



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

MÓDULO 7:

PREDICCIÓN DE IMPACTOS RADIOLÓGICOS

Profesores:
D. Carlos de Vera López
D^a. Aranzazu García Monedero
PROINSA



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

MÓDULO 7: PREDICCIÓN DE IMPACTOS RADIOLÓGICOS

- 7.1** **DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y DEPOSICIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO**
- 7.2** **EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**
- 7.3** **ANÁLISIS DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO A LA RADIACIÓN**



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

DISPERSIÓN ATMOSFÉRICA Y DEPOSICIÓN DEL MATERIAL RADIOACTIVO

- **OBJETIVOS:**

Conocimientos básicos de:

- La **DIFUSIÓN ATMOSFÉRICA** y de la **DEPOSICIÓN**
- **PARÁMETROS** meteorológicos
- **MODELOS** para estimar el impacto de las condiciones meteorológicas sobre las consecuencias de un accidente.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

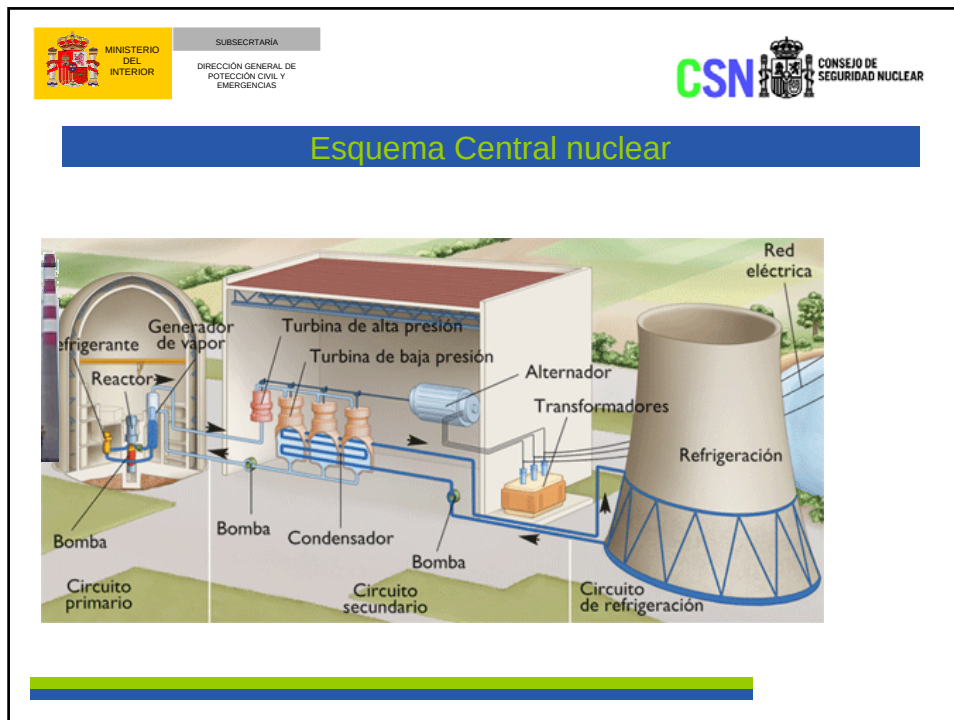
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

Dónde está el
foco de
emisiones
gaseosas





MINISTERIO DEL INTERIOR SUBSECRETARÍA DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Elementos potencialmente afectados por un accidente nuclear

- La atmósfera en el entorno del lugar de emisión
- La hidrosfera (agua superficial, lagos, océanos)
- La litosfera (suelos y aguas profundas)
- La biosfera (cadenas alimenticias, incorporación en huevos y leche,...)



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



¿De qué hablamos?

- Una nube atmosférica de material radiactivo transportado por el aire desde una planta es la principal fuente de exposición del público durante los estados iniciales de los accidentes en reactores nucleares.
- La exposición puede incluir una dosis externa recibida mientras se está inmerso en la nube y una dosis interna por inhalación de gases o partículas.
- La nube está compuesta de mezclas variables de gases nobles (kriptón, xenón), yodo y partículas materiales.
- El período de liberación puede ser corto (pocas horas) o durar varios días.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INTRODUCCION

DIFUSION

- Con la emisión de material radiactivo a la atmósfera (nube radiactiva), los vientos pueden dispersarlo sobre una región extensa y la población puede ser expuesta a través de diversas vías (radiación directa de la nube, inhalación e ingestión de alimentos y agua contaminados)
- Las precipitaciones (lluvia, nieve) provocan la deposición del material radiactivo en el suelo:

DEPOSICION

- 👉 Aumenta la contaminación del suelo y la exposición a radiaciones por los radionucleidos depositados
- 👉 Se reduce la cantidad de material en suspensión en el aire (menor contenido en la nube) y la consiguiente exposición



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INTRODUCCION

Las autoridades, en la fase inicial de una emergencia con emisión de material radiactivo al exterior, deben decidir sobre:

- ➔ Qué zona (y población) se verá afectada
- ➔ Evacuación o confinamiento
- ➔ Otras medidas (ingestión de yodo estable,...)

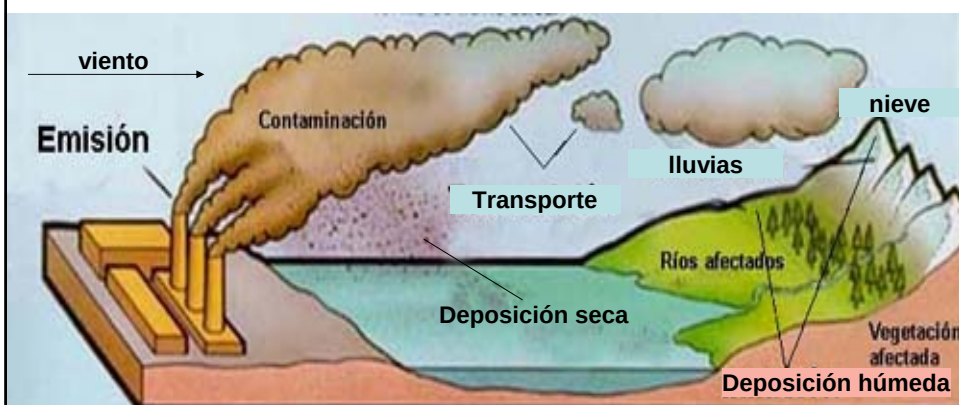
Las condiciones meteorológicas de la zona influyen esas decisiones



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Procesos atmosféricos en una emisión radiactiva





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



BASES DE LA DIFUSIÓN ATMOSFÉRICA

Las condiciones meteorológicas predominantes determinan el **riesgo** al que puede exponerse la población ante una emisión accidental de material radiactivo:

- El material emitido a la atmósfera sufre procesos de difusión atmosférica (transporte por el viento, dispersión y dilución en aire) y también deposición sobre la superficie terrestre (que puede ser seca o húmeda).
- También determinan la sobreelevación inicial del penacho
- El viento transporta hacia ciertas direcciones y no a otras (influencias de la topografía local)



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



¿Qué es la atmósfera?





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR



Atmósfera:

- Envoltorio gaseoso muy tenue
- Un fluido donde prevalecen casi siempre los movimientos horizontales



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS

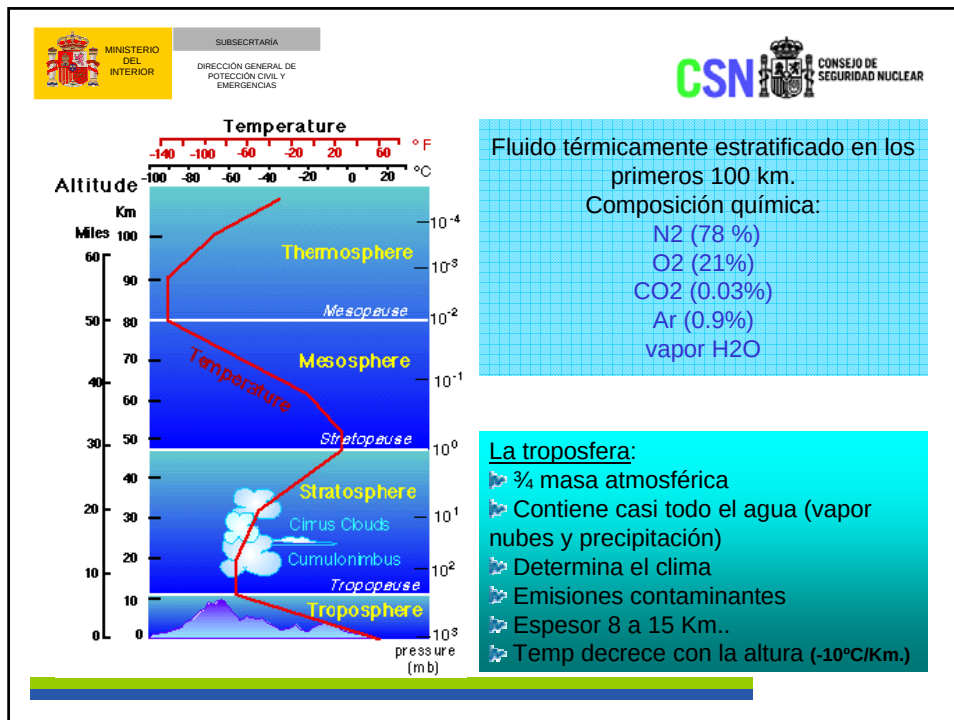


CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR



**La atmósfera
un fluido**

- cambiante
- caótico
- y complejo





MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Factores que rigen los movimientos de la atmósfera:



- El origen de todo... **EL SOL**
 - Aporta la energía en forma de radiación electromagnética, que incide en la tierra y produce un **calentamiento diferencial** en unas zonas respecto a otras (tierra, mares, bosques, desiertos,...).
 - Las diferencias de temperatura en la superficie terrestre se transmiten al aire junto a ella generando **diferencias de presión** en las masas de aire.
 - Esto origina los **vientos** que van desde las zonas de altas presiones atmosféricas hacia las bajas, creándose grandes células convectivas planetarias
- Rotación de la tierra – **desviación de Coriolis**
- El **rozamiento** del aire con la superficie terrestre y la **orografía**: cizalladura del viento y turbulencias mecánicas.
- El movimiento de la tierra alrededor del sol – las variaciones estacionales y diarias



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

Parámetros meteorológicos

1. Temperatura  → mov. vertical
2. Humedad  → precipitaciones/deposición
3. Viento  → mov. horizontal.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

Parámetros meteorológicos

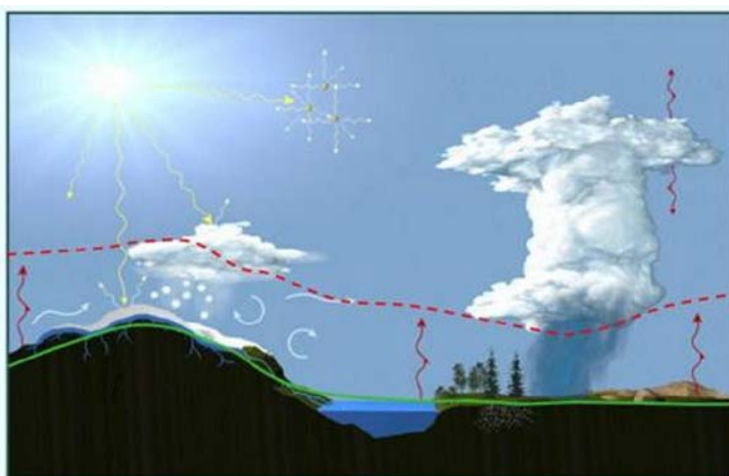
- Velocidad y dirección del viento
- Perfil vertical de temperaturas e Insolación
- Precipitación y Humedad
- Altura de mezcla, altura de inversión
- Se calculan en promedios en 15 minutos u horarios

