de indicadores ambientales

¿Qué es la Huella Hídrica Gris?

- Es el volumen de agua necesario para diluir un contaminante hasta que alcance niveles aceptables según normas ambientales.
Se basa en la carga de contaminante y los límites legales de concentración.

Huella Hídrica Gris: ¿Cuánta agua necesitas para que el contaminante se diluya y no cause daño?

$$HH_{gris} = \frac{\text{Carga del contaminante (kg)}}{(C_{max} - C_{nat})}$$

Donde:

- C_{max} : concentración máxima permitida (kg/m^3)
- C_{nat} : concentración natural del contaminante en el agua (kg/m^3)

Ejemplo diferente: descarga de Grasas y Aceites

- Una empresa de alimentos descarga **2 kg de Grasas y Aceites** al río por cada tonelada de producción.
- Norma ambiental permite hasta $C_{max}=0.005 \text{ kg/m}^3$
- El fósforo natural en el río es $C_{nat}=0.001 \text{ kg/m}^3$



Cálculo de indicadores ambientales

¿Qué es la Huella Hídrica Gris?

- Es el volumen de agua necesario para diluir un contaminante hasta que alcance niveles aceptables según normas ambientales.
Se basa en la carga de contaminante y los límites legales de concentración.

Huella Hídrica Gris: ¿Cuánta agua necesitas para que el contaminante se diluya y no cause daño?

$$HH_{gris} = \frac{\text{Carga del contaminante (kg)}}{(C_{max} - C_{nat})}$$

Donde:

- C_{max} : concentración máxima permitida (kg/m^3)
- C_{nat} : concentración natural del contaminante en el agua (kg/m^3)

Normativa principal:

Resolución 0631 de 2015 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

“Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al suelo...”

• Esta resolución define:

- Parámetros como: DBO5, DQO, SST, Nitrógeno, Fósforo, pH, metales pesados, aceites, etc.
- Límites según el tipo de actividad (doméstica, agroindustrial, industrial, etc.).
- Límites diferenciados para descarga a cuerpo de agua o al suelo.



Ejercicio de clase:

Cálculo de la huella hídrica (verde, azul y gris)

Una finca cultiva **pimentón** (pimiento) en **1 hectárea** bajo un sistema mixto de riego + agua lluvia. Durante el ciclo del cultivo se aplican fertilizantes nitrogenados.



Parámetro	Valor	Unidad
Evapotranspiración total (ETc)	600 mm	mm
Fracción de agua que proviene de lluvia	0.35	-
Volumen total de agua de riego aplicada	4,000	m ³
Producción del cultivo	25	toneladas por hectárea
Nitrógeno aplicado (por fertilizante)	20	kg/ha
% de N que se lixivia al agua	25%	-
Límite legal de N total (Resolución 0631)	15 mg/L = 0.015 kg/m ³	kg/m ³
Nivel natural de N en cuerpos de agua	5 mg/L = 0.005 kg/m ³	kg/m ³

- 1. Huella hídrica verde (WFverde)**
 - a. Calcular la parte de la ETc que proviene del agua Lluvia
 - b. Convertirla a volumen (m³/ha)
 - c. Calcular huella por tonelada
- 2. Huella hídrica azul (WFazul)**
 - a. Ya se conoce el volumen total de riego (4000 m³)
 - b. Calcular huella azul por tonelada
- 3. Huella hídrica gris (WFgris)**
 - a. Calcular la carga de N que se lixivia
 - b. Aplicar la fórmula de huella gris
 - c. Calcular huella gris por tonelada

Cálculo de indicadores ambientales

Huella Hídrica - Protocolos y documentos guía en Colombia

Volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir bienes, servicios o realizar actividades.

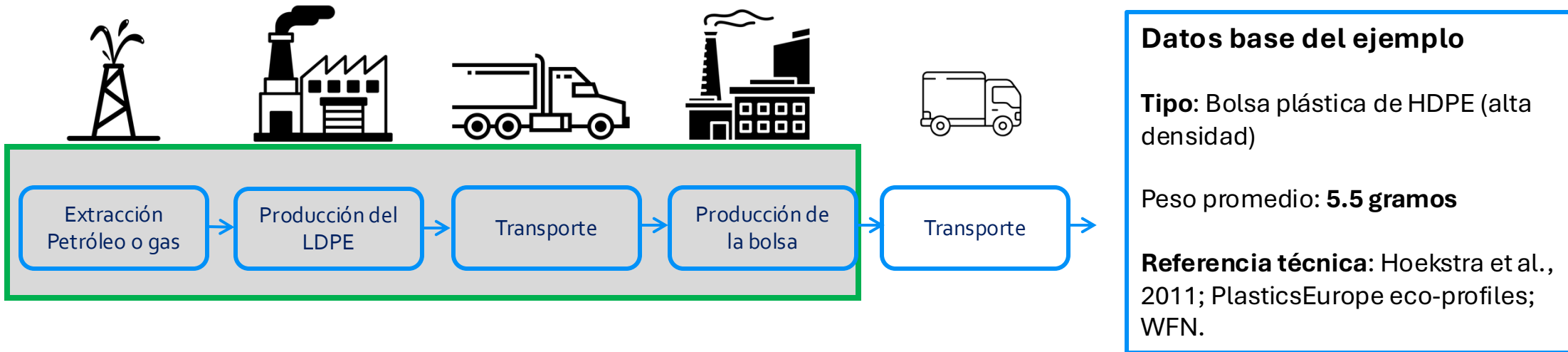
Documento / Norma	Contenido	Enlace o entidad
Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra et al., 2011)	Protocolo internacional para calcular huella verde, azul y gris	https://waterfootprint.org
Guía técnica para la estimación de huella hídrica en Colombia – IDEAM	Metodología aplicada al contexto colombiano	IDEAM, consultable en su web
Resolución 0631 de 2015 – MinAmbiente	Límite permisible de contaminantes en cuerpos de agua (base para huella gris)	MinAmbiente
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH)	Marco estratégico de manejo del agua en Colombia	CONPES 3177
Estudios sectoriales IDEAM	Evaluaciones de huella hídrica por cultivo, industria, etc.	IDEAM, MinAmbiente, FAO

Ejemplo: Comparación LCA entre bolsa plástica y bolsa de papel

Definir el objetivo y alcance

- **Unidad funcional:** una bolsa con capacidad para 10 kg de productos
- **Sistema analizado:** producción de una sola bolsa
- **Límites del sistema:** desde la extracción de materia prima hasta la entrega al supermercado. Cuna a la Puerta.
- **Impactos evaluados:** huella de carbono (kg CO₂e) y huella hídrica (litros)

Cálculo de indicadores ambientales



El enfoque "de la cuna a la puerta" implica:

Extracción de materias primas:

- Se necesita agua para extraer los hidrocarburos de los que se obtiene el plástico.

Producción:

- El proceso de fabricación de la bolsa consume agua para la producción y la limpieza de equipos.

Transporte:

- El transporte de la bolsa desde la fábrica hasta el punto de venta también implica el uso de agua en los procesos de transporte.

Cálculo de indicadores ambientales

Huella Carbono

Cantidad total de GEI que son emitidos de forma directa o indirecta y se expresa en kilogramos o toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq).

$$\text{Huella de Carbono (kg CO}_{2eq}) = \sum_{i=1}^n (\text{Factor de Actividad} * \text{Factor de Emisión})$$

Donde:

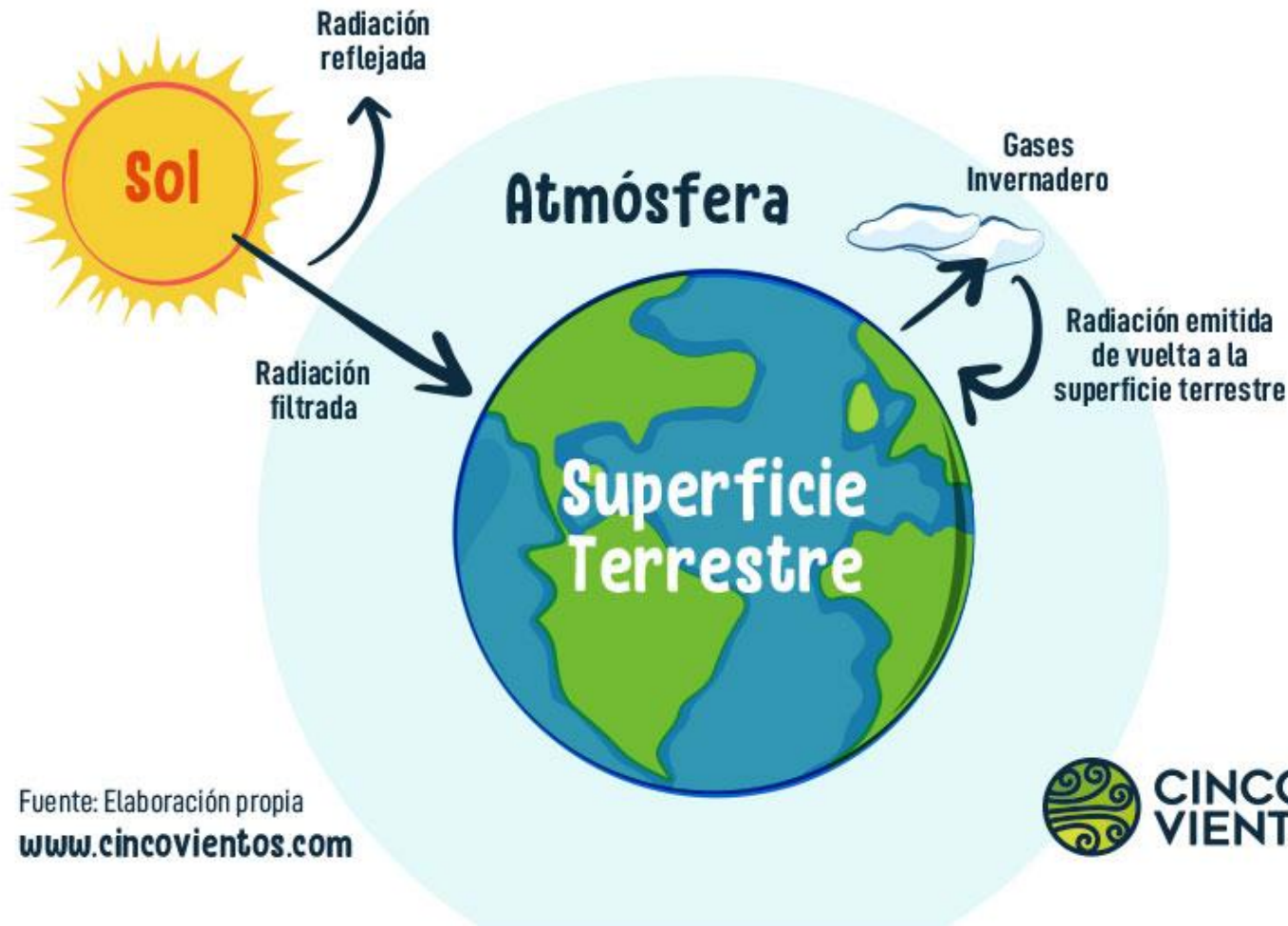
Factor de Actividad: litros de gasoline/km; KWh de electricidad; combustible consumido/hr)

Factor de Emisión: Emisión de GEI / unidad

n: Número de actividades

Gases Efecto Invernadero

En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son: Vapor de agua (H_2O), Dióxido de carbono (CO_2), Óxido nitroso (N_2O), Metano (CH_4) y Ozono (O_3).

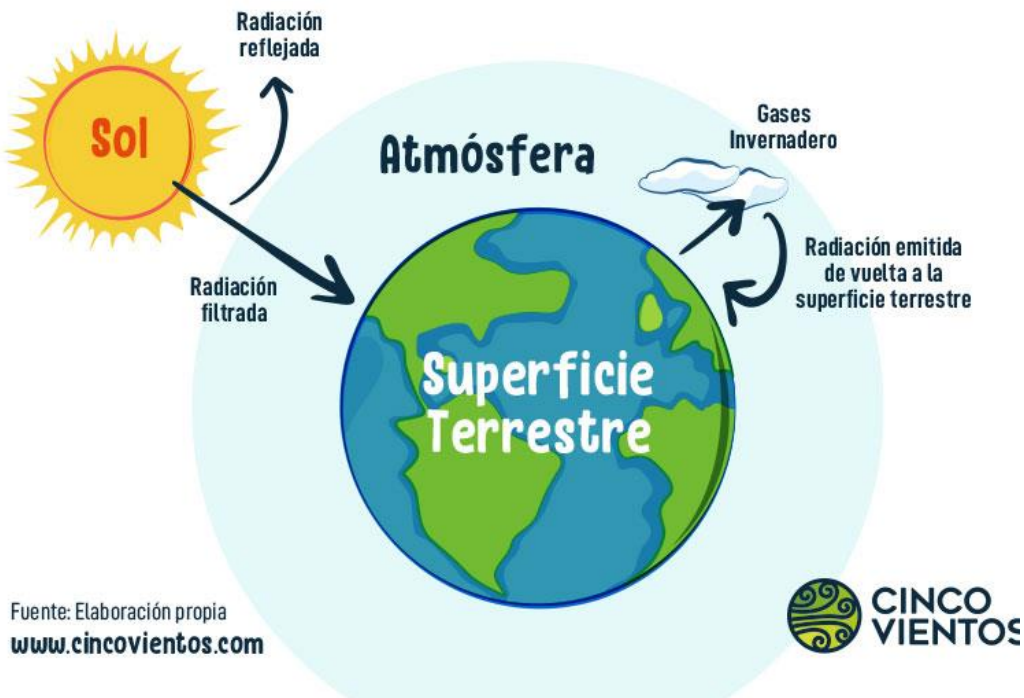


Cálculo de indicadores ambientales

Cálculo de indicadores ambientales

Gases Efecto Invernadero

En la atmósfera de la Tierra, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son: Vapor de agua (H₂O), Dióxido de carbono (CO₂), Óxido nitroso (N₂O), Metano (CH₄) y Ozono (O₃).



Fuente: Elaboración propia
www.cincovientos.com



Table 8.7 | GWP and GTP with and without inclusion of climate-carbon feedbacks (cc fb) in response to emissions of the indicated non-CO₂ gases (climate-carbon feedbacks in response to the reference gas CO₂ are always included).

