

—05 DE DICIEMBRE 2025—

EXAMEN DE GESTION DE CALIDAD AMBIENTAL

NOMBRE:

CANTIDAD DE HOJAS QUE ENTREGAS INCLUIDA LA LETRA:

**IMPORTANTE:** Para la aprobación del examen se deberá contar al menos con el 50 % correcto en cada módulo.



MÓDULO DE RUIDO

1. Defina nivel equivalente ( $L_{eq}$ ). ¿Qué curvas de ponderación conoce y para que se utiliza cada una de ellas? En una medición de niveles sonoros ambientales, que son y que aplicabilidad le daría a las curvas de permanencia? ¿qué diferencia existe entre la respuesta temporal Slow y la respuesta temporal Fast? ¿En qué tipo de estudio de niveles sonoros ambientales utilizaría cada una de ellas? (se puede ejemplificar para explicarlos).
2. Se proyecta una reestructura y reordenamiento de tránsito en una zona de centros de salud, con el objetivo de redistribuir el tránsito y evitar embotellamientos en horas pico. Una de las calles, donde habitualmente transitaban pocos vehículos, va a sufrir un aumento considerable de flujo vehicular en horarios claves. En la zona de estudio se encuentra una policlínica pediátrica. Por tal motivo, se relevó constructivamente el centro de salud y se pudieron estimar los coeficientes de reducción sonora ( $R_i$ ) de su fachada para cada banda de octava (BO). Ver tabla 1.

|                                                | 63 Hz | 125Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz | 8000 Hz |
|------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Ri coef de reducción acústica en fachada (dBZ) | 47    | 47    | 44     | 42     | 38      | 32      | 30      | 30      |

Tabla 1. Coeficientes de reducción acústica relevados/ estimados en la fachada del centro de salud.

Además, se cuenta con el espectro en **BTO (en dBZ)** de ruido vehicular registrado en una calle con un flujo de tránsito similar al esperado en la calle de estudio. Dicho registro se realizó cumpliendo con las precauciones a tener en cuenta para los registros de ruido urbano, cumpliendo, además, con una duración de medición de 60 minutos.

1/15

|              |            |              |             |            |             |
|--------------|------------|--------------|-------------|------------|-------------|
| LZeq 50Hz    | LZeq 63Hz  | LZeq 80Hz    | LZeq 100Hz  | LZeq 125Hz | LZeq 160Hz  |
| 71,2         | 72         | 71,1         | 68,2        | 64,5       | 63,2        |
| LZeq 200Hz   | LZeq 250Hz | LZeq 315Hz   | LZeq 400Hz  | LZeq 500Hz | LZeq 630Hz  |
| 63,5         | 60,1       | 60           | 59,8        | 58         | 60,4        |
| LZeq 800Hz   | LZeq 1kHz  | LZeq 1.25kHz | LZeq 1.6kHz | LZeq 2kHz  | LZeq 2.5kHz |
| 61,2         | 61,9       | 60,7         | 63,1        | 61         | 59,7        |
| LZeq 3.15kHz | LZeq 4kHz  | LZeq 5kHz    | LZeq 6.3kHz | LZeq 8kHz  | LZeq 10kHz  |
| 56,9         | 56,5       | 53,9         | 52,4        | 50,4       | 48,8        |

Se pretende conocer y estimar:

- El nivel equivalente ponderado en escala A ( $L_{Aeq}$ ) dentro del centro educativo (**recordar que  $L_{ipasa} = L_i$  medido exterior -  $R_i$** ). ¿Se cumple con el  $L_{Aeq}$  recomendado por las Guías del Ministerio de Ambiente para centros de salud?
- ¿Se cumple con el espectro (**en BO, en dBZ**) recomendado por las Guías del Ministerio de Ambiente para interiores, para centros de salud? En caso que no se cumpla, identificar la o las bandas de octavas donde se debería intervenir constructivamente para mejorar la calidad acústica en interiores. Si esas bandas identificadas, se llevaran a los niveles recomendados por las Guías, ¿que  $L_{Aeq}$  se estima obtener dentro del recinto hospitalario?

#### MÓDULO RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

- Identifica los tipos de servicios y los tipos de sistemas de recolección de RSU.
  - Para cada uno de los tipos de sistemas de recolección identificados en la parte a), explica las operaciones unitarias en las cuales se puede concretar las actividades relacionadas con la recolección de los RSU.
- Elabora un esquema de un relleno sanitario, e identifica en dicho esquema, todos los elementos necesarios para que un sitio de disposición final de RSU pueda ser definido como un relleno sanitario.
  - Teniendo en cuenta los datos presentados a continuación, estimar el área requerida para un relleno sanitario, que tendrá una vida útil de 25 años.  
**Población servida = 55.000 habitantes**  
**Peso específico de residuos compactados en el vertedero: 450 kg/m<sup>3</sup>**  
**Profundidad media de residuos compactados: 10 m**  
**Generación de residuos sólidos = 1,0 kg/hab.día**



3) Utilizando los siguientes datos:

Número de cargas procedentes de autos: 62

Volumen estimado de auto: 0,2 m<sup>3</sup>

Peso específico de auto: 80 kg/m<sup>3</sup>

Número de cargas de camiones con sistema de compactación: 25

Volumen medio del camión con sistema de compactación: 15,3 m<sup>3</sup>

Peso específico de camión con sistema de compactación: 255 kg/m<sup>3</sup>

Número de cargas de camiones con volquetas: 15

Volumen medio del camión con volqueta: 1,5 m<sup>3</sup>

Peso específico de camión con volqueta: 170 kg/m<sup>3</sup>



a) Estima la tasa de generación de residuos semanal, por unidad para un barrio conformado por 4300 viviendas, cada vivienda está compuesta por 4 personas. El sitio de disposición final al cual son transportados los residuos recibe todos los residuos recolectados en el barrio. El período de observación es de una semana.

b) Identifica los métodos utilizados para estimar la tasa de generación de residuos de una población. Explica el método que fue utilizado en la parte a).