Cómo es el movimiento de la atmósfera

Es la superposición de

- Los movimientos generales de la circulación atmosférica
- Los movimientos locales cerca de la superficie determinados por la orografía

Hasta qué altura influye la fricción con el suelo:
capa límite planetaria y capa de mezcla





MINISTERIO DEL INTERIOR

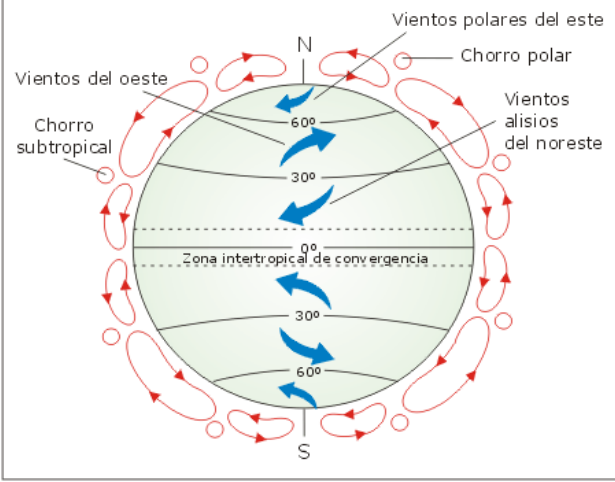
SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Vientos Generales: circulación general atmosférica



The diagram illustrates the general atmospheric circulation on a globe. It shows the following features:

- North Pole (N):** Vientos polares del este (Polar easterlies).
- Subtropical High Pressure Zone (30°):** Chorro polar (Polar jet) and Chorro subtropical (Subtropical jet).
- Equator (0°):** Zona intertropical de convergencia (Intertropical convergence zone).
- Subtropical Low Pressure Zone (30°):** Vientos alisios del noreste (Northeast trade winds).
- South Pole (S):** Vientos polares del oeste (Polar westerlies).
- Subtropical High Pressure Zone (30°):** Chorro subtropical (Subtropical jet).
- Equator (0°):** Zona intertropical de convergencia (Intertropical convergence zone).
- Subtropical Low Pressure Zone (30°):** Vientos alisios del suroeste (Southwest trade winds).



MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

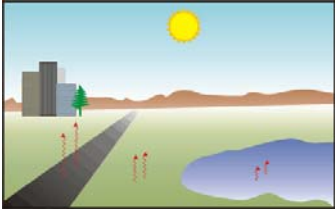
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



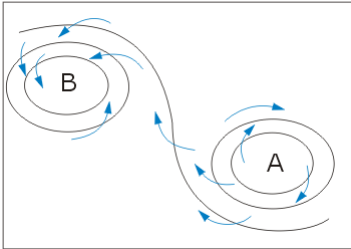
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Vientos Generales

Todos los vientos son el resultado del calentamiento diferencial, que conduce a diferencias en la presión, diferencias que llamamos gradiente de presión.



The illustration shows a landscape with a city, a field, and a body of water under a bright sun. Red arrows indicate air rising from the city and the field, and blue arrows indicate air sinking over the water, illustrating the concept of differential heating and pressure gradients.



The diagram shows two pressure systems: a high-pressure system (B) and a low-pressure system (A). Blue arrows indicate the wind circulation: air flows from high pressure (B) to low pressure (A) at the surface, and from low pressure (A) to high pressure (B) aloft, following the pressure gradient.

Los vientos generales son aquellos de gran escala que son causados por los gradientes de presión asociados con altas (anticiclones) y bajas (borrascas).



MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



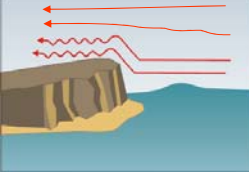
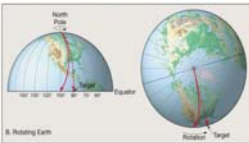
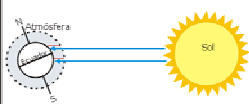
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Vientos Generales

Circulación general atmosférica alrededor del planeta:
Resultante de:

- Gradiente de presiones (calentamiento diferencial por el sol)
- Fuerza Coriolis (desviación aparente)

+ Rozamiento con el suelo puede despreciarse por encima de cierta altura





MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Circulación general atmosférica

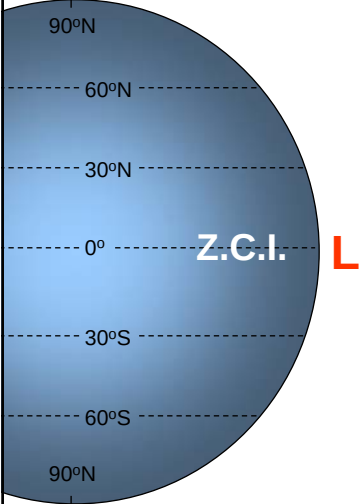
Aire frío y altas presiones

El calor incide más fuerte en el ecuador y se transporta hacia los polos gracias a la atmósfera:

Baja presión, recalentamiento



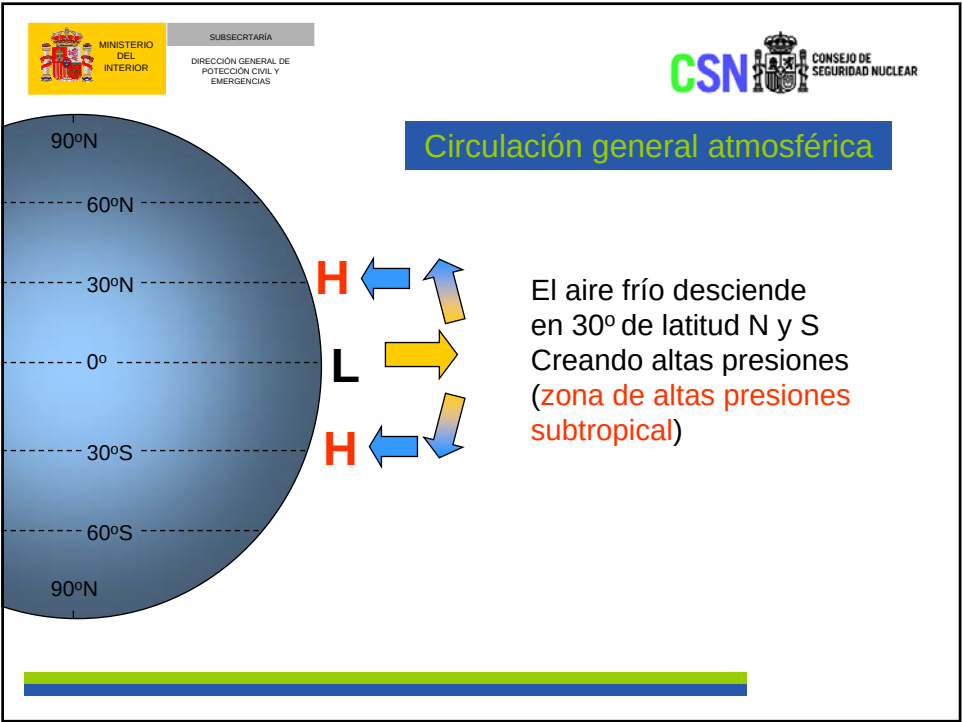


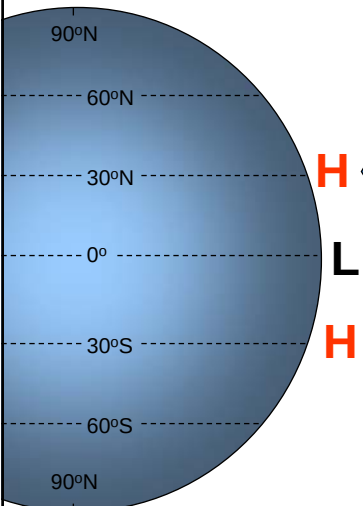


Circulación general atmosférica

El aire recalentado junto al suelo en el ecuador se eleva creando bajas presiones (zona de convergencia Intertropical) y fluye en altura con dirección a los polos

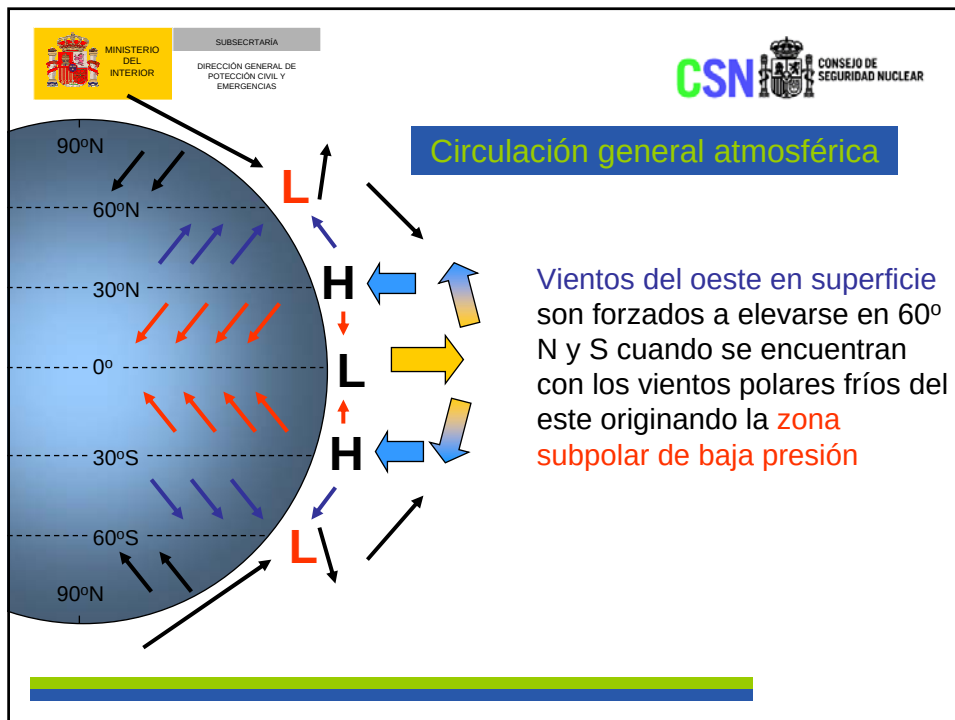
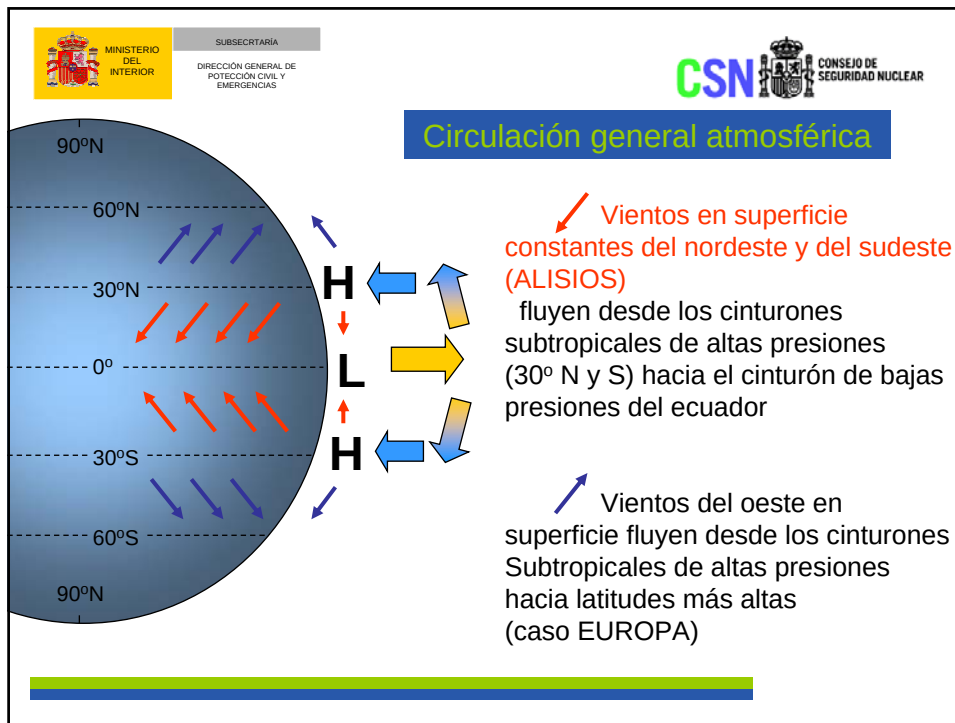
Los movimientos horizontales de viento son pequeños en la superficie del ecuador