	Lifetime (years)		GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
CH ₄ ^b	12.4 ^a	No cc fb	84	28	67	4
		With cc fb	86	34	70	11
HFC-134a	13.4	No cc fb	3710	1300	3050	201
		With cc fb	3790	1550	3170	530
CFC-11	45.0	No cc fb	6900	4660	6890	2340
		With cc fb	7020	5350	7080	3490
N ₂ O	121.0 ^a	No cc fb	264	265	277	234
		With cc fb	268	298	284	297
CF ₄	50,000.0	No cc fb	4880	6630	5270	8040
		With cc fb	4950	7350	5400	9560

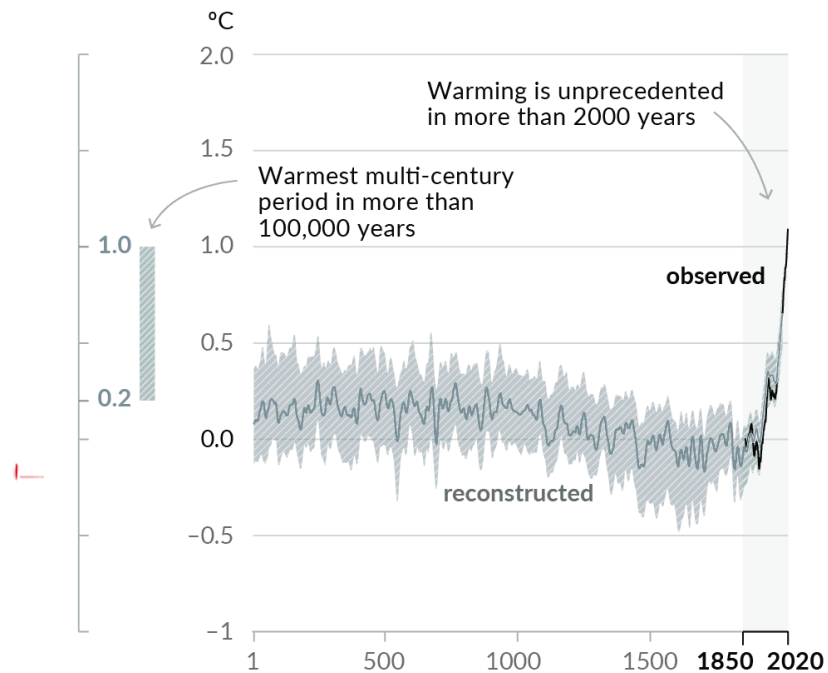


Cambio Climático – Calentamiento Global

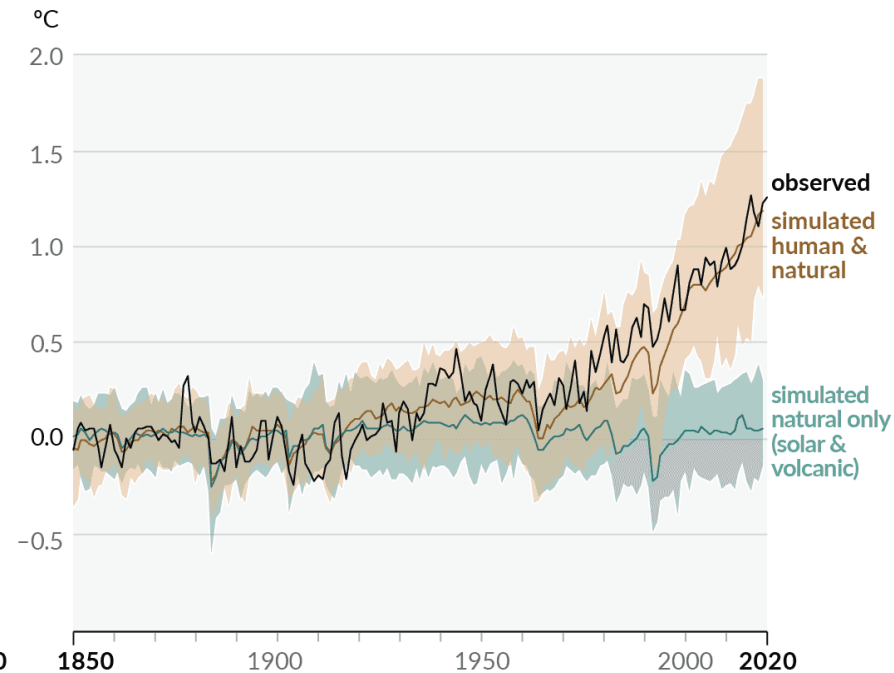
Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

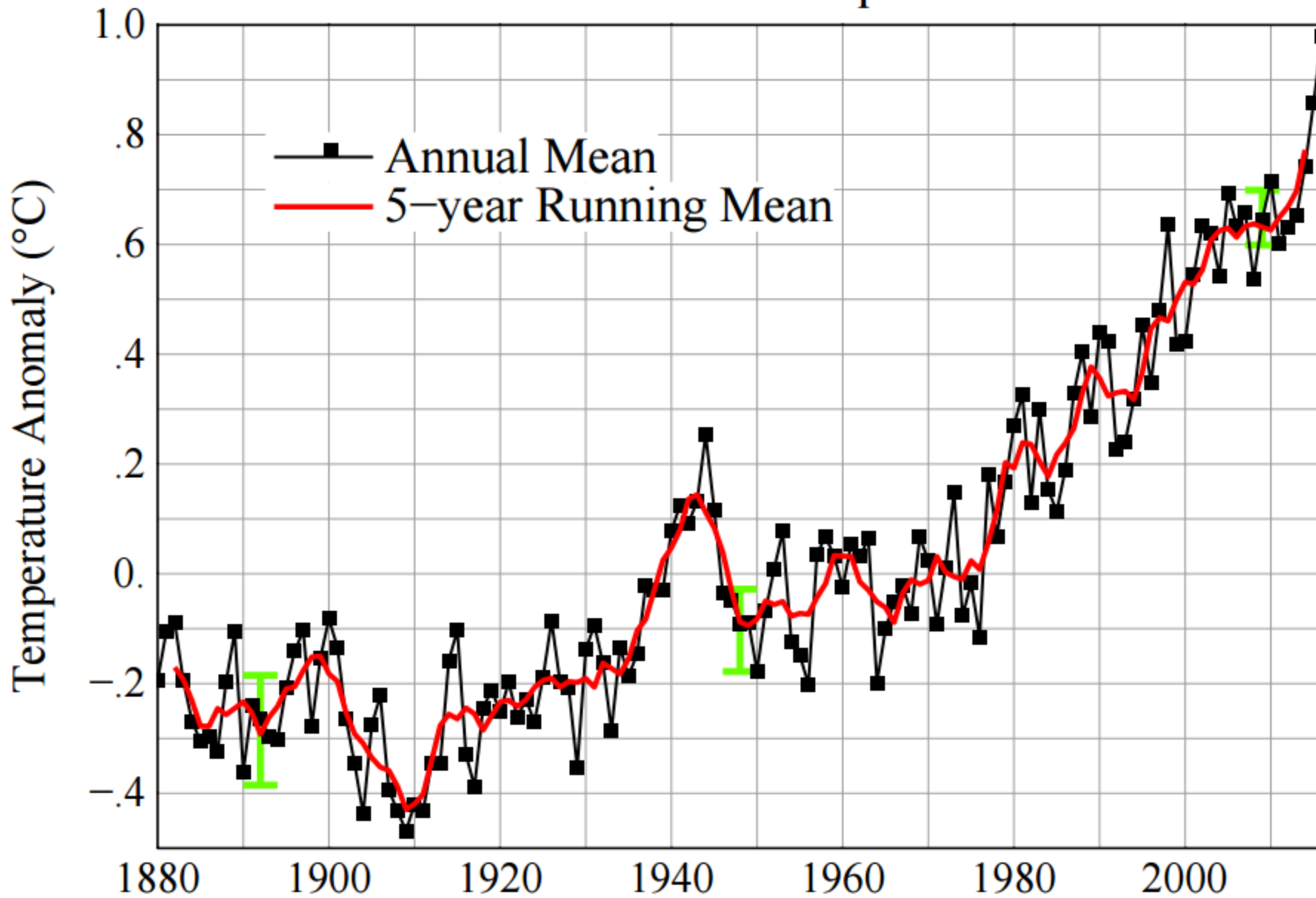
(a) Change in global surface temperature (decadal average) as **reconstructed** (1–2000) and **observed** (1850–2020)



(b) Change in global surface temperature (annual average) as **observed** and simulated using **human & natural** and **only natural** factors (both 1850–2020)



Global Land–Ocean Temperature Index



Balance Planetario de Energía

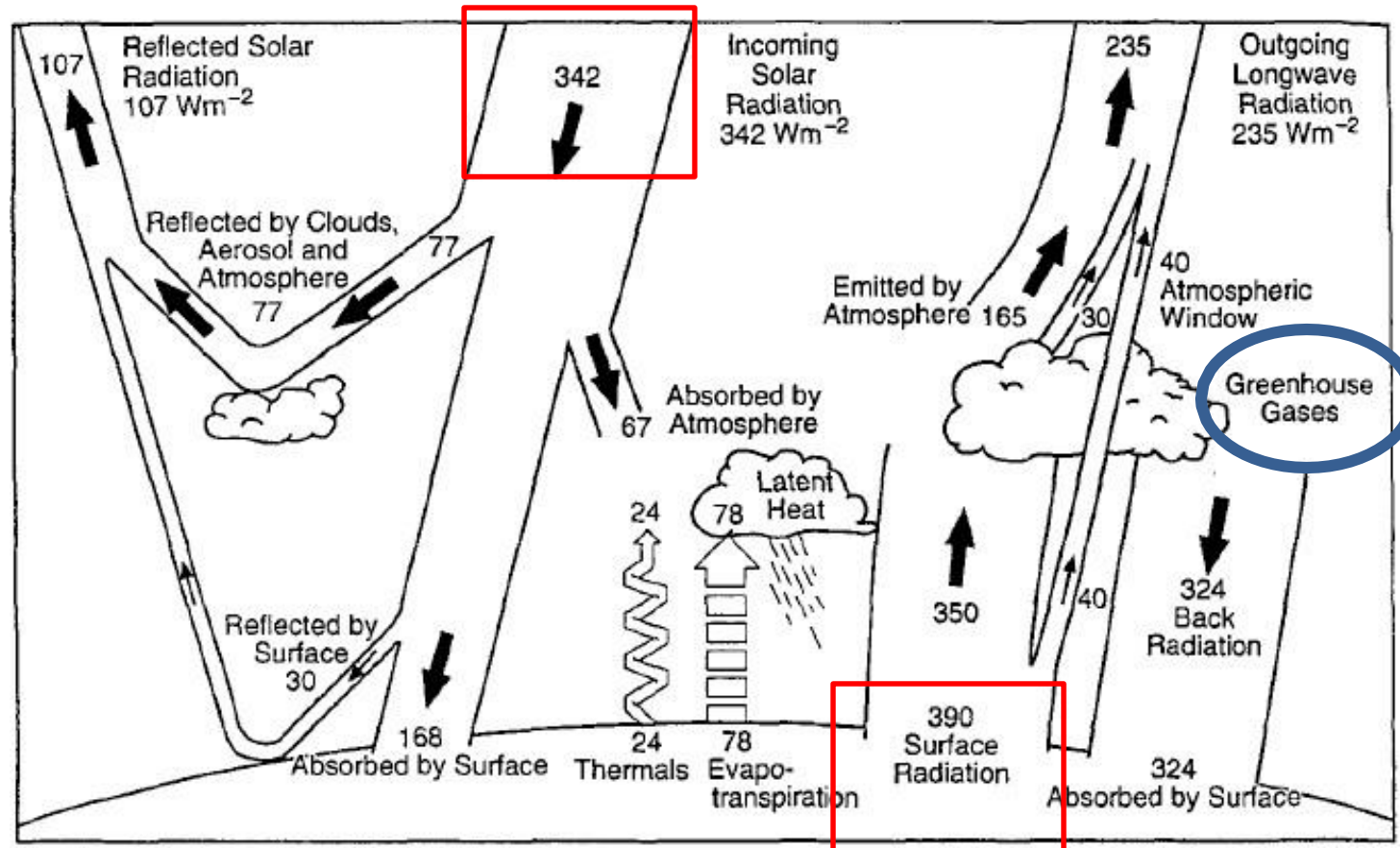


FIGURE 4.4 The Earth's annual and global mean energy balance (Kiehl and Trenberth 1997). Of 342 W m^{-2} incoming solar radiation, 168 W m^{-2} is absorbed by the surface. That energy is returned to the atmosphere as sensible heat, latent heat via water vapor, and thermal infrared radiation. Most of this radiation is absorbed by the atmosphere, which, in turn, emits radiation both up and down. (Reprinted by permission of the American Meteorological Society.)