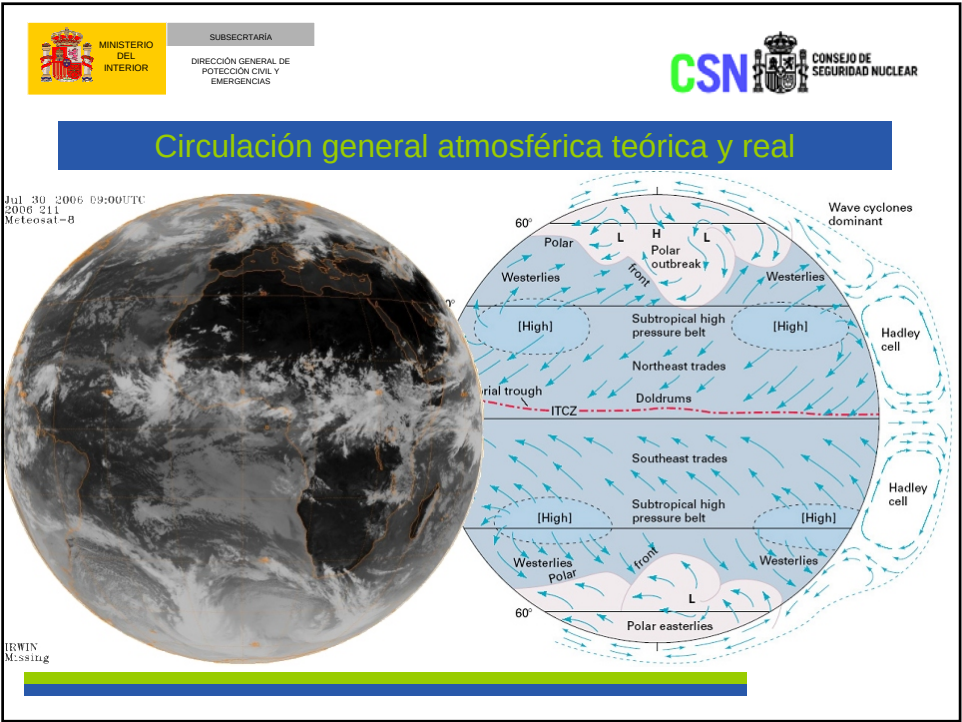
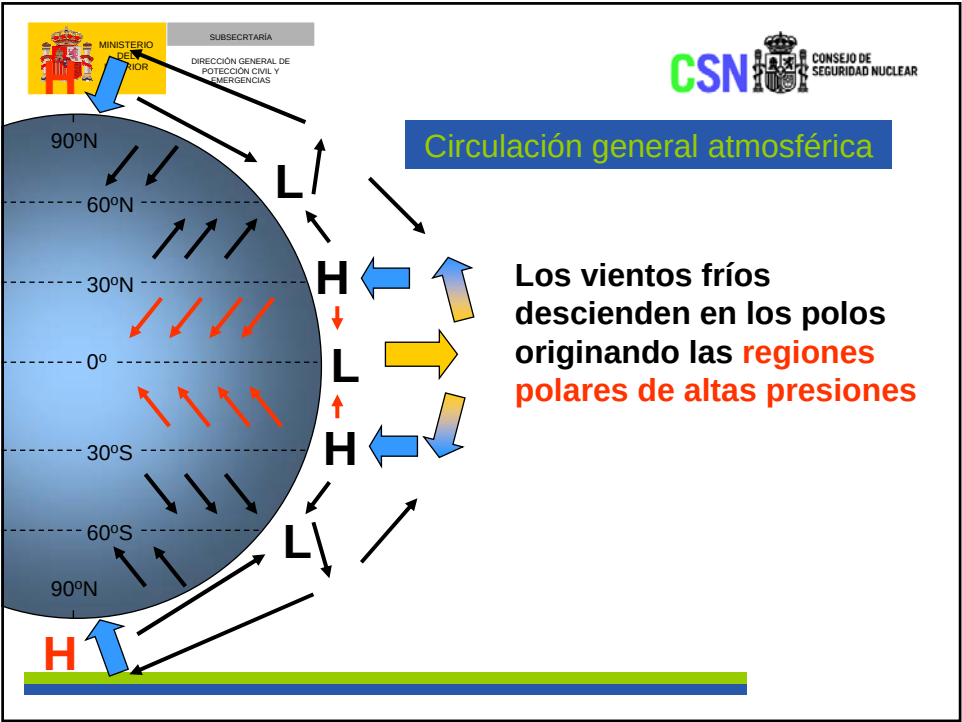




Circulación general atmosférica

El aire frío desciende en 30° de latitud N y S Creando altas presiones (zona de altas presiones subtropical)







MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Vientos locales

■ Vientos a menor escala

- La dispersión de contaminantes depende de la cantidad de **turbulencia** en la atmósfera cercana que puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera.
- El **movimiento horizontal** es lo que comúnmente llamamos viento. La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Cuanto mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes
- La **topografía** tiene una influencia muy fuerte en los vientos locales, y cuanto más variado es el terreno, más grande es su influencia y, por tanto, más se potencia la difusión.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Vientos locales y estabilidad

El **movimiento vertical** de la atmósfera o "estabilidad atmosférica" :

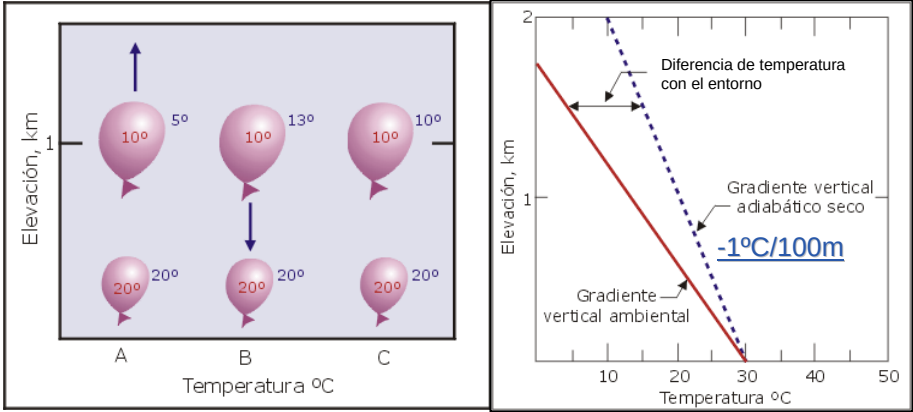
- Condiciones atmosféricas inestables fomentan la mezcla vertical
- Durante el día, el aire junto a la superficie terrestre es inestable y favorece la dispersión
- Un caso especial: inversión térmica



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



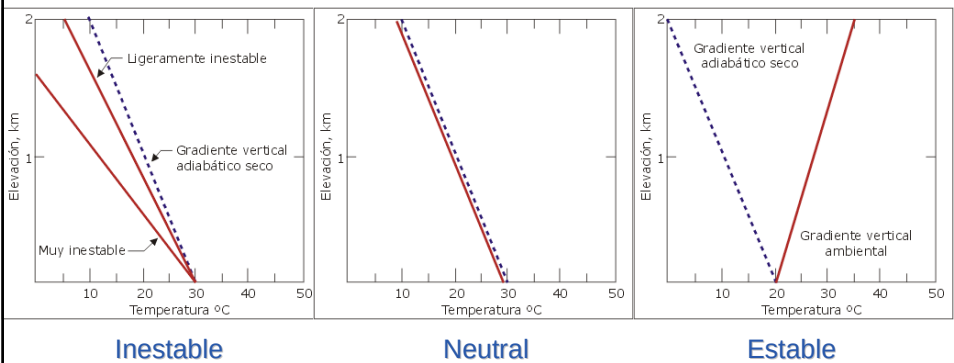
Perfil vertical de temperatura:

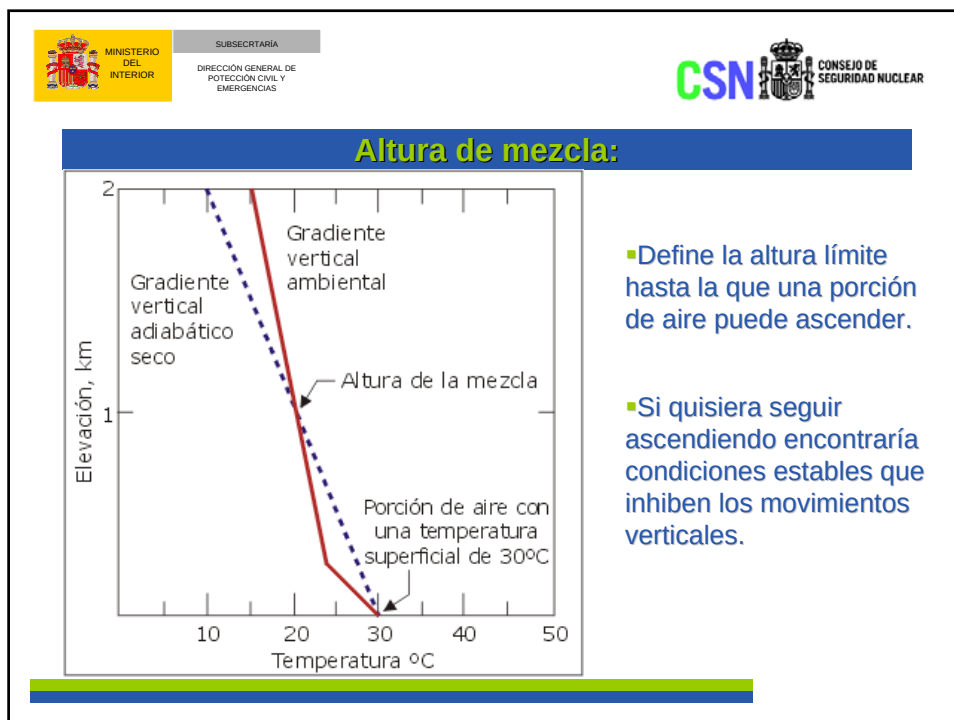
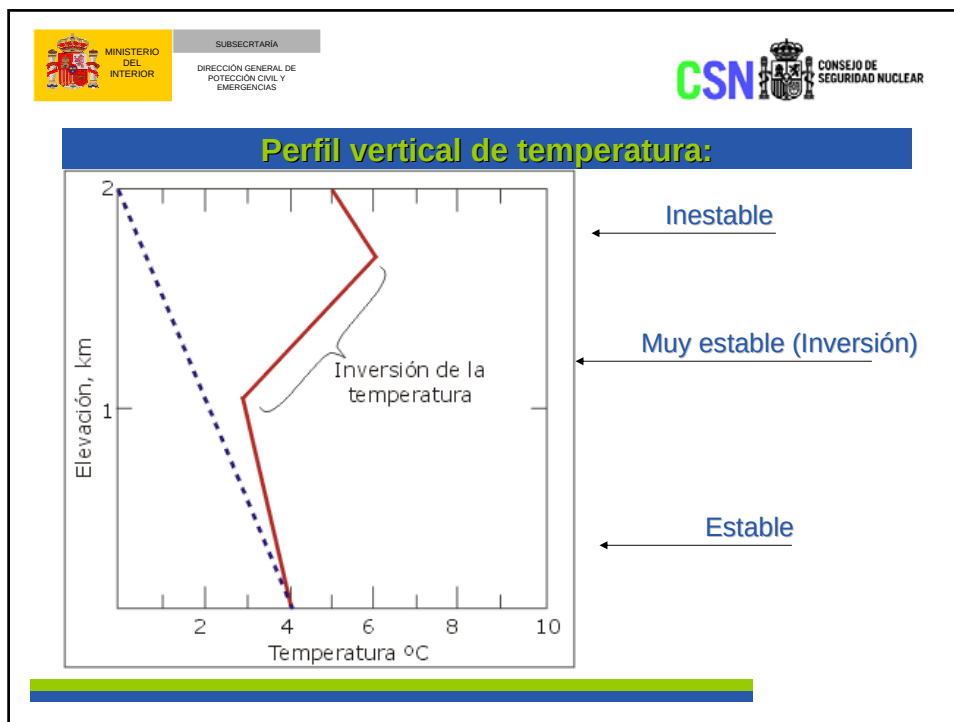


SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS

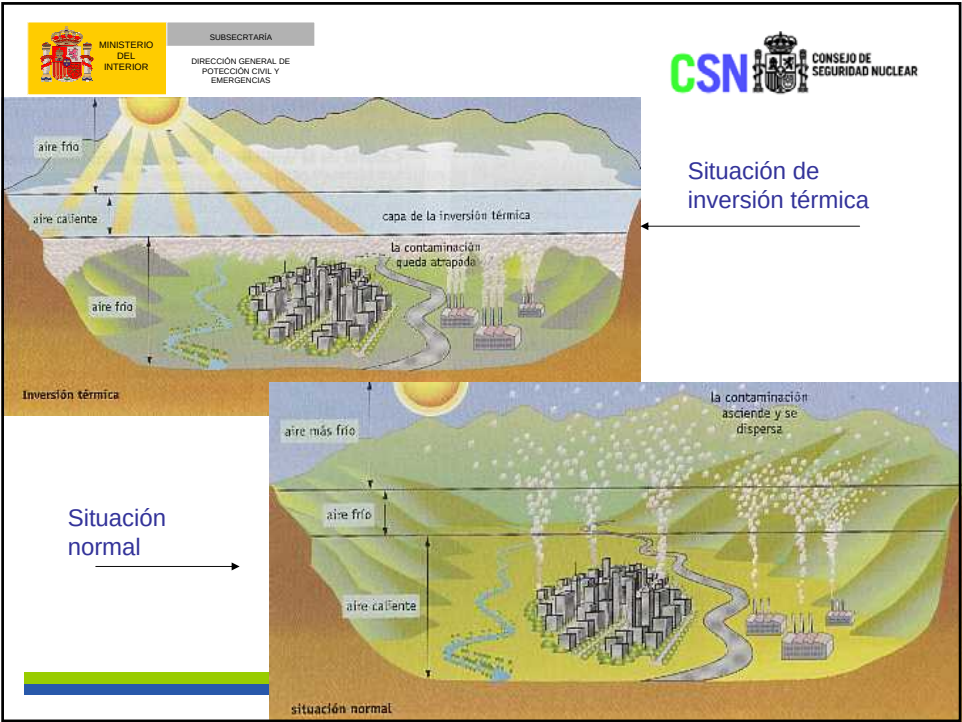


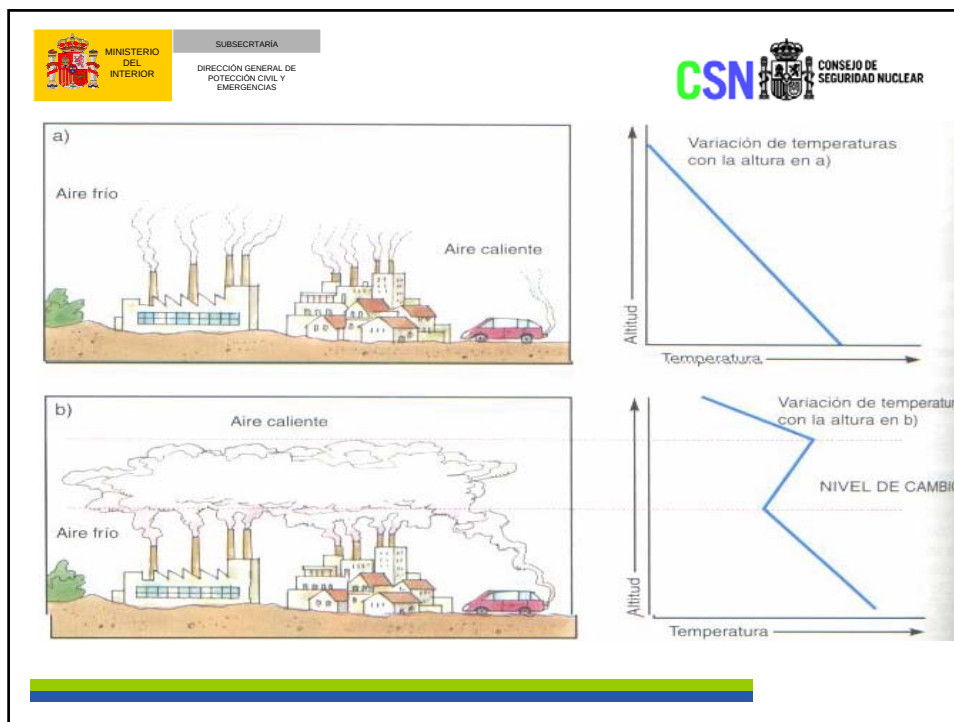
Perfil vertical de temperatura:











MINISTERIO DEL INTERIOR SUBSECRETARÍA DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS

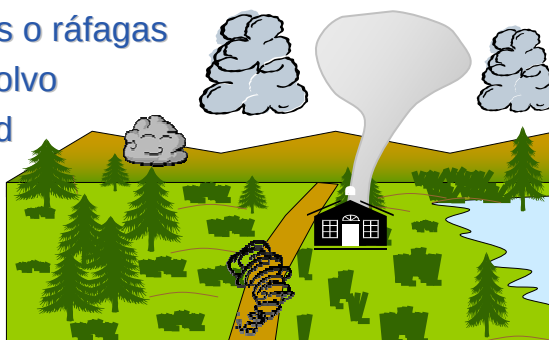
CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Sígnos de Estabilidad Atmosférica

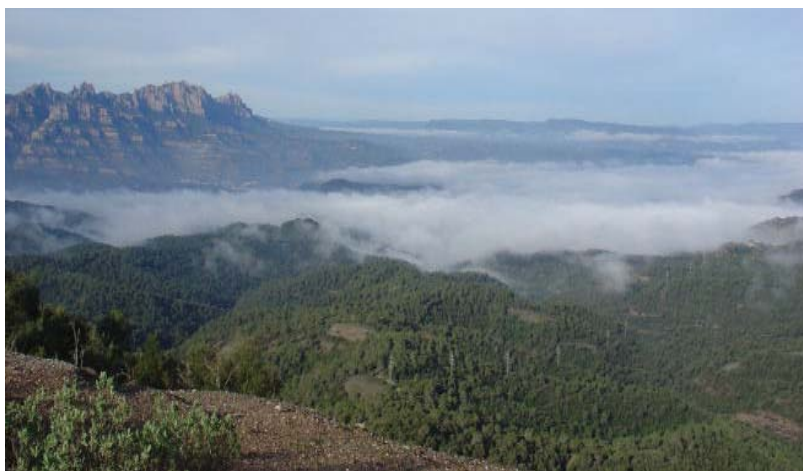
- Nubes en capas (estratos)
- Humo extendiéndose horizontalmente
- Viento tenue
- Capas de niebla
- Mala visibilidad

Signos de inestabilidad atmosférica

- Nubes en desarrollo vertical (Cúmulos)
- Humo ascendente alto verticalmente
- Viento en rachas o ráfagas
- Remolinos de polvo
- Buena visibilidad



¿Estabilidad o inestabilidad?





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

¿Estabilidad o inestabilidad?





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

¿Estabilidad o inestabilidad?