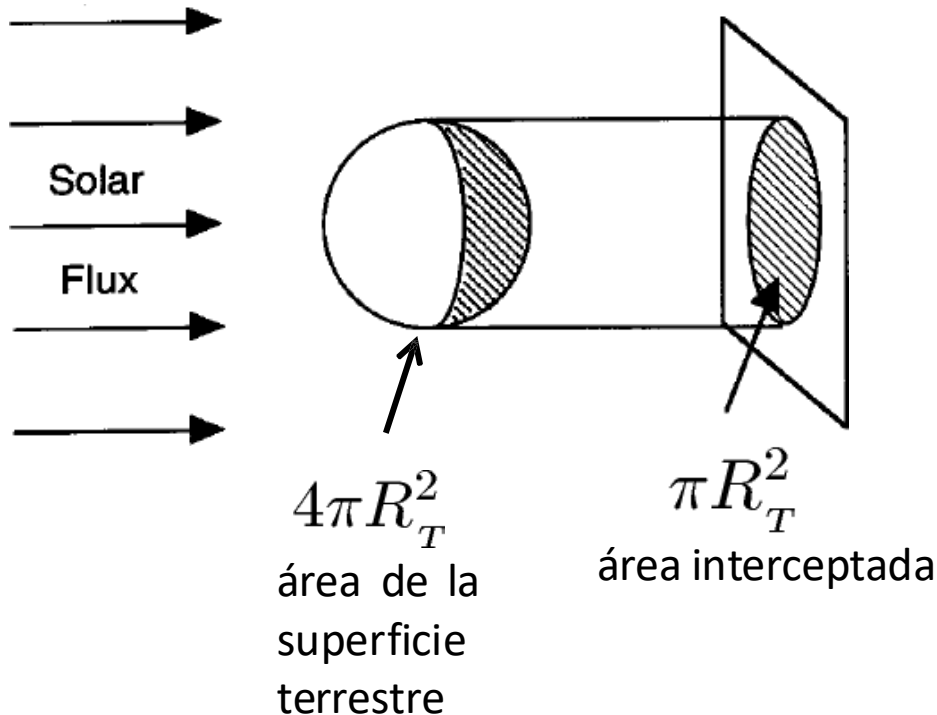
Cuanta energía radiante del sol alcanza a la tierra cada segundo?

$$S_0 = 1370 \text{ W m}^{-2}$$

Constante Solar



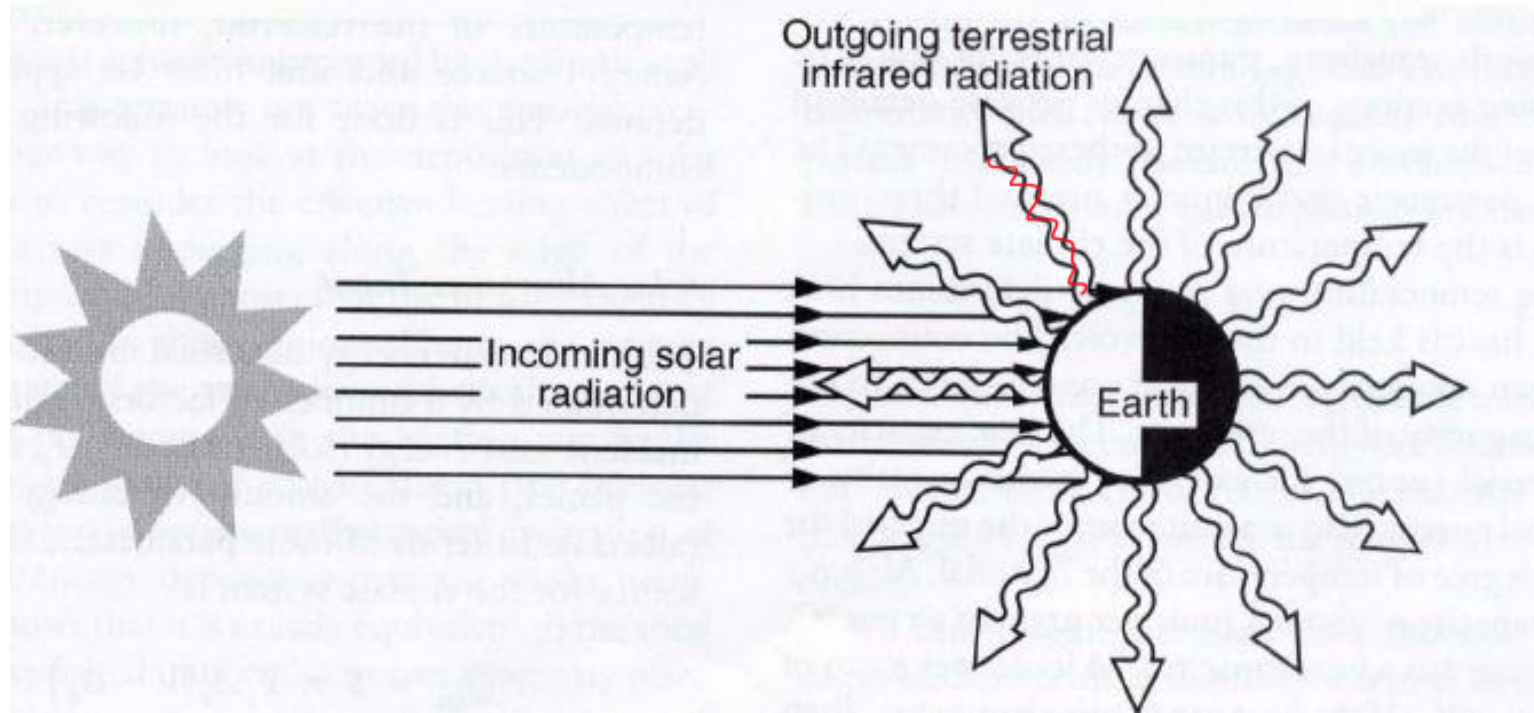
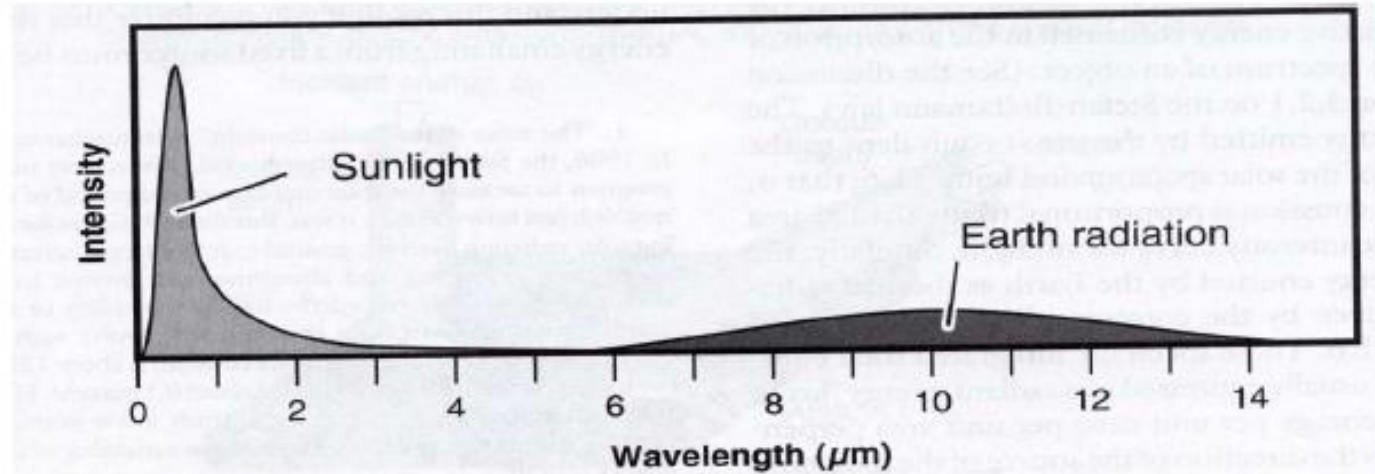
Flujo total de energía solar que alcanza la órbita de la tierra



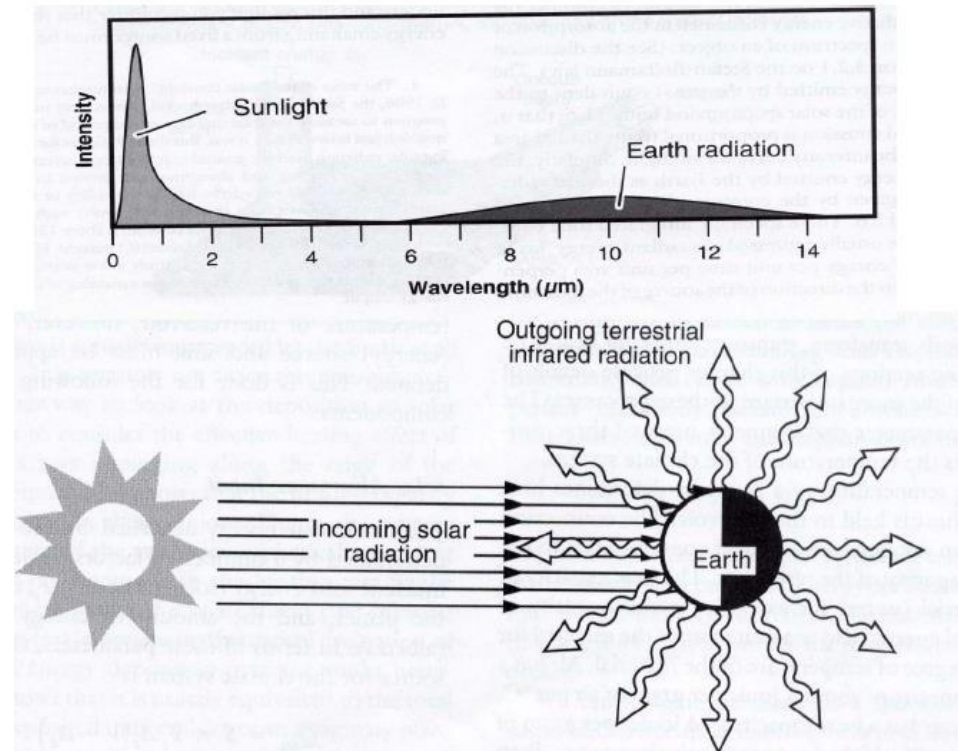
Solo una cuarta parte de este flujo es recibido por cada metro cuadrado de superficie terrestre.

$$F_s = \frac{S_0}{4} = 342 \text{ W m}^{-2}$$

Balance Energético del Planeta:



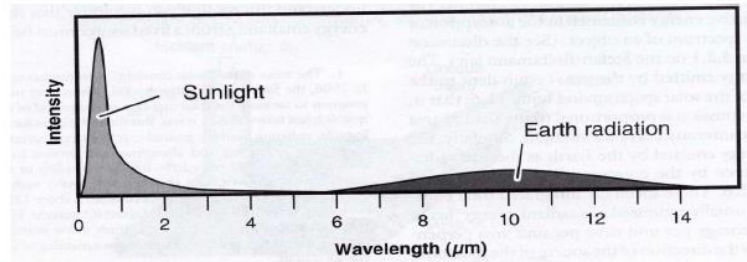
Balance energético de la tierra:



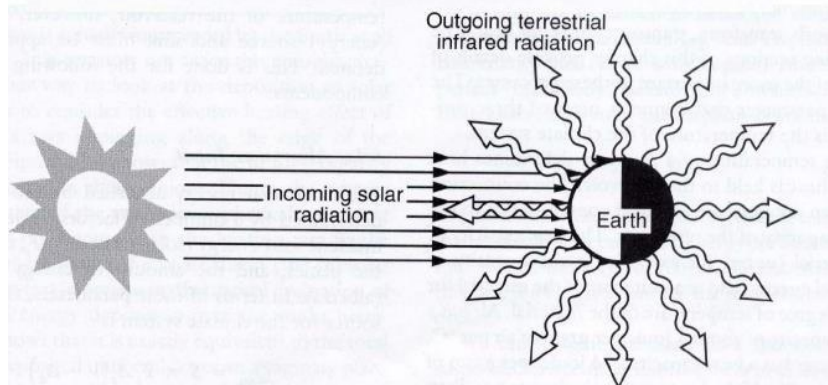
$$E = \sigma T^4$$

ENERGÍA TOTAL RECIBIDA = ENERGÍA IRRADIADA POR LA TIERRA

Ejercicio: ¿Cuál es la temperatura de equilibrio para el planeta Tierra?



$$F_s = \frac{S_0}{4} = 342 \text{ W m}^{-2}$$



$$E = \sigma T^4$$

Constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.670\,373 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

Temperatura de Equilibrio:

$$T = \left(\frac{S_0(1 - a)}{4\sigma} \right)^{1/4}$$

$$a = 0.3$$

$$\sigma = 5.670\,373 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

$$S_0 = 1370 \text{ W m}^{-2}$$

La temperatura de equilibrio, corresponde a la temperatura efectiva a la que la tierra irradia radiación infrarroja de vuelta al espacio, de forma que el planeta se encuentre en balance energético con la energía radiante proveniente del sol.

Para la tierra, esta temperatura es cercana a los 255K (-18°C)

Balance Planetario de Energía

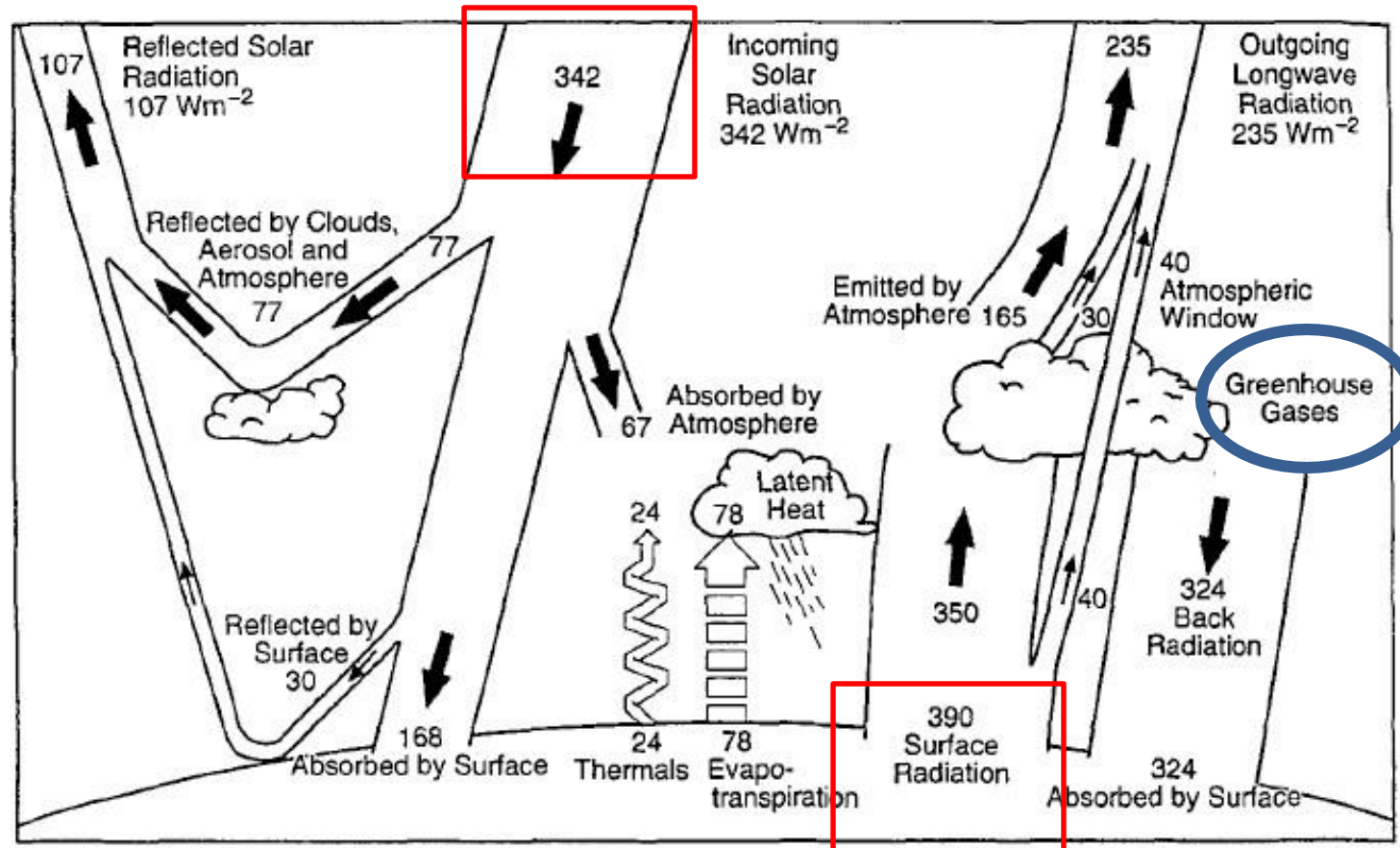


FIGURE 4.4 The Earth's annual and global mean energy balance (Kiehl and Trenberth 1997). Of 342 W m^{-2} incoming solar radiation, 168 W m^{-2} is absorbed by the surface. That energy is returned to the atmosphere as sensible heat, latent heat via water vapor, and thermal infrared radiation. Most of this radiation is absorbed by the atmosphere, which, in turn, emits radiation both up and down. (Reprinted by permission of the American Meteorological Society.)