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR



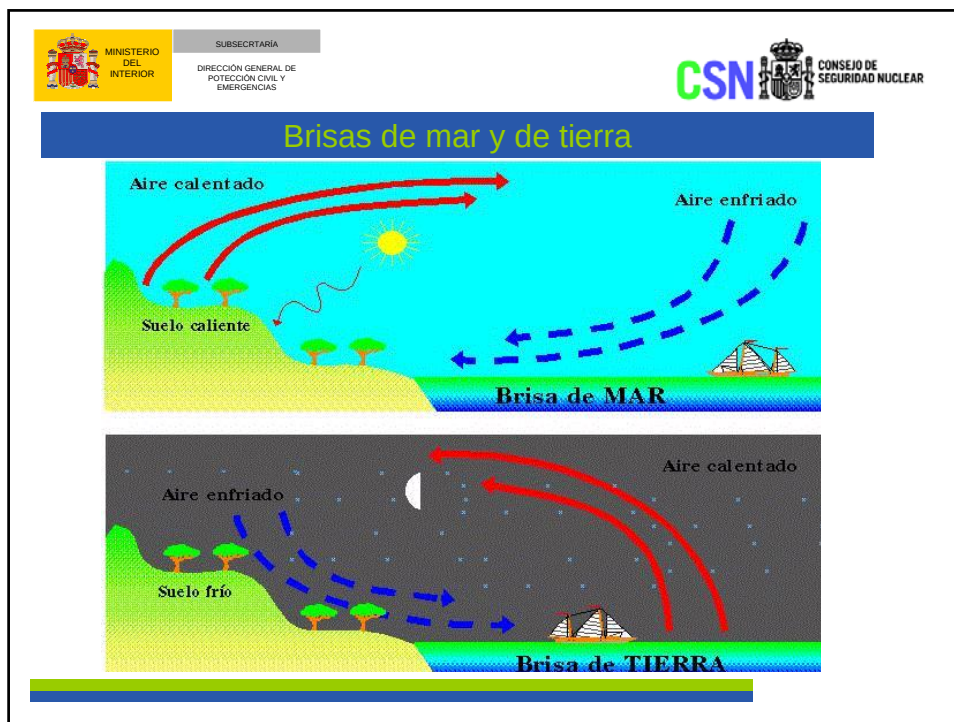
MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

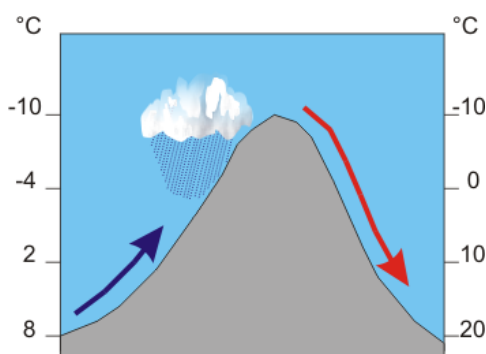




SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Vientos en una barrera montañosa: efecto Foehn



- Las montañas orientadas transversalmente al flujo de aire actúan como una barrera física
- Al ascender el aire húmedo se condensa y precipita a barlovento
- A sotavento el aire desciende en forma de viento seco y cálido



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



UN GRAN INVENTO: LA CHIMENEA

Aprovecha las características de dispersión de la troposfera y permite disminuir los niveles de inmisión a nivel del suelo





MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

LA DEPOSICION

- **SECA**
 - por gravedad de las partículas del penacho
- **HÚMEDA**
 - lluvia y nieve – efecto lavado o arrastre
 - Núcleos de condensación (formación de gotas)

👉 Aumenta la contaminación del suelo y la exposición a radiaciones por los radionucleidos depositados

👍 Se reduce la cantidad de material en suspensión en el aire (menor contenido en la nube) y la consiguiente exposición



MINISTERIO DEL INTERIOR

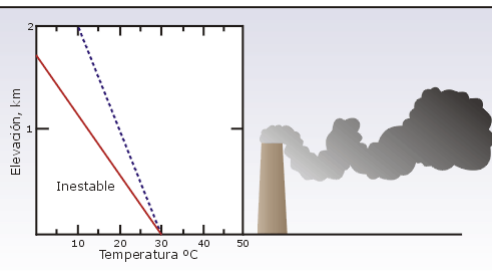
SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



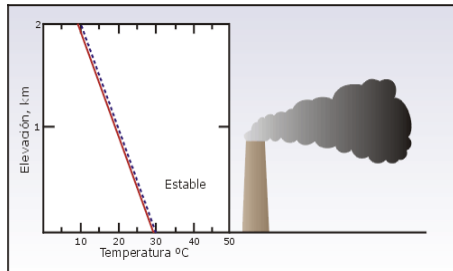
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Efecto de la estabilidad/inestabilidad vertical



DISPERSIÓN EN FORMA DE CONO. PERFIL DE TEMPERATURA SIMILAR AL PERFIL ADIABÁTICO IDEAL. ATMÓSFERA LEVEMENTE INESTABLE. LLEGA AL SUELO A MAYOR DISTANCIA.

DISPERSIÓN EN FORMA SERPENTEANTE. ATMÓSFERA INESTABLE, BUENA DISPERSIÓN DE LOS GASES. SIN EMBARGO, LA PLUMA PUEDE TOCAR EL SUELO DURANTE CORTOS INTERVALOS (CON ALTAS CONCENTRACIONES PUNTALES).





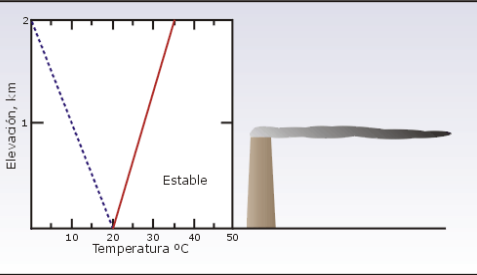
MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS

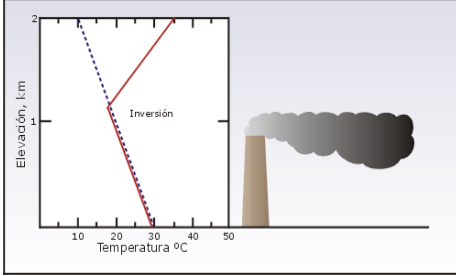


Efecto de la estabilidad/inestabilidad vertical



DISPERSIÓN EN FORMA DE ABANICO. PERFIL DE INVERSIÓN TÉRMICA. ATMÓSFERA ESTABLE. POBRE DISPERSIÓN VERTICAL. TRANSPORTE DE CONTAMINANTES A GRAN DISTANCIA ANTES DE MEZCLARSE.

DISPERSIÓN EN FORMA DE FUMIGACIÓN. INVERSIÓN TÉRMICA QUE IMPIDE ASCENSO DE LA PLUMA. LA PLUMA CAE RÁPIDAMENTE AL SUELO.





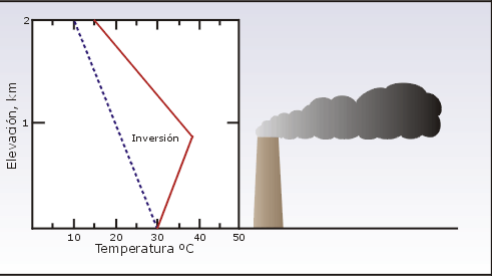
MINISTERIO DEL INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS



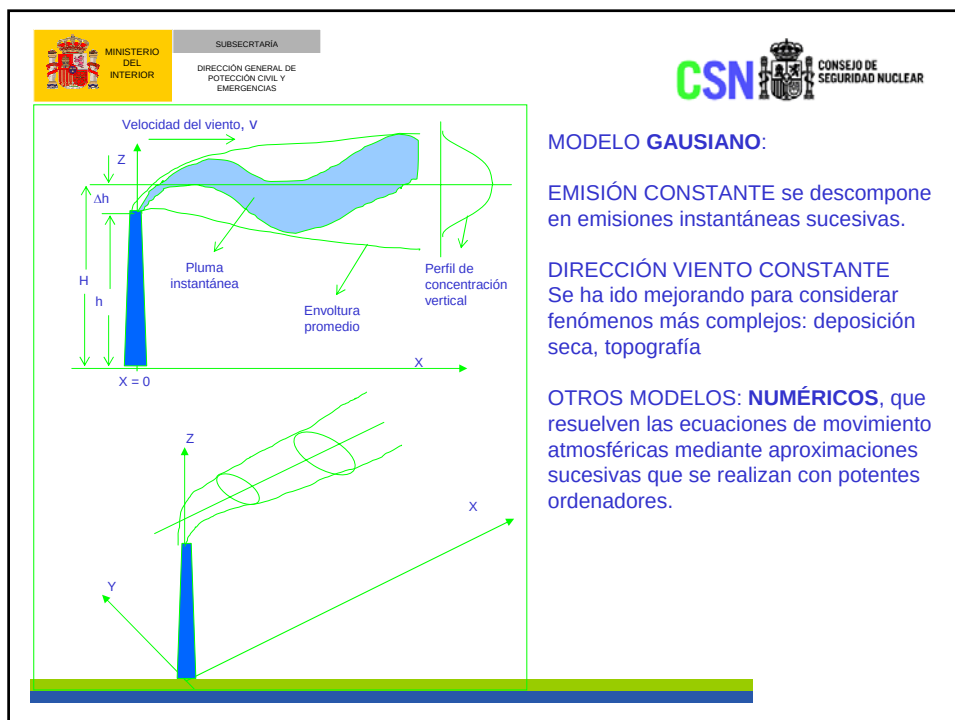
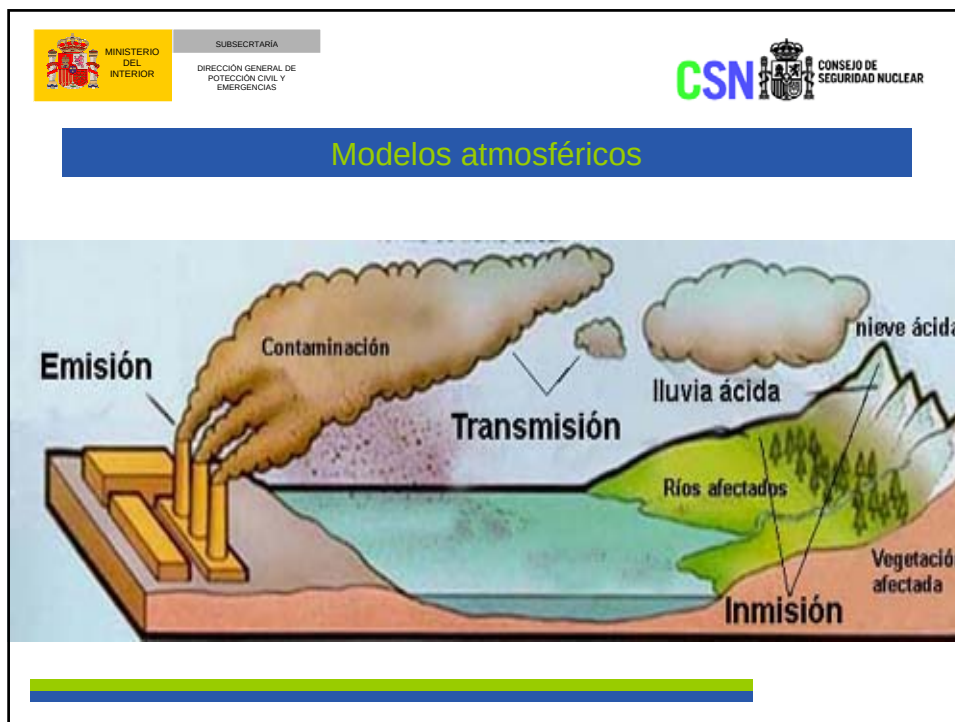
Efecto de la estabilidad/inestabilidad vertical



DISPERSIÓN EN CASO DE EMISIÓN POR ENCIMA DE UNA CAPA DE INVERSIÓN QUE IMPIDE QUE EL PENACHO BAJE A NIVEL DEL SUELO (LOFTING)

EFFECTO ESTELA DE EDIFICIOS QUE PUEDE DAR ALTAS CONCENTRACIONES CERCA DE LA EMISIÓN.





Modelos atmosféricos

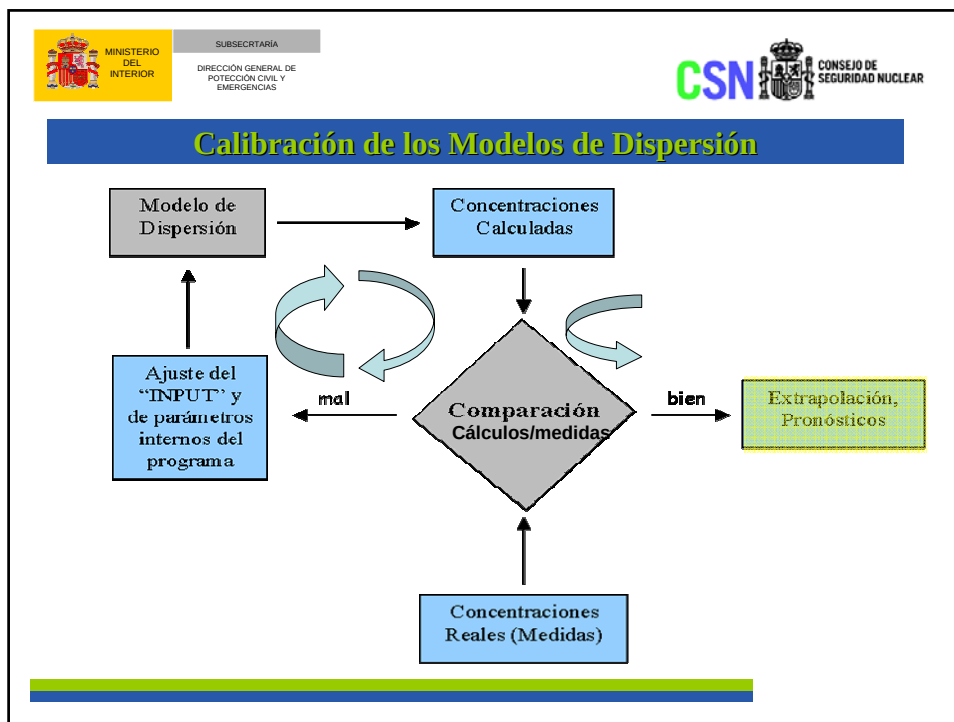
- Los modelos de concentración de contaminantes se basan en índices de emisiones y condiciones meteorológicas conocidas.
- Pretenden predecir el comportamiento de la atmósfera: superposición de vientos generales y vientos locales
- Las alturas de los edificios, las montañas y otras fuentes de perturbaciones del flujo del aire complican la modelización de la contaminación del aire.

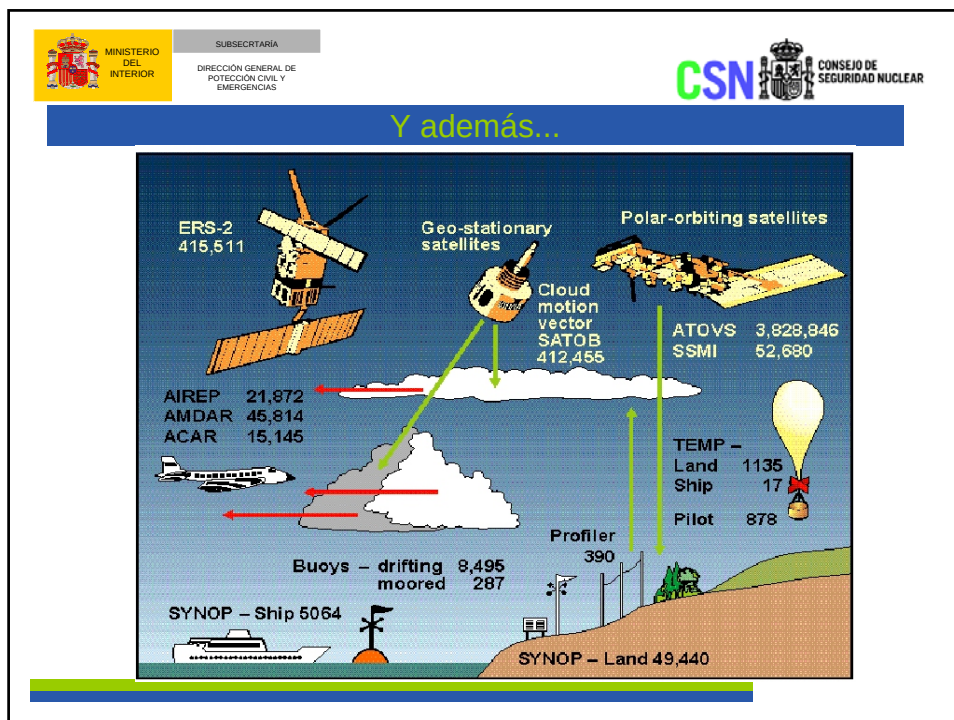
Funcionamiento de los modelos de Dispersión

Emisiones, Datos
Meteorológicos,
Topográficos, etc.

- ▶ Fórmulas matemáticas
- ▶ Leyes físicas
- ▶ Aspectos de química

Cálculo de
inmisiones





MINISTERIO DEL INTERIOR SUBSECRETARÍA DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Redes nacionales e internacionales de datos

- En las CC.NN. se dispone de equipos para medir parámetros meteorológicos que llegan a Sala de Control y al CSN (SALEM)
- El INM dispone de una amplia red de estaciones meteorológicas y colabora con el CSN.
- La OMM aporta 10.000 estaciones, 9 satélites, 7.000 estaciones-buque, 300 boyas marinas, estaciones de sondeo vertical.
- 183 Centros meteorológicos nacionales cooperan
- Centro europeo predicción a medio plazo (ECMWF) Gran Bretaña
- En España disponemos del modelo HIRLAM (modelo regional de alta resolución) desde 1995.
- Muchas organizaciones internacionales fomentan la colaboración entre países para casos de emergencia nucleares o radiológicas, y en particular para los cálculos de dispersión.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Limitaciones e incertidumbres en los modelos

- Los modelos de concentración de contaminantes se basan en índices de emisiones y condiciones meteorológicas conocidas.
- Los modelos Gaussianos se utilizan bastante para fuentes puntuales y conducen a resultados razonablemente buenos en terreno plano, cuando las condiciones meteorológicas instantáneas son sencillas. No dan buenos resultados en terreno montañoso, ni para distancias largas, ni cuando las condiciones meteorológicas son complejas. La deposición introduce errores.
- Los modelos numéricos requieren gran potencia de cálculo de ordenadores
- Las alturas de los edificios, las montañas y otras fuentes de perturbaciones del flujo del aire complican el modelo



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Conclusiones Dispersión de contaminantes en la atmósfera

- Características de las emisiones: Mayor T^a facilita su dispersión. A mayor altura también.
- Condiciones atmosféricas: inestabilidad favorece la dispersión, estabilidad la dificulta.
- Vientos: potencian la difusión
- Precipitaciones: Efecto lavado, arrastre.(+ y -)
- Insolación. Favorece la inestabilidad
- Inversión térmica: si está encima de la emisión hace de tapadera, si está debajo de la emisión evita o retarda que los contaminantes lleguen al suelo.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS

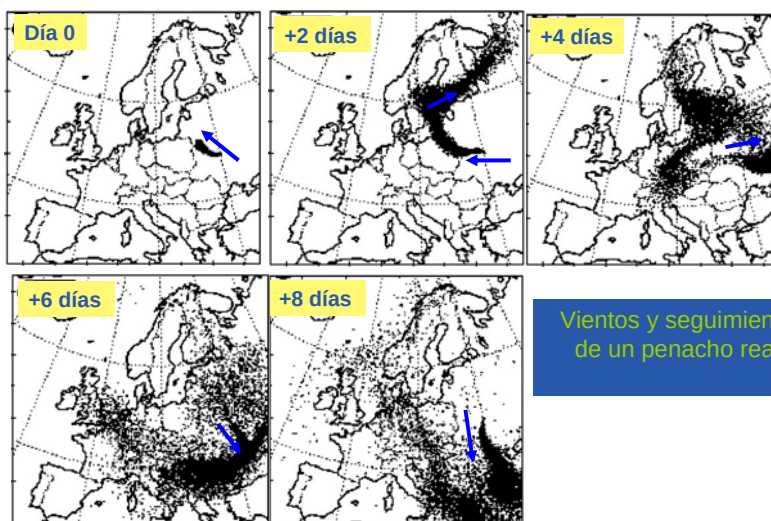


En caso de emisiones radiactivas a la atmósfera

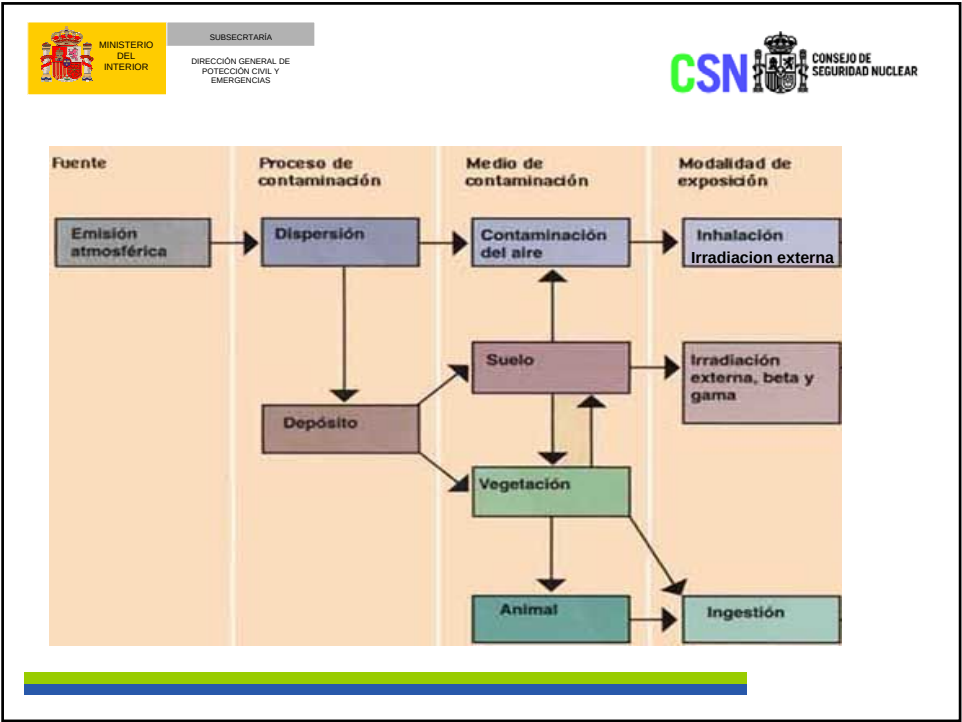
- Los modelos de difusión atmosférica ayudan a tomar decisiones en relación con las emergencias nucleares.
- La cooperación internacional es importante para el intercambio de datos y predicciones meteorológicas



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



Vientos y seguimiento
de un penacho real





MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

MÓDULO 7: PREDICCIÓN DE IMPACTOS RADIOLÓGICOS

7.2

EVALUACIÓN DE LAS
CONSECUENCIAS DE LA
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



REVISIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL ACCIDENTE

- En las primeras etapas de un accidente nuclear, la estimación de las posibles consecuencias ambientales y sobre la salud debe basarse en:
 - Estado de la planta.
 - Estado de sistemas de seguridad.
 - Evolución prevista del accidente.