Temperatura Superficial:

$$T_s = \left(\frac{S_0(1 - a)}{4\sigma(1 - \epsilon/2)} \right)^{1/4}$$

$$a = \text{albedo} = 0.3$$

$$\epsilon = \text{Emisividad de la atmósfera en el IR} = 0.77$$

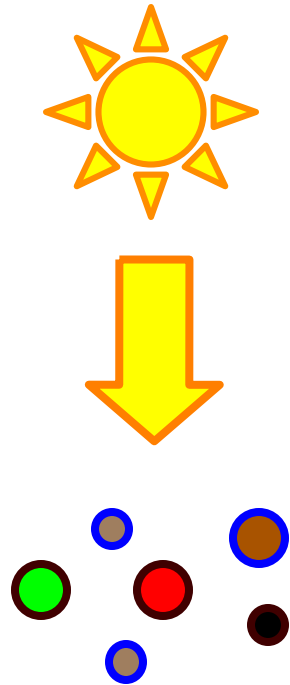
El modelo de balance radiativo más sencillo que incluye el “efecto invernadero”, es aquel en el que se considera una capa atmosférica, totalmente transparente a la luz visible, pero solamente parcialmente transparente a la radiación infrarroja. Esta capa atmosférica absorbe una fracción ϵ de la radiación IR emitida por la superficie y deja pasar una fracción $(1 - \epsilon)$ de dicha radiación.

La radiación absorbida en dicha capa atmosférica es entonces reemitida en todas direcciones, incluyendo la superficie. De esta forma, se puede capturar el efecto de las variables que controlan la temperatura superficial del planeta.

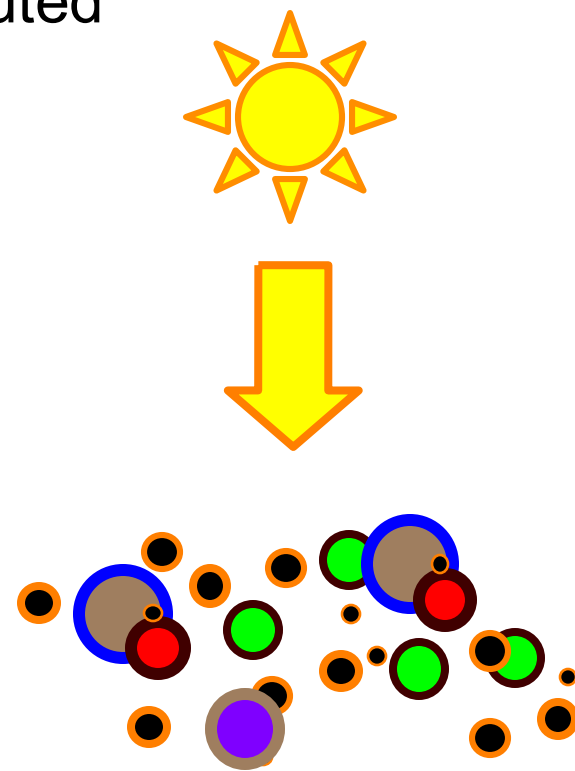
Direct Effects:

Aerosol absorb and scatter solar and thermal radiation to alter the radiative balance of the earth–atmosphere system.

Clean



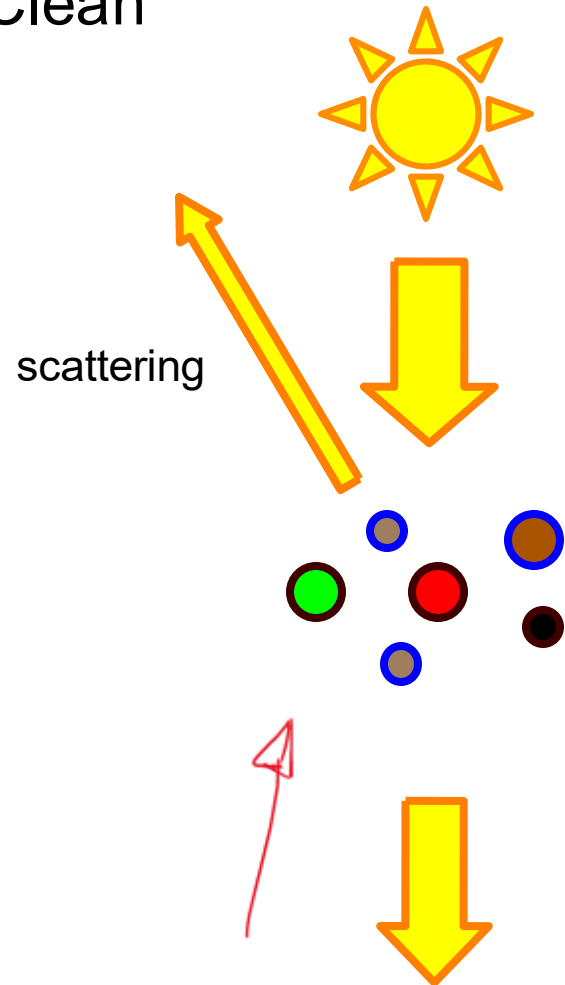
Polluted



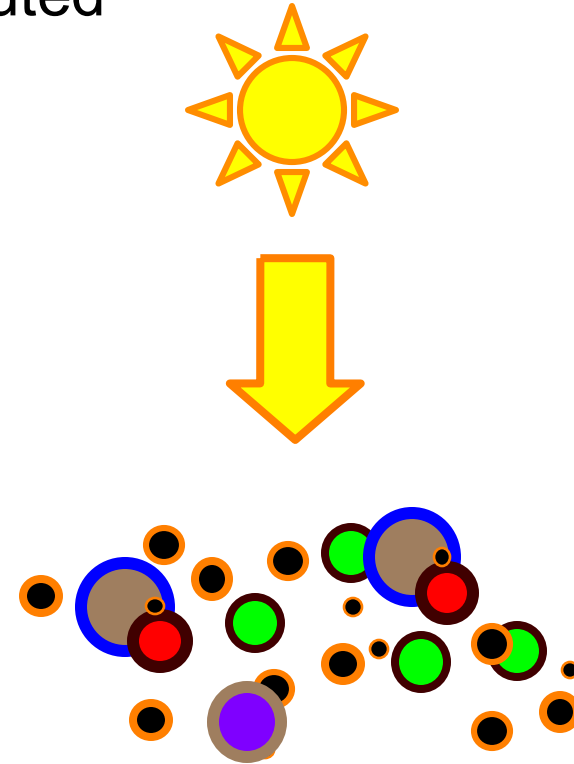
Direct Effects:

Aerosol absorb and scatter solar and thermal radiation to alter the radiative balance of the earth-atmosphere system.

Clean



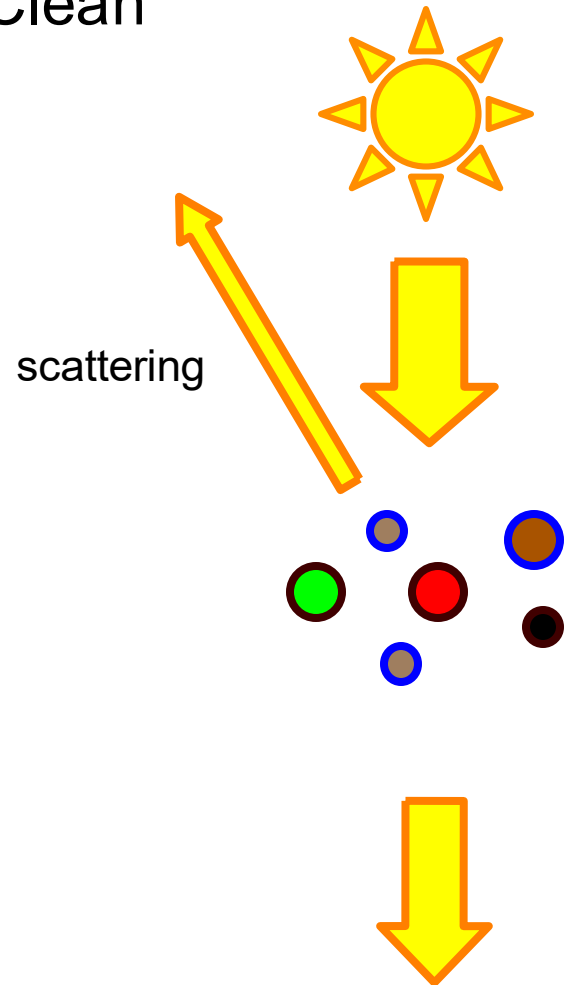
Polluted



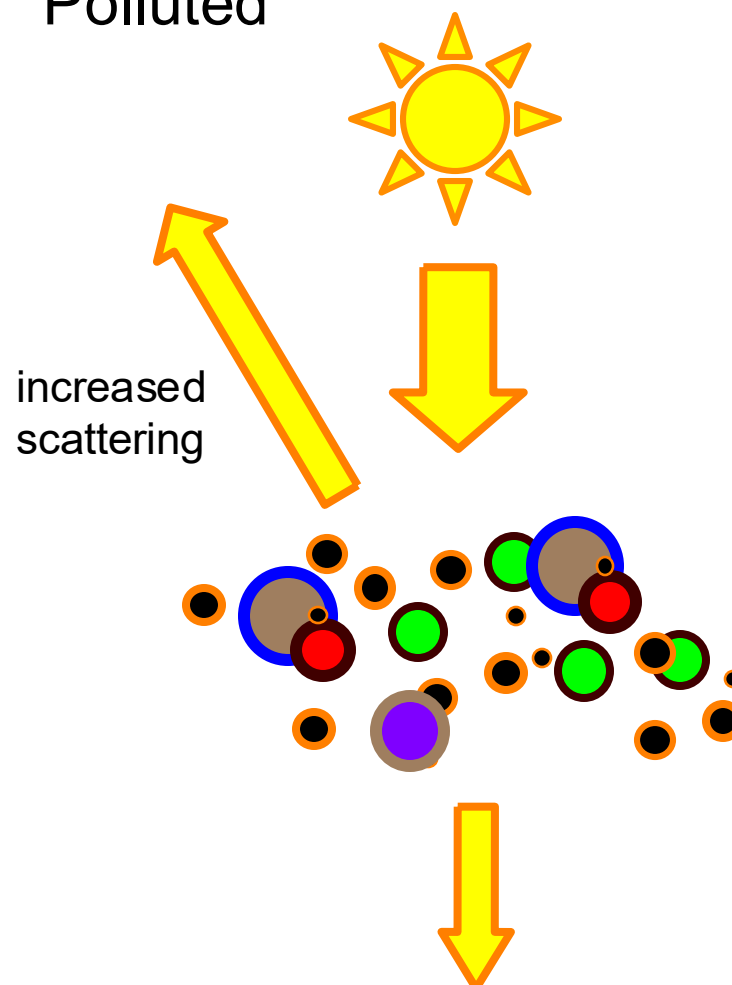
Direct Effects:

Aerosol absorb and scatter solar and thermal radiation to alter the radiative balance of the earth–atmosphere system.

Clean



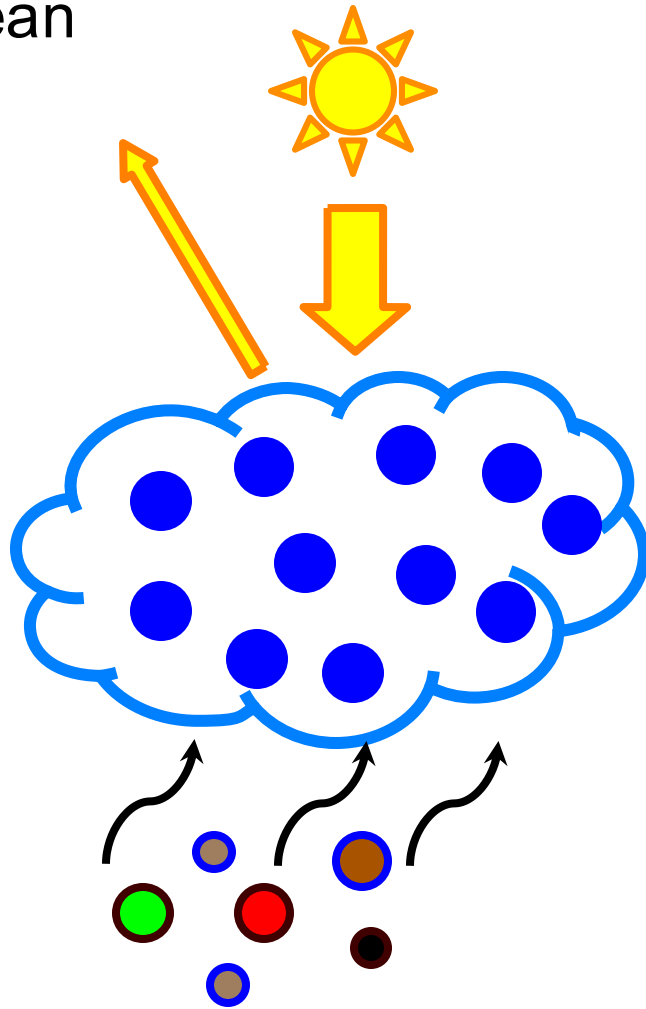
Polluted



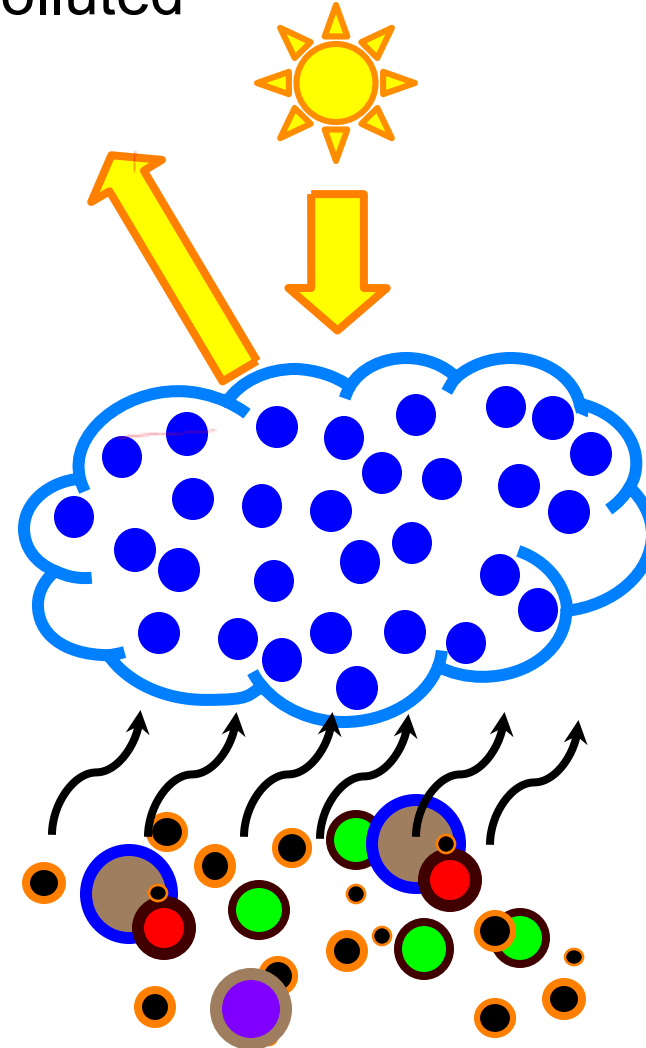
Indirect Effects:

Aerosols serve as cloud condensation nuclei (CCN) and/or ice nuclei (IN) to modify cloud properties.

Clean

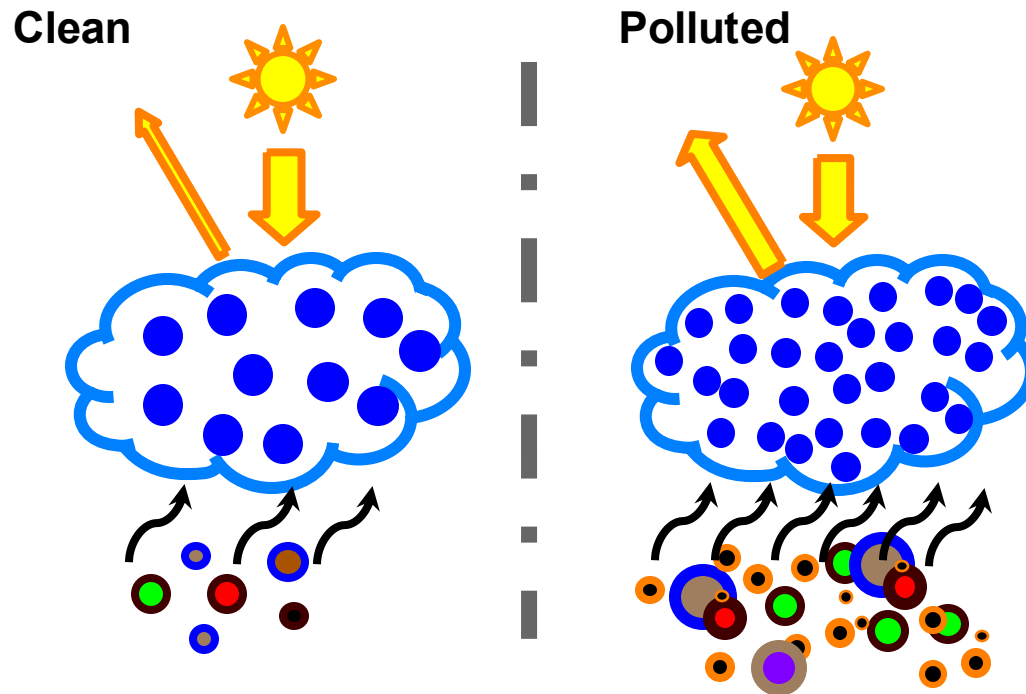


Polluted



Indirect Effects:

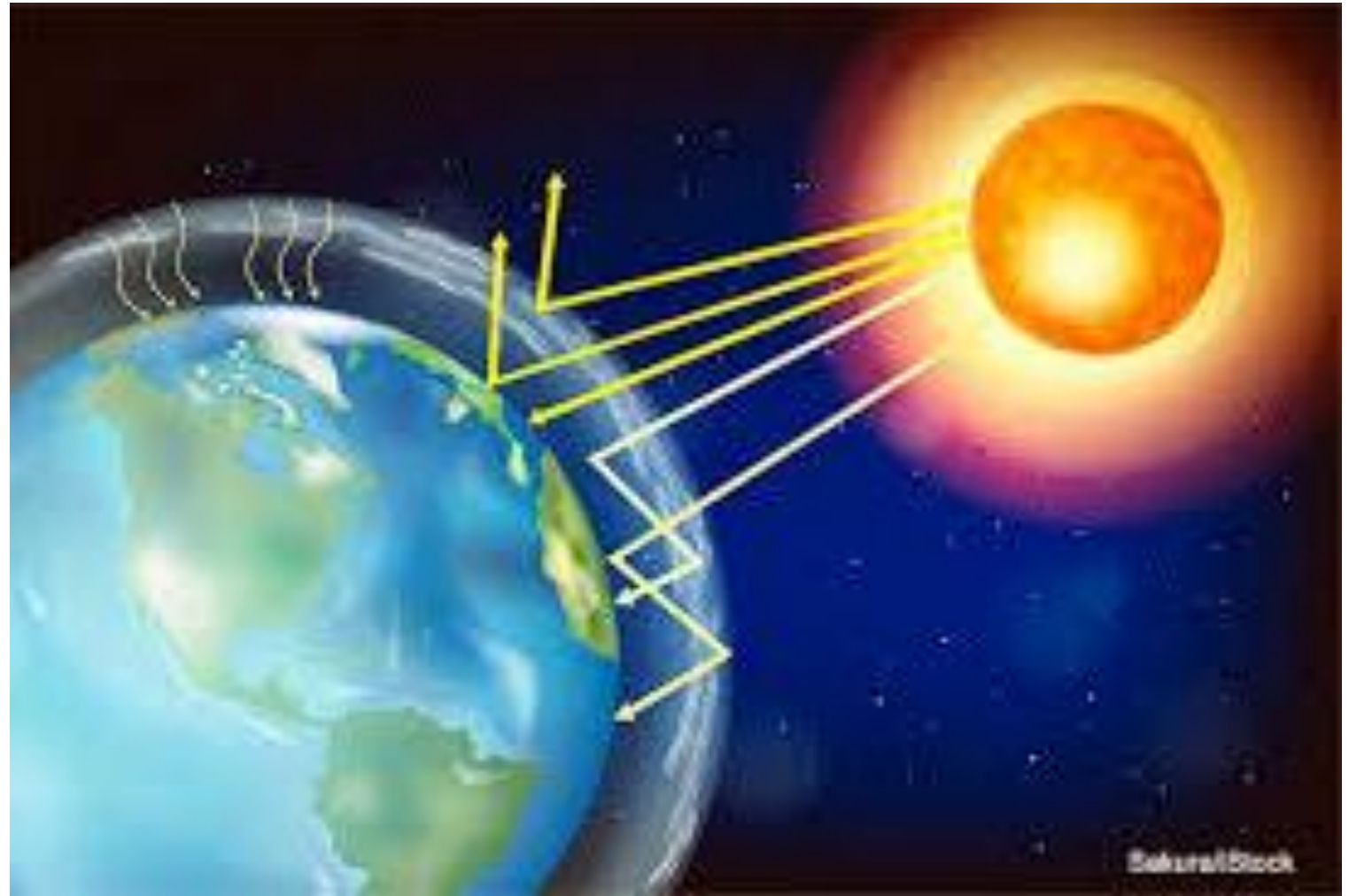
Aerosols serve as cloud condensation nuclei (CCN) and/or ice nuclei (IN) to modify cloud properties.



First: Increases in cloud droplet number can increase cloud albedo.

Second: Smaller cloud droplets reduce precipitation intensity but increase cloud lifetime.

Gases Efecto Invernadero - GHGs



Variabilidad espacial y temporal de procesos atmosféricos y Forzamiento Radiativo:

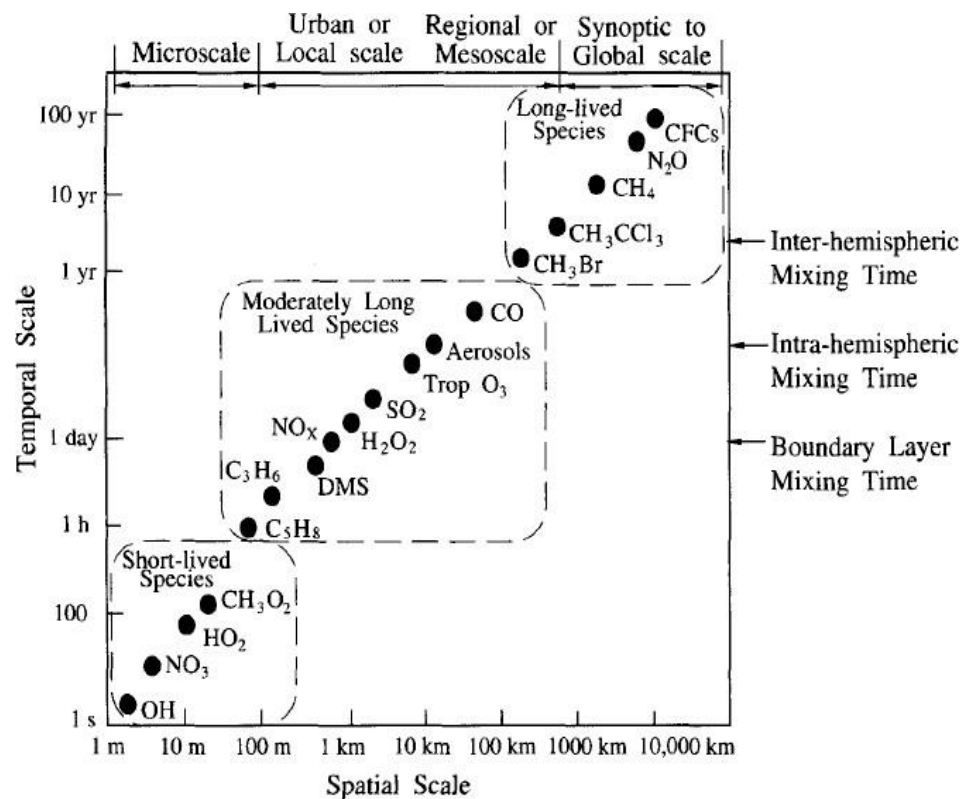
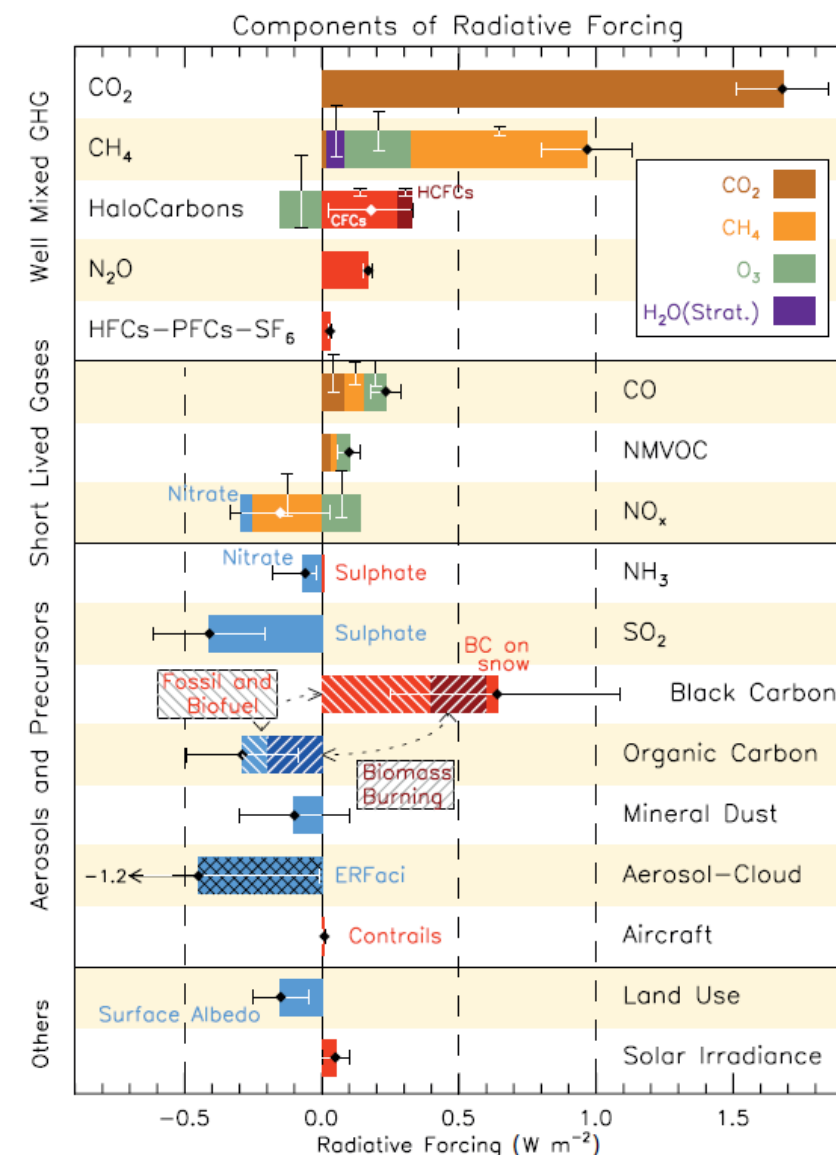


FIGURE 1.4 Spatial and temporal scales of variability for atmospheric constituents.