Información **incierta o incoherente o incompleta**

- Pero, en cuanto se tengan resultados de la vigilancia radiológica ambiental, se evaluará su importancia y serán tenidos en cuenta para determinar mejor las consecuencias.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



REQUISITOS

- Para la organización exterior de la respuesta en emergencia, es importante disponer de un rápido acceso a los **datos meteorológicos**.
- La situación y parámetros meteorológicos son obtenidos de las medidas facilitadas por las estaciones.
- En una situación previa a la emisión es importante ser capaz de confirmar exactamente el momento en el que comience la **emisión** al exterior mediante vigilancia radiológica ambiental. También se puede obtener información sobre la tasa de dosis ambiental utilizando un avión o helicóptero.
- Durante y después de la emisión, los datos fundamentales son la **tasa** de dosis ambiental y la concentración de **partículas** radiactivas en el ambiente afectado por el penacho.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INTERCAMBIO AUTOMÁTICO DE DATOS ENTRE LAS REDES REGIONALES DE VIGILANCIA (1)

• REDES DE ESTACIONES FIJAS DE MEDIDA

- Se dispone de una red fija de estaciones de medida en las proximidades de la central nuclear, además de equipos de medida portátiles.
- Sensibilidad no crítica: en la primera fase de un accidente, generalmente cualquier situación de cierta importancia generará valores de tasa de dosis muy **superiores al fondo**.
- Los equipos de medida de tasa de dosis de la red fija pueden ser tubos **GM**, contadores proporcionales o cámaras de ionización.
- El **umbral** de alarma de estas redes debe establecerse lo más bajo posible, pero evitando las **falsas alarmas**.
- Existe además una red de monitores de vigilancia tanto en los puntos de emisión como en áreas vitales dentro de la instalación.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INTERCAMBIO AUTOMÁTICO DE DATOS ENTRE LAS REDES REGIONALES DE VIGILANCIA (2)

• EQUIPOS DE PERSONAL PARA MEDIDAS RADIOLÓGICAS

- Antes de que se produzca la emisión de material radiactivo al exterior, el titular de la central nuclear activará el Plan de Vigilancia Radiológica en Emergencia (**PVRE**), lo cual está contemplado en el PEI. En caso de emergencia las estaciones de muestreo del Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA) sirven como puntos de muestreo representativos.
- Además pueden obtenerse medidas in-situ mediante **unidades móviles**.
- El personal del **Grupo Radiológico** puede realizar medidas de vigilancia radiológica si así lo dispone el Jefe del Grupo Radiológico.
- Siempre pueden colaborar en tareas de vigilancia radiológicas las **unidades especializadas** de los cuerpos y fuerzas de seguridad del estado.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (1)

• RADIATIVIDAD EN AIRE

Además de las medidas de **tasa** de dosis ambiental, se necesita información sobre la **naturaleza** y características radiológicas de la emisión causante de la contaminación ambiental.

- Los muestreadores de alto volumen recogen las **partículas** radiactivas y los **gases** presentes en el aire en filtros y/o cartuchos de carbón activo.
- Los filtros y los cartuchos se pueden medir mediante **espectrometría gamma**. Concentración de **radioiodos**.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (2)

• RADIATIVIDAD EN AIRE

- En España el CSN, en la Guía relativa al Diseño y Desarrollo del PVRA para las centrales nucleares indica las necesidades de muestreo:
 - Una muestra en cada uno de los puntos con la máxima concentración prevista a nivel del suelo situados en el límite o fuera de la zona de acceso restringido al público.
 - Una muestra en cada una de las poblaciones cercanas con la máxima concentración prevista en el suelo.
 - Una muestra de control de una localización situada a una distancia entre 15 y 30 km, donde la concentración prevista a nivel del suelo sea mínima.
- El muestreo de **partículas** y **radioiodos** se efectúa de manera **continuo** a lo largo de todo el año, y los filtros se analizan semanalmente.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (3)

- **RADIOACTIVIDAD EN AIRE – Unidades móviles**
 - En las unidades móviles también es necesario disponer de **muestreadores de aire**.
 - También deben tener detectores de **tasa** de dosis ambiental, y recomendable que haya equipos que realicen análisis mediante **espectrometría gamma**.
 - Pero en una situación real de contaminación, las necesidades de análisis son muy grandes, y las muestras deben enviarse a laboratorios ambientales **fijos**.
 - Es España se dispone de varias unidades móviles que en caso de emergencia colaborarán en las tareas de vigilancia radiológica ambiental:
 - Acuerdo entre el CSN y la Junta de **Extremadura**.
 - Acuerdo entre el **CIEMAT** y el CSN relativo a la Unidad Móvil Ambiental (UMA).



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (3)

- **RADIOACTIVIDAD EN AIRE – Unidades móviles**
 - **Equipo LAM-3040:** interfaz de control de todo el sistema. Incorpora un GPS que da información precisa de día, hora, longitud, latitud, altura sobre el nivel del mar y velocidad del vehículo. El equipo está gestionado con un Software que permite seleccionar los parámetros del muestreo.
 - **Detector de NaI(Tl)**
 - **Cámara de ionización** esférica de alta precisión.
 - Medidor en continuo de la actividad de **partículas y radioiodos** en aire (Bq/m^3): constituido por un detector de plástico de centelleo para la medida de emisores beta y de un detector de NaI(Tl) para emisores gamma. La muestra se toma con una bomba de aspiración de $3 \text{ m}^3/\text{h}$, que hace circular el aire por un filtro de fibra de vidrio (retiene las partículas) seguido de otro filtro de carbón activo (para los radioyodos).
 - **Sistema multicanal con detector de NaI(Tl):** para la medida directa de contaminantes en el suelo. Tiene una resolución de 4096 canales y conexión a PC para el análisis de los espectros.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (4)

• DEPOSICIÓN RADIATIVA Y CONTAMINACIÓN SUPERFICIAL

- En caso de llover en la fase inicial de un accidente, al análisis de las muestras de **agua de lluvia** proporcionará un método rápido y sensible para conocer la **composición del penacho**.
- En España, dentro del PVRA se incluye el muestreo de deposición (agua y suelo) en estaciones de muestreo fijas en el entorno de las centrales nucleares.
- El muestreo y análisis del suelo, vegetación y aguas superficiales están incluidos en el PVRA durante el funcionamiento normal de las centrales



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN AIRE, SUPERFICIES Y ALIMENTOS (5)

• RADIATIVIDAD EN ALIMENTOS

- Cuando existen indicios de contaminación en la cadena alimenticia, es necesario organizar y regular la vigilancia de la distribución de los productos.
- Se necesita diseñar un buen programa de muestreo y análisis, sobre todo en la época de **pastoreo**.
- Realizar vigilancia en la concentración de **radioiodo** en **leche** y **verduras**.
- Asimismo, tras un accidente, los nucleidos de **cesio** (Cs-134, Cs-137) y de **estroncio** (Sr-89, Sr-90) deben estudiarse de forma especial durante la primera cosecha, debiendo controlarse la mayoría de los productos agrícolas.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



REQUISITOS DE LA EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

- **SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES**

- Dos tipos principales de sistemas:

- **LOCALES**, abarcan un área cercana al lugar del accidente. son útiles en las primeras etapas de la respuesta.
- **NACIONALES**, generalmente evaluando de forma automática los datos de la red nacional de vigilancia de tasa de dosis gamma y la medida de diversos dispositivos de medida instalados en equipos móviles.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



REQUISITOS DE LA EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS (2)

- **MODELOS DE CÁLCULO DE DOSIS**

- Los modelos de dispersión meteorológica, modelos de penacho o los modelos de cálculo de dosis, permiten obtener **curvas de concentración de actividad y de dosis por unidad de actividad emitida**.
- Los resultados pueden ser presentados de forma separada para dosis debida al **penacho**, dosis debida a la radiactividad **depositada** y dosis por **inhalación** y también para **cada radionucleido**.
- Para el cálculo de dosis de una emisión es necesario conocer el **término fuente**.
- Los modelos de **cadena alimentaria** son usados en accidentes para calcular la dosis a la población debida a la ingestión de alimentos contaminados.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



REQUISITOS DE LA EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS (3)

• RETROALIMENTACIÓN DE DATOS

- A medida que avanza la emisión, dispondremos de **más y mejores** datos, éstos ofrecen la posibilidad de mejorar **las predicciones**.
- Las predicciones iniciales de tasa de dosis y concentración de radioisótopos de I, Cs, y Sr actualizados con valores reales de contaminación superficial real son importantes para **planificar** adecuadamente la **intervención** sobre los alimentos de la zona.
- Las medidas protectoras y la restricciones deben aplicarse con precaución pero de forma generalizada durante la primera fase de una emergencia.
- Los datos recibidos de las medidas probablemente permitirán la **retirada gradual** de algunas restricciones.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



GARANTÍA DE CALIDAD EN LA EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS (1)

• LIMITACIONES E INCERTIDUMBRES

- En la fase previa a la emisión, los cálculos de las dosis podrán hacerse utilizando **hipótesis conservadoras**.
- Los modelos de **dispersión meteorológica** pueden proporcionar resultados acerca de las posibles zonas afectadas, pero presentan limitaciones.
- Los **modelos** deben indicar también la **incertidumbre** de los mismos a la hora de interpretar sus resultados.
- Una cuestión importante es la **cuantificación** de las incertidumbres de los diversos resultados de las predicciones e identificación de los factores que más contribuyen a dicha incertidumbre.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



GARANTÍA DE CALIDAD EN LA EVALUACIÓN
DE LAS CONSECUENCIAS (2)

- CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS
 - Los laboratorios que participan en la vigilancia radiológica ambiental deben llevar a cabo una adecuada gestión del **aseguramiento de la calidad**.
 - Los resultados de los diferentes laboratorios deben ser **comparables entre si**.
 - Los datos deben ir acompañados de su **grado de incertidumbre**.
 - Para los análisis de suelos y vegetación, debe incluso indicarse, el método de toma de muestra y su representatividad.
 - La garantía de calidad requiere:
 - Verificación.
 - Calibración.
 - Intercomparaciones.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



TIPO MUESTRA	PUNTO MUESTREO	FECHA INICIAL	FECHA FINAL	ANÁLISIS	ISOTOPO	ACTIVIDAD	INCERTIDUMBRE (ERROR)	LTD	UNIDADES
PAT	24	18-09-07	18-09-07	IG	Tl208	9.100 E-02	6.160 E-02	5.610 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb212			8.490 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb214			1.090 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Bi214			2.530 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Sr 89			4.490 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Sr 90			2.500 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Mn 54			1.290 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Fe 59			7.650 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Co 58			1.860 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Co 60			1.450 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Zn 65			4.810 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Zr 95			3.330 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Nb 95			3.120 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Cs134			1.020 E-02	Bq/kg masa húmeda
PAT	24	18-09-07	18-09-07	SR	Cs137	3.110 E-02	2.920 E-02	1.020 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Ba140			5.310 E-01	Bq/kg masa húmeda
					La140			1.800 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Ce144			4.200 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Be 7			1.360 E-01	Bq/kg masa húmeda
					K 40			1.430 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Tl208			2.920 E-03	Bq/kg masa húmeda
					Pb212			3.300 E-03	Bq/kg masa húmeda
					Pb214			1.980 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Bi214			2.590 E-03	Bq/kg masa húmeda
					Mn 54			4.710 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Fe 59			1.720 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Co 58			5.500 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Co 60			5.410 E-02	Bq/kg masa húmeda
RCH	65	28-11-07	28-11-07	IG	Zn 65	1.170 E-02	9.740 E-03	1.560 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Zr 95			9.410 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Nb 95			7.010 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Cs134			3.620 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Cs137			4.390 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Ba140			4.660 E-01	Bq/kg masa húmeda
					La140			1.260 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Ce144			1.700 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Be 7			3.990 E-01	Bq/kg masa húmeda
					K 40			2.950 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Tl208			4.130 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb212			2.710 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb214			3.810 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb217			3.810 E-02	Bq/kg masa húmeda
TRG	4	28-08-07	28-08-07	IG	Tl208	6.670 E-01	2.580 E-01	5.610 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb212			8.490 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Pb214			1.090 E-01	Bq/kg masa húmeda
					Bi214			2.530 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Sr 89			4.490 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Sr 90			2.500 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Mn 54			1.290 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Fe 59			7.650 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Co 58			1.860 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Co 60			1.450 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Zn 65			4.810 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Zr 95			3.330 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Nb 95			3.120 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Cs134			1.020 E-02	Bq/kg masa húmeda
					Cs137			1.020 E-02	Bq/kg masa húmeda



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EFFECTOS A CORTO Y LARGO PLAZO

• EFECTOS EN POBLACIÓN DESPLAZADA

- Después del accidente existirá una preocupación internacional relativa a los ciudadanos de otros países que viajen como **turistas** o profesionalmente.
- Las autoridades de los países vecinos se verán presionados para disponer de **transporte especial** para una posible **repatriación** de los ciudadanos.
- Se deben tener en cuenta los problemas por el cambio de **idioma**, en cuanto a la transmisión de información.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EFFECTOS A CORTO Y LARGO PLAZO

• EFECTOS EN EL USO DEL SUELO

- En algunas áreas la dosis residual puede ser tan alta como para ordenar la **evacuación permanente**.
- El **coste** económico de traslado temporal puede ser superior al de reubicación permanente.
- La contaminación residual puede privar de **ingresos** a la población local.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EFFECTOS A CORTO Y LARGO PLAZO

• EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

- Las medidas para proteger la producción agrícola deben llevarse a cabo **rápidamente** para que sean eficaces.
- Es importante cerrar los sistemas de **ventilación** de los invernaderos.
- Restricción en el uso de los **pastos**.
- Organizar el seguimiento del **iodo** en la alimentación del **ganado**.
- En la **leche** los radioiodos aparecerán significativamente un día después, aproximadamente, de producirse la deposición inicial del material radiactivo.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EFFECTOS A CORTO Y LARGO PLAZO

• EFECTOS EN LA INDUSTRIA DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

- Los niveles de intervención del Codex Alimentarius especifica los niveles de nucleidos aceptables en comercio internacional.
- Al igual que el OIEA y la guía EC, especifican niveles más bajos para la **comida infantil**.

• EFECTOS EN OTROS TIPOS DE INDUSTRIAS DE PROCESAMIENTO

- Un accidente nuclear grave atrae la atención internacional, y por tanto afecta a las **importaciones y exportaciones**.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

MÓDULO 7: PREDICCIÓN DE IMPACTOS RADIOLÓGICOS

7.3 ANÁLISIS DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN DEL PÚBLICO A LA RADIACIÓN



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CSN

CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

COMPOSICIÓN DE RADIONUCLEIDOS EMITIDOS

- La composición de las emisiones radiactivas procedentes de reactores nucleares **varían** dependiendo del tipo de **accidente**.
- Los **gases nobles** se liberan fácilmente en la mayoría de los casos, al inicio de la emisión.
- El grado de quemado del combustible influye en la composición de la emisión.
- Los radionucleidos emisores **gamma** contribuyen a la dosis a través de **todas las vías**. Los emisores **alfa** o **beta** puros son productores de **dosis internas**, y los emisores **beta** también pueden irradiar la **piel**.
- En un caso de accidente grave, puede emitirse al exterior grandes cantidades de **radioiodos** que pueden causar dosis altas en la glándula **tiroides** vía inhalación.
- Especial atención a los **niños**.
- Importante la contaminación con **Sr** en zonas **agrícolas**.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN

- El **tiempo** que haya estado al aire libre la población influirá tanto en la dosis debida a **radiación externa** como en la dosis debida a la **contaminación interna**.
- Las vías de exposición a la radiación de cada individuo están influidas por las características medioambientales y demográficas del área afectada, así como por los tipos de viviendas y la estructura industrial de la zona.
- Por **inhalación**, la contaminación radiactiva se incorpora en pocos días, durante y después de la emisión.
- La **ingestión** de alimentos contaminados y la radiación **externa** procedente del medio ambiente exterior producen la **mayor parte** de la exposición a la radiación a corto y largo plazo.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



CONSEJO DE
SEGURIDAD NUCLEAR

IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN

- Los radionucleidos de **vida corta** contribuyen en mayor medida a la exposición en todas las vías durante los **primeros días** y semanas después de la emisión radiactiva.
- La **exposición externa disminuye rápidamente** en la primera fase del accidente.
- Sin embargo, la irradiación debida a **exposición interna aumenta** gradualmente, aunque después comenzará a disminuir.
- A medio y largo plazo, es el **Cs-137** el que contribuirá a la exposición externa debida a la contaminación del suelo. Este radionucleido está también presente en los alimentos, por lo que contribuye significativamente a la irradiación interna. También puede incorporarse al organismo a través de la alimentación otro radionucleido de larga vida, el **Sr-90**.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



IMPORTANCIA RELATIVA DE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN

- En el primer año → incremento de la dosis debida a la ingestión de alimentos contaminados. > aportación de productos frescos > Cs.
 - Si la deposición radiactiva se produce justo después de haber cosechado los productos, no se contaminarán los alimentos con radionucleidos de vida corta. La dosis por ingestión depende de la procedencia de los productos y puede ser baja si la mayoría de los alimentos son importados de regiones no contaminadas.
- Cómo evitarlo: alimentos distribuidos comercialmente, agua potable suministrada mediante.



SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INHALACIÓN

- El periodo de tiempo en el que existe riesgo de exposición debido a la **irradiación** por inhalación no es muy grande.
 - La **deposición** de las partículas radiactivas, y sobre todo, la lluvia, limpia el aire a través de un proceso de **lavado**.
 - El material radiactivo depositado puede **resuspenderse** y volver, incluso a ciclo atmosférico (viento, tráfico, turbulencias).
- Se puede mantener limpio el aire del interior de las viviendas y edificios cerrando las ventanas herméticamente. **CONFINAMIENTO**.
- La **exposición interna** debida a la inhalación de radionucleidos varía en función de la composición de la nube radiactiva y del tiempo que se ha estado expuesto a ella.
 - Los **gases nobles**, por sus propias características, no se metabolizan, el **iodo radiactivo**, a través del torrente sanguíneo pasa a la glándula tiroidea.
- Partículas calientes → adheridas al tracto respiratorio superior, irradian los tejidos adyacentes.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INGESTIÓN

- Solamente algunos radionucleidos contribuyen de forma significativa a la dosis a través de la ingestión.
 - Vida corta: I-131 y Sr-89
 - Vida larga: Cs-134, el Cs-137 y el Sr-90.
- Las proporciones de estos radionucleidos en la deposición así como la estación del año influyen en el contenido de los mismos presente en alimentos y agua.
- Los alimentos de **consumo diario** contribuyen en mayor medida al aumento de la dosis por ingestión.
- La deposición inicial realizada directamente en cultivo agrícolas y pastos produce la máxima concentración de radionucleidos en **alimentos**.
- Los vegetales y la fruta ingeridos **crudos**, así como la **leche**, son productos de especial interés.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INGESTIÓN

- Al mes → **CESIO** (a través de productos agrícolas).
- En **suelos orgánicos** la acumulación de cesio y por lo tanto su posible ingestión es mucho mayor que en **suelos minerales**.
- Durante el primer año después de la deposición se recibirá la máxima dosis por ingestión. En el segundo año, si las praderas naturales no se han usado regularmente como pasto para vacas lecheras o de carne, los productos agrícolas contribuirán relativamente poco a la dosis.
- En zonas en las que haya lagos, ríos, el **pescado** será una fuente significativa de **Cs-137** hasta el tercer o incluso décimo año.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INGESTIÓN

- El ganado normalmente se alimenta de mezclas comerciales, por lo que no serán fuente de contaminación.
- El **agua potable** no es una fuente de contaminación interna si es tratada convenientemente antes del suministro.
- La ingestión de **Sr** en áreas cercanas puede ser grande, puesto que la absorción de Sr no disminuye por lo general tan rápidamente como la del Cs por los propios procesos del suelo.
- El proceso y elaboración de determinados productos en la industria alimentaria y en los hogares puede disminuir la cantidad de material radiactivo.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EXPOSICIÓN EXTERNA

- La **radiación** provendrá de isótopos contenidos en el **penacho** radiactivo, durante unas horas, y de las partículas radiactivas en el aire al nivel del **suelo**, en la superficie del suelo y sobre otras superficies.
- Inmediatamente después de la **deposición** la **tasa** de dosis en el exterior alcanzará su **máximo** debido a la existencia de multitud de nucleidos de vida corta emisores gamma.
- Los radionucleidos de vida larga decaen lentamente y contribuyen más significativamente a la dosis recibida a lo largo de toda la vida.
- Las diferentes superficies tienen una capacidad diferente para acumular la deposición seca.
 - En las zonas residenciales las superficies pavimentadas tienen menos material radiactivo que los suelos cubiertos por vegetación.
- En las zonas urbanas la dosis colectiva puede llegar a ser muy considerable debido a las **grandes densidades** de población existente.



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



EXPOSICIÓN EXTERNA

- Las personas que permanezcan en el **interior de edificios** estarán protegidas de la radiación externa.
 - El confinamiento en **bloques** de pisos es mejor que el confinamiento en casas individuales. MAYOR BLINDAJE
 - Cuando la deposición seca ya ha tenido lugar, y hasta que el agua de lluvia de arrastre parte del polvo radiactivo, una fuente de dosis externa son los **tejados**.
- La exposición recibida durante la realización de actividades al aire libre puede ser preocupante en **zonas rurales**.
- Las actividades humanas, como la depuración de aguas residuales puede **redistribuir** el material radiactivo.
 - La utilización de los lodos en agricultura ha de ser controlada.
- En la **primera etapa** → **efectos deterministas**.
- En lugares **más alejados** → **efectos estocásticos**



MINISTERIO
DEL
INTERIOR

SUBSECRETARÍA
DIRECCIÓN GENERAL DE
PROTECCIÓN CIVIL Y
EMERGENCIAS



INFORMACIÓN PÚBLICA SOBRE LAS VÍAS DE EXPOSICIÓN

- FUNDAMENTAL LA DISTRIBUCIÓN DE INFORMACIÓN.
- Información sobre la **disponibilidad** de **alimentos**. La información relativa a las decisiones de las autoridades y de la industria alimentaria es importante para el fortalecimiento de la **confianza** entre los consumidores.
- La **credibilidad** de las autoridades se puede mejorar con la demostración de los beneficios obtenidos por la aplicación de las medidas de protección.
- En una situación normal, debe informarse de la **planificación** a la población y no solo a las personas clave en la toma de decisiones.