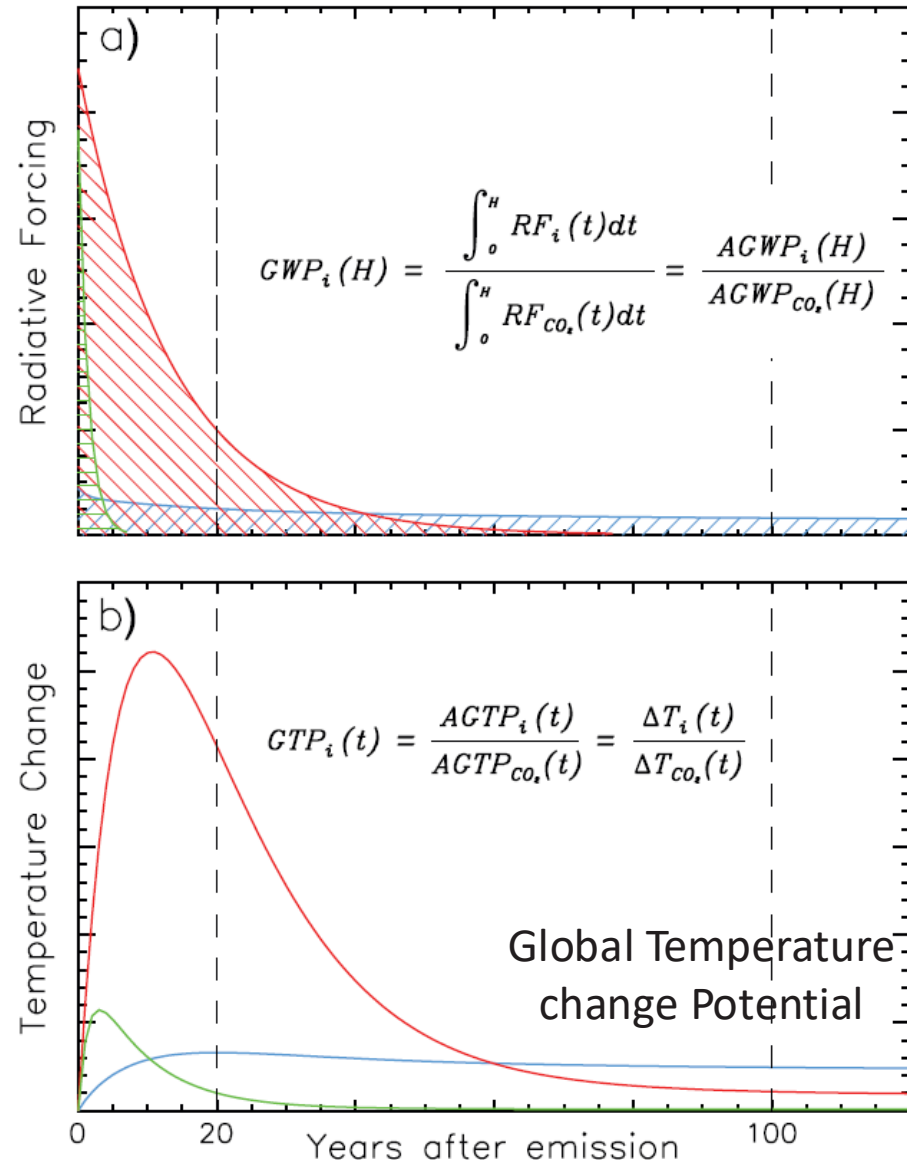
Forzamiento Radiativo = Cual es la capacidad de un gas de calentar la atmósfera debido a una emission de ese gas y se expresa en $[W m^{-2}]$.



Potencial de Calentamiento Global - GWP

El Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) es una medida que compara el impacto climático de diferentes gases de efecto invernadero (GEI) en relación con el dióxido de carbono (CO_2), en un horizonte temporal específico (por ejemplo, 20, 100 o 500 años).

Se define como **el forzamiento radiativo integrado en el tiempo** de una emisión puntual de un gas, **comparado con el CO_2** .



Potencial de Calentamiento Global - GWP

Table 8.7 | GWP and GTP with and without inclusion of climate-carbon feedbacks (cc fb) in response to emissions of the indicated non-CO₂ gases (climate-carbon feedbacks in response to the reference gas CO₂ are always included).

	Lifetime (years)		GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GTP ₂₀	GTP ₁₀₀
CH ₄ ^b	12.4 ^a	No cc fb	84	28	67	4
		With cc fb	86	34	70	11
HFC-134a	13.4	No cc fb	3710	1300	3050	201
		With cc fb	3790	1550	3170	530
CFC-11	45.0	No cc fb	6900	4660	6890	2340
		With cc fb	7020	5350	7080	3490
N ₂ O	121.0 ^a	No cc fb	264	265	277	234
		With cc fb	268	298	284	297
CF ₄	50,000.0	No cc fb	4880	6630	5270	8040
		With cc fb	4950	7350	5400	9560

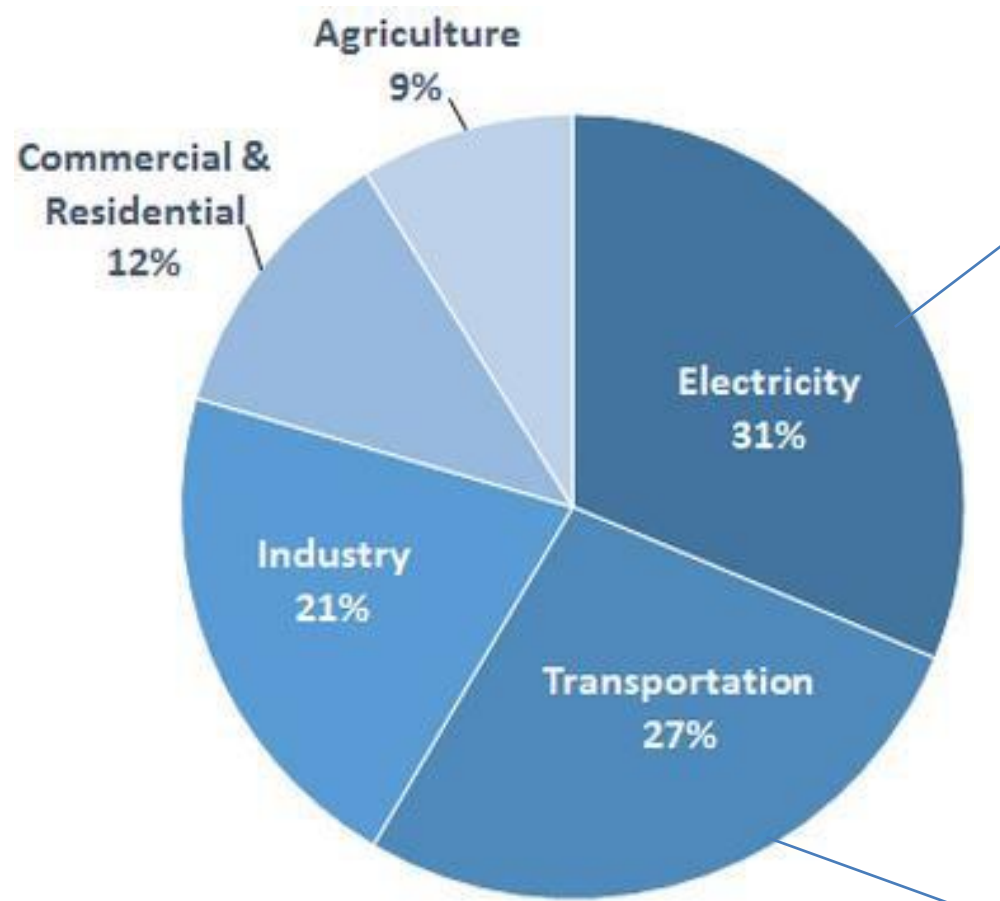
⇒ 14,35 m³ → gas Natural.

$$\hookrightarrow 1879 \frac{\text{g CO}_2}{\text{m}^3} \times 14.35 \text{ m}^3 = 26963.65 \text{ g CO}_2 \times 1 = 26963.65 \text{ CO}_2\text{-eq}$$

$$\hookrightarrow 0.037 \frac{\text{g CH}_4}{\text{m}^3} \times 14.35 \text{ m}^3 = 0.53 \text{ g CH}_4 \times 28 = 14.84 \text{ CO}_2\text{-eq}$$

$$\hookrightarrow 0.033 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{m}^3} \times 14.35 \text{ m}^3 = 0.47 \text{ g N}_2\text{O} \times 265 = 124.55 \text{ CO}_2\text{-eq}$$

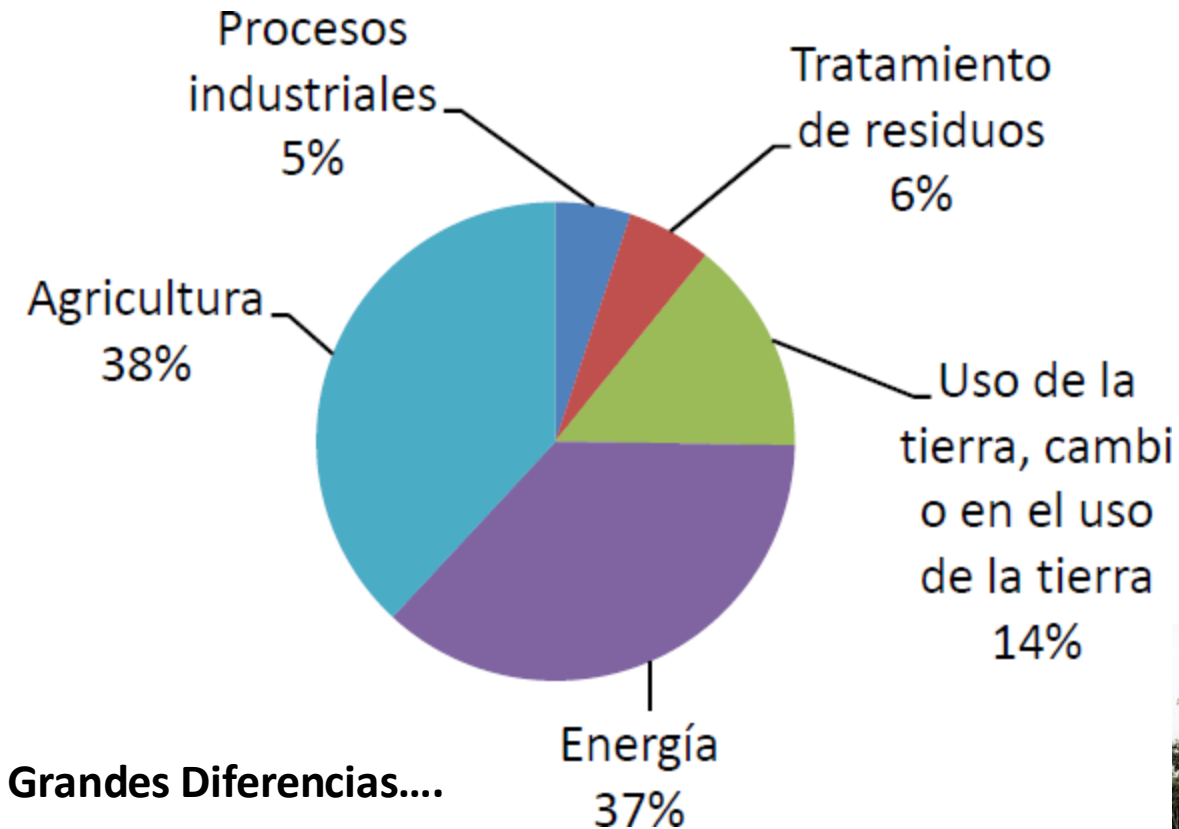
Principales Fuentes de Emisión de GHG (US)



6.7 Gton CO₂
Fuente: US EPA



Principales Fuentes de Emisión de GHG (Colombia)



Grandes Diferencias....

- Aporte de LULCF y Agricultura
- Matriz energética menos dependiente del carbón
- Emisiones totales (213 MtCO₂)

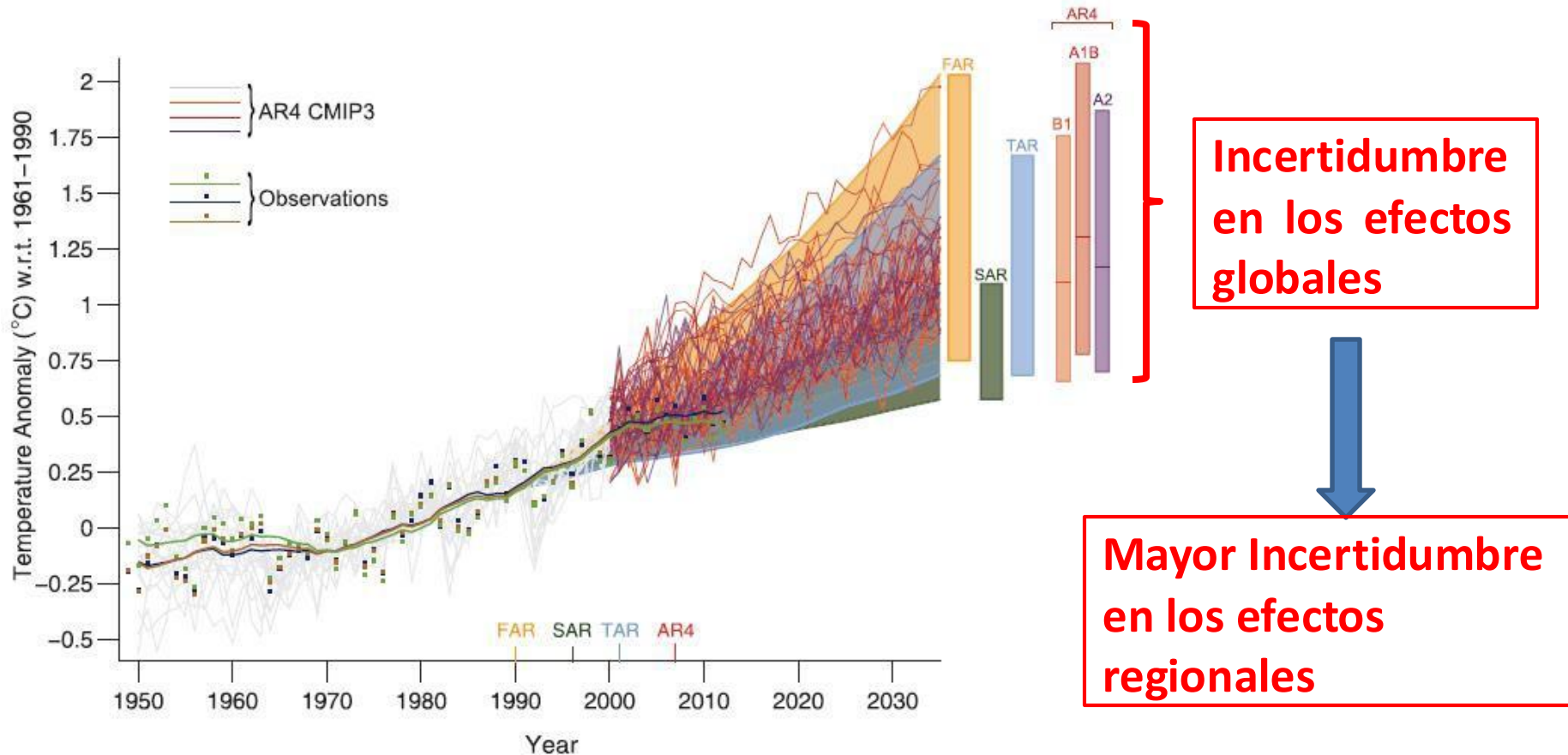
Fuente: Mónica Espinosa



Los impactos a diferentes escalas....

Cumulative emissions of CO₂ largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond. Most aspects of climate change will persist for many centuries even if emissions of CO₂ are stopped. This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO₂.

IPCC 2014



¿En qué consisten los diferentes escenarios?

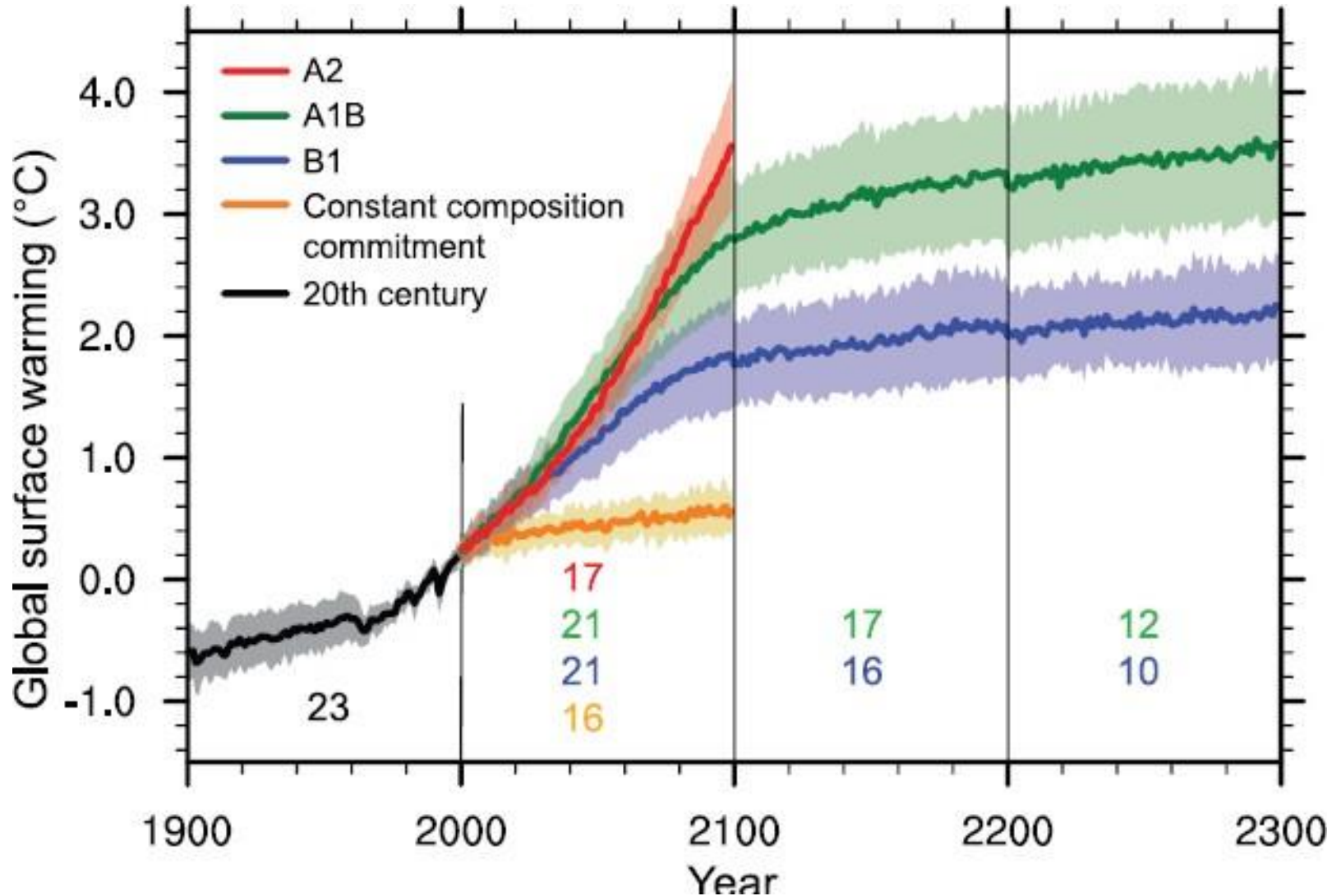
The A1 storyline and scenario family describes a future world of very rapid economic growth, global population that peaks in mid-century and declines thereafter, and the rapid introduction of new and more efficient technologies. Major underlying themes are convergence among regions, capacity building, and increased cultural and social interactions, with a substantial reduction in regional differences in per capita income. The A1 scenario family develops into three groups that describe alternative directions of technological change in the energy system. The three A1 groups are distinguished by their technological emphasis: fossil intensive (A1FI), non-fossil energy sources (A1T), or a balance across all sources (A1B).³

The A2 storyline and scenario family describes a very heterogeneous world. The underlying theme is self-reliance and preservation of local identities. Fertility patterns across regions converge very slowly, which results in continuously increasing global population. Economic development is primarily regionally oriented and per capita economic growth and technological change are more fragmented and slower than in other storylines.

The B1 storyline and scenario family describes a convergent world with the same global population that peaks in mid-century and declines thereafter, as in the A1 storyline, but with rapid changes in economic structures toward a service and information economy, with reductions in material intensity, and the introduction of clean and resource-efficient technologies. The emphasis is on global solutions to economic, social, and environmental sustainability, including improved equity, but without additional climate initiatives.

The B2 storyline and scenario family describes a world in which the emphasis is on local solutions to economic, social, and environmental sustainability. It is a world with continuously increasing global population at a rate lower than A2, intermediate levels of economic development, and less rapid and more diverse technological change than in the B1 and A1 storylines. While the scenario is also oriented toward environmental protection and social equity, it focuses on local and regional levels.

Incrementos Estimados de la Temperatura para Diferentes Escenarios



Ejercicio 2:

1. Estime las emisiones de CO₂ generadas por el sector transporte en Colombia 2010, asociadas al consumo de diésel, gasolina y gas natural:

Balance energético nacional 2010 (UPME):

Energéticos	Demanda (TJ)	Participación
Diésel	169,016	46%
Gasolina	111,483	30%
Kerosene	33,007	9%
Gas Natural	25,736	7%
Biodiesel	11,038	3%
Biogasolina	6,053	2%
Electricidad	223	<1%

Factores emisión combustibles nacionales (UPME):

Energéticos	Kg CO ₂ /TJ
Diésel	74,870
Gasolina	74,570
Gas Natural	55,101

2. ¿Cuánto representa el transporte dentro de las emisiones nacionales?
3. ¿Qué puede proponer como estrategia para reducir las emisiones del transporte?

Solución Ejercicio 2:

1. Estime las emisiones de CO₂ generadas por el sector transporte en Colombia 2010, asociadas al consumo de diésel, gasolina y gas natural.

Energéticos	Demanda (TJ)	Emisiones (Mt CO2)
Diesel	169,016	12.7
Gasolina	111,483	8.3
Kerosene	33,007	
Gas Natural	25,736	1.4
Biodiesel	11,038	
Biogasolina	6,053	
Electricidad	223	

2. ¿Cuánto representa el transporte dentro de las emisiones nacionales? 10%
3. ¿Qué puede proponer como estrategia para reducir las emisiones del transporte?

Ejercicio 3:

1. Estime las emisiones de CO₂ que usted genera por transporte desde/hacia la universidad en un año, use los siguientes datos:

Factores emisión (g CO ₂ /Km)	
Taxi gasolina	258
Taxi GNV	241
Vehículo liviano gasolina	232
Campero gasolina	460
Motocicleta (2 tiempos)	28
Motocicleta (4 tiempos)	33
Bus TM diésel	685
Bus SITP diésel	561

Capacidad bus SITP: 90 pasajeros

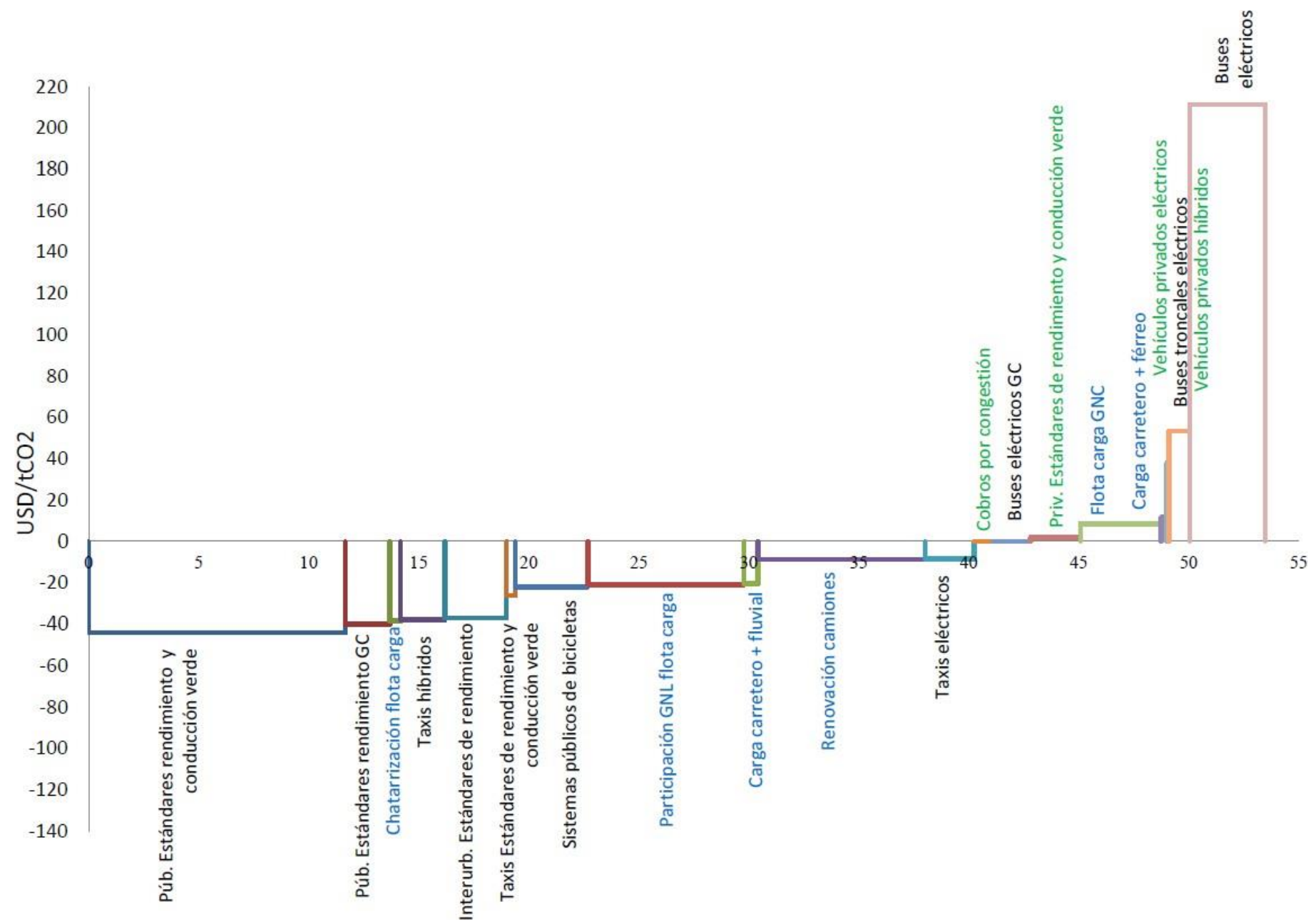
Capacidad bus articulado TM: 160 pasajeros

2. Si los bogotanos viajaran como usted, cuáles serían las emisiones anuales de CO₂?
3. ¿Qué puede proponer como estrategia para reducir las emisiones del transporte?

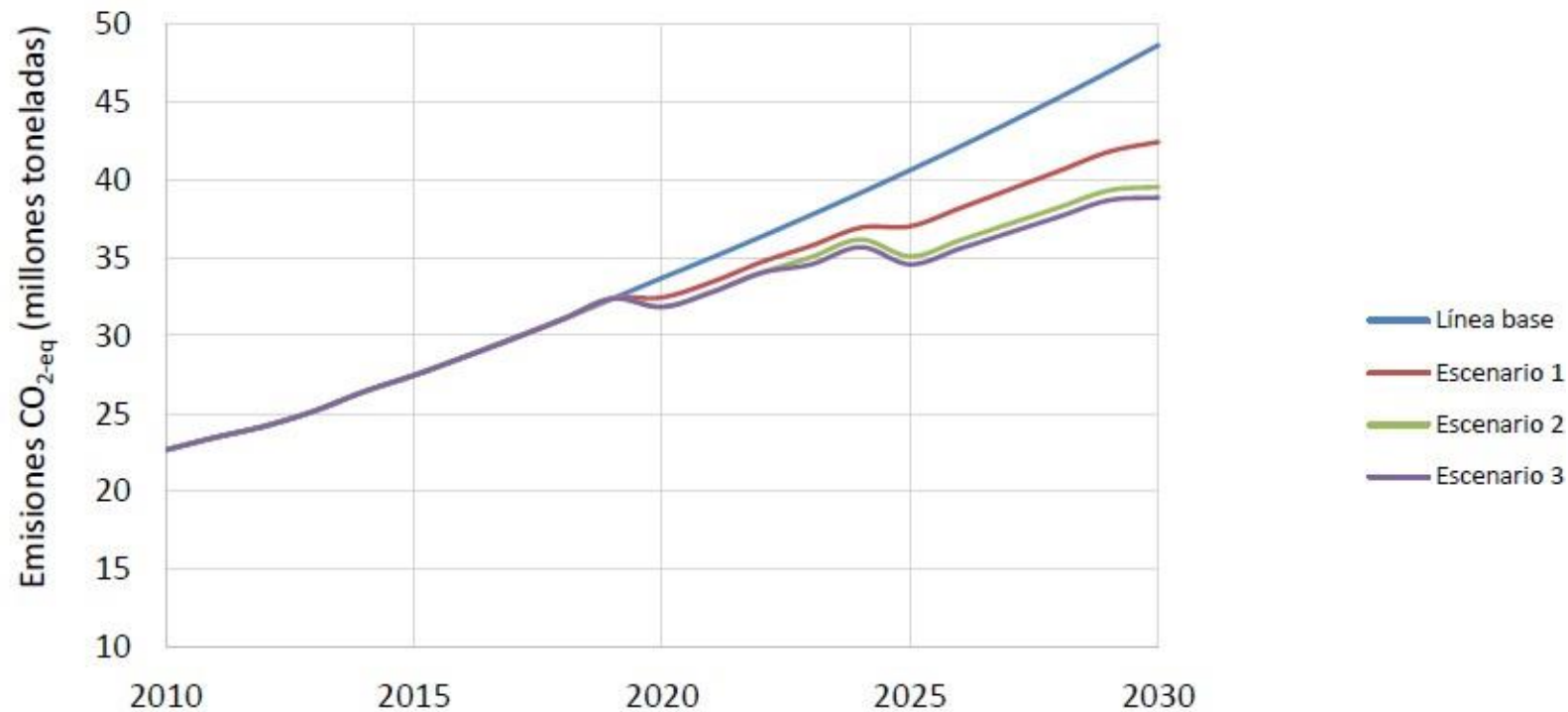
Medidas de mitigación – Universo de opciones



Evaluación de opciones de mitigación

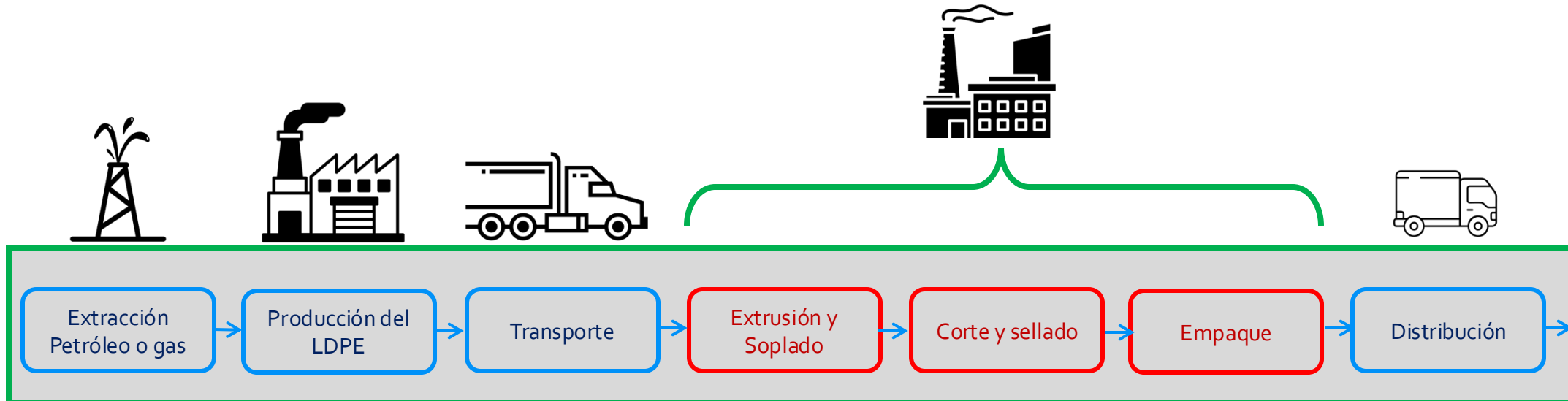
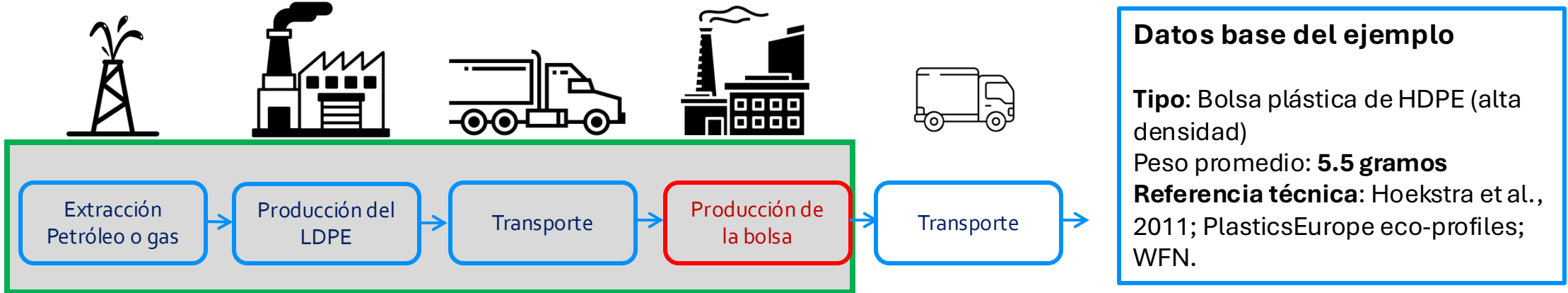


Escenarios de mitigación



- Reducción entre 12% y 20% respecto a 2030 en línea base.
- Reducción acumulada entre 5.5% y 9%.

Cálculo de indicadores ambientales



Cálculo de indicadores ambientales

Mono layer extrusion

Compact Blown Film Machine

Mini. Easy. Ready.

- Good for producing bags of different colors and sizes
- Flat bags, vegetable bags, T-shirt bags and etc.
- Space saving
- Easy installation and operation
- Works with recycled material and CaCO₃



INSTALLED POWERS

	MD 52	MD 66	MD 75
Asynchronous extruder motor (kW)	2x7.5	2x7.5 - 2x9	2x15 - 2x22
Degassing pump motor (kW)	2.2	2.2	4
Total installed power (kW)	40	45 - 55	85 - 100
Average consumed power (kW/h)	18	20 - 25	34 - 40

Datos base del ejemplo

Tipo: Bolsa plástica de HDPE (alta densidad)

Peso promedio: 5.5 gramos

Referencia técnica: Hoekstra et al., 2011; PlasticsEurope eco-profiles; WFN.



Model	Width (mm)	Thickness (mm)		Output (kg/hr)	
		HDPE	LDPE	HDPE	LDPE
MB45 (MB45-750)	200-600	0.008-0.03 (8-30 micron)	0.02-0.05 (20-50 micron)	30-40	35-45
MB55 (MB55-1000)	200-800			40-50	45-55



Extracción
Petróleo o gas

Producción del
LDPE

Transporte

Extrusión y
Soplado

Corte y sellado

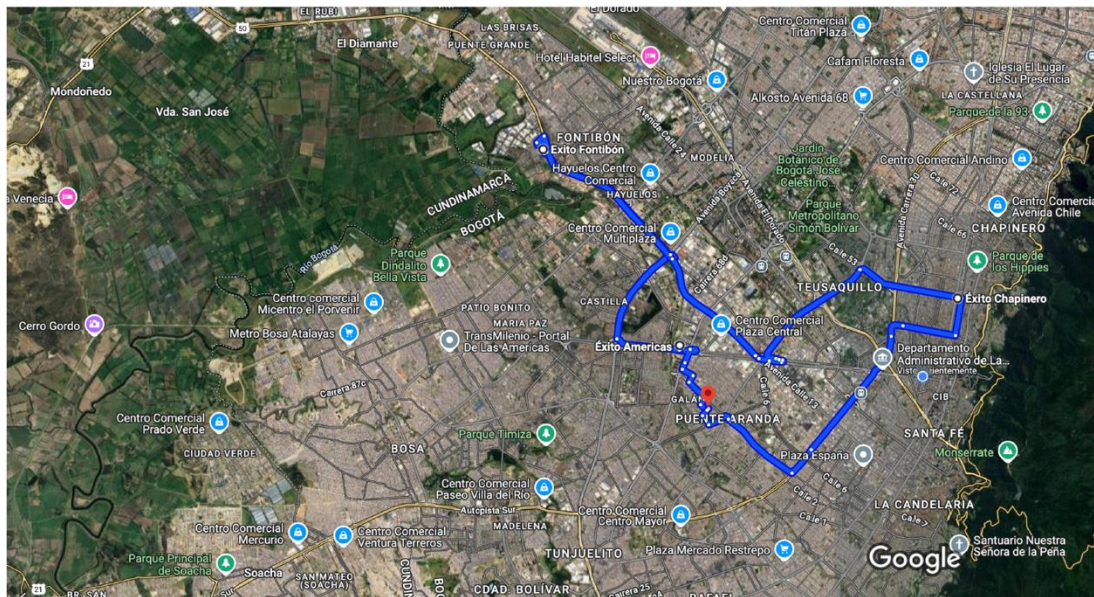
Empaque

Distribución

Cálculo de indicadores ambientales

Google Maps

de Cra. 53d #2B-33, Bogotá a Cra. 53d #2B-33, Bogotá En coche 35,1 km, 1 h 24 min



Imágenes ©2025 Airbus, CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies, Datos del mapa ©2025 2 km



Tipo de furgón	Ciudad (km/galón)	Carretera (km/galón)
Furgón mediano a gasolina	25–30 km/galón	30–35 km/galón
Furgón mediano a diésel	30–35 km/galón	35–40 km/galón

<https://transtelsa.com/vehiculo/caja-cerrada/>



Extracción
Petróleo o gas

Producción del
LDPE

Transporte

Extrusión y
Soplado

Corte y sellado

Empaque

Distribución



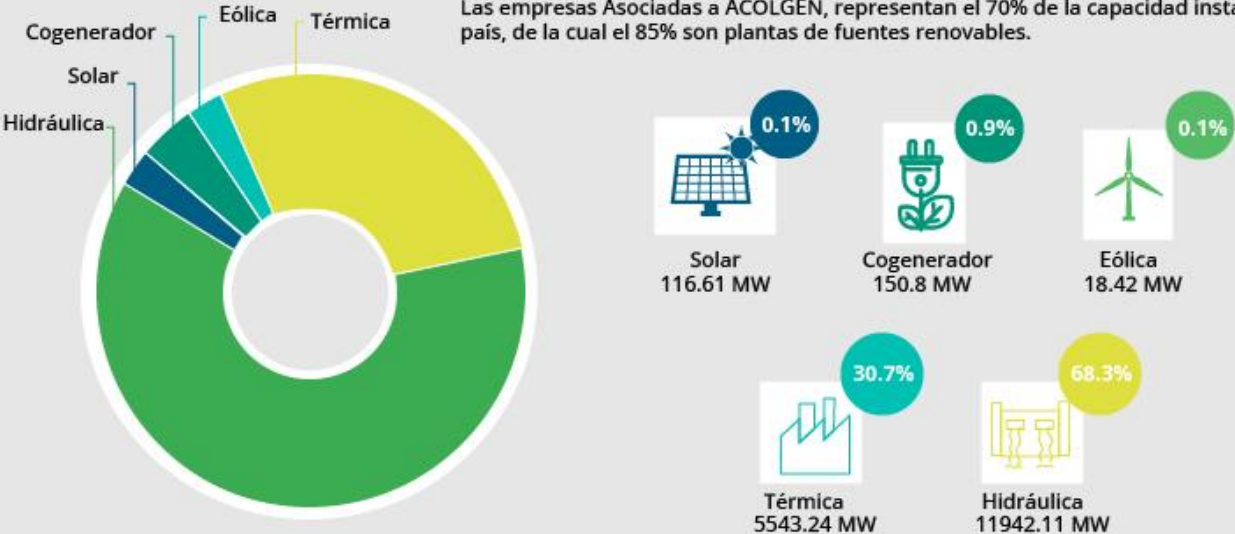
UPME

Unidad de Planeación Minero
Energética

Cálculo de indicadores ambientales

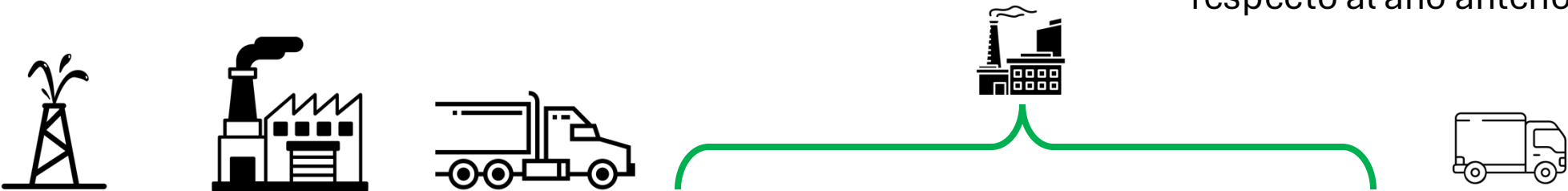
Capacidad instalada en Colombia

La matriz de generación eléctrica colombiana, es la sexta matriz mas limpia del mundo, el 68% de la capacidad instalada es de fuentes renovables de energía eléctrica. Las empresas Asociadas a ACOLGEN, representan el 70% de la capacidad instalada del país, de la cual el 85% son plantas de fuentes renovables.



Año	Factor de emisión (tCO ₂ eq/MWh)	Factor de emisión (kgCO ₂ eq/kWh)
2021	0.126	0.126
2022	0.112	0.112
2023	0.177	0.177
2024	0.21742	0.21742

Año 2024 (preliminar): Debido al fenómeno de El Niño y la disminución de aportes hídricos, el factor de emisión aumentó a **0,21742 tCO₂eq/MWh**, representando un incremento del 22,83% respecto al año anterior.





UPME

Unidad de Planeación Minero
Energética

Cálculo de indicadores ambientales

Factores de Emisión Típicos (por litro de diésel)

Fuente: IPCC 2006, EPA, UPME-Colombia

Gas/Contaminante	Factor de emisión aproximado
CO ₂	~2.68 kg por litro
NO _x	~0.04–0.09 g/km (vehículo liviano)
PM _{2.5}	~0.005–0.02 g/km
CO	~0.6–1.2 g/km