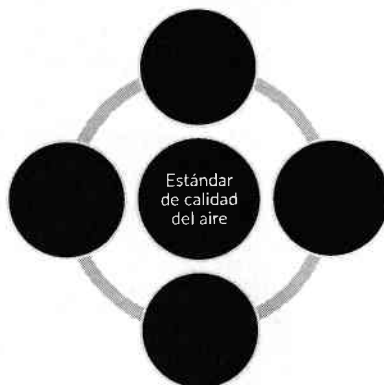
4) a) Menciona las normativas más relevantes, vigentes actualmente en Uruguay vinculadas con la gestión de Residuos Sólidos, identifica los aspectos principales que se establecen en estas normativas.

b) Identifica los Convenios Internacionales relacionados con la Gestión de Residuos Sólidos y su principios básico.

3/15

## MÓDULO DE AIRE

1. Mencione cuatro posibles fuentes de incertidumbre de los inventarios de emisiones.
2. ¿Cuáles son los componentes de un estándar de calidad del aire?



3. Los habitantes de una pequeña localidad de Uruguay utilizan estufas a leña convencionales como medio de calefacción en sus hogares **durante 4 horas al día**. De acuerdo con las autoridades ambientales regionales, la concentración ambiental de  $PM_{10}$  generada por esta actividad no puede ser mayor a  $25 \mu g/m^3$  (en condiciones de atmósfera estable, clase F), de forma tal de evitar el incumplimiento del estándar de calidad del aire.

La estación de calidad del aire orientada a registrar el impacto de esta actividad se encuentra a 5 km de la localidad, a 2 m de altura en la dirección predominante del viento. Debido a la distancia existente entre la localidad y la estación de calidad del aire, la emisión de las estufas a leña puede asimilarse a una única fuente puntual.

En primer lugar, se pide determinar si la actividad de quema de leña en estufas convencionales podría significar un riesgo para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire. De ser así, se pide evaluar el efecto de la siguiente política de reducción de emisiones: utilizar el 80 % del consumo de leña en estufas de alto rendimiento.

¿Es capaz esta medida de cumplir con los requerimientos de las autoridades?

### Otra información:

- Consumo de leña por habitante =  $4 \frac{kg}{hab \cdot d}$
- Población de la localidad: 6000 habitantes.
- $FE_{PM_{10}} \text{ estufa convencional} = 34.6 \frac{lbm}{ton \text{ leña}}$
- $FE_{PM_{10}} \text{ estufa de alto rendimiento} = 16.2 \frac{lbm}{ton \text{ leña}}$

4/15

- $1 \text{ lbm} = 0.453592 \text{ kg}$
- Altura típica de la chimenea de una estufa: 5 m.
- Diámetro típico de la chimenea de una estufa: 0.15 m.
- Temperatura y velocidad de la emisión estimadas: 403 K y 1 m/s respectivamente.
- $WS_{10 \text{ m}} = 10 \text{ m/s}$ .
- Temperatura ambiente: 293 K.
- Presión atmosférica: 1013 mb.
- Tipo de superficie: urbana.

Para una fuente emisora situada a una altura efectiva  $z = H$ , la ecuación del penacho gaussiano es:



$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2 * \pi * u * \sigma_y * \sigma_z} * e^{-\frac{1}{2} * \left( \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right)}$$

Donde:

$C(x, y, z)$ : concentración de contaminante en el punto  $x, y, z$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

$Q$ : emisión del contaminante ( $\mu\text{g}/\text{s}$ ).

$\sigma_y, \sigma_z$ : coeficientes de dispersión horizontal y vertical (m).

$H$ : altura efectiva de emisión (m).

$u$ : velocidad del viento a la altura efectiva (m/s).

$x, y, z$ : coordenadas (m).

5/15

### Cálculo de velocidades de viento a diferentes alturas:

$$U_2 = U_1 * \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^n$$

Donde:

$U_1$ : velocidad del viento a la altura de referencia en m/s.

$U_2$ : velocidad del viento a la altura objetivo en m/s.

$H_1$ : altura de referencia en m.

$H_2$ : altura objetivo en m.

n: coeficiente que depende del tipo de terreno y de la estabilidad atmosférica.

| Estabilidad atmosférica | Superficie rural | Superficie urbana |
|-------------------------|------------------|-------------------|
|                         | n                | n                 |
| A                       | 0.10             | 0.15              |
| B                       | 0.15             | 0.15              |
| C                       | 0.20             | 0.20              |
| D                       | 0.25             | 0.25              |
| E                       | 0.25             | 0.40              |
| F                       | 0.30             | 0.60              |



### Cálculo de la sobre-elevación de la emisión:

$$\Delta h(m) = \frac{v_s * D}{u} * \left( 1,5 + 2,68 \times 10^{-3} * p * D * \left( \frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \right)$$

Donde:

$v_s$ : velocidad de salida del gas en m/s.

D: diámetro de la chimenea en m.

u: velocidad del viento a la altura de la boca de la chimenea en m/s.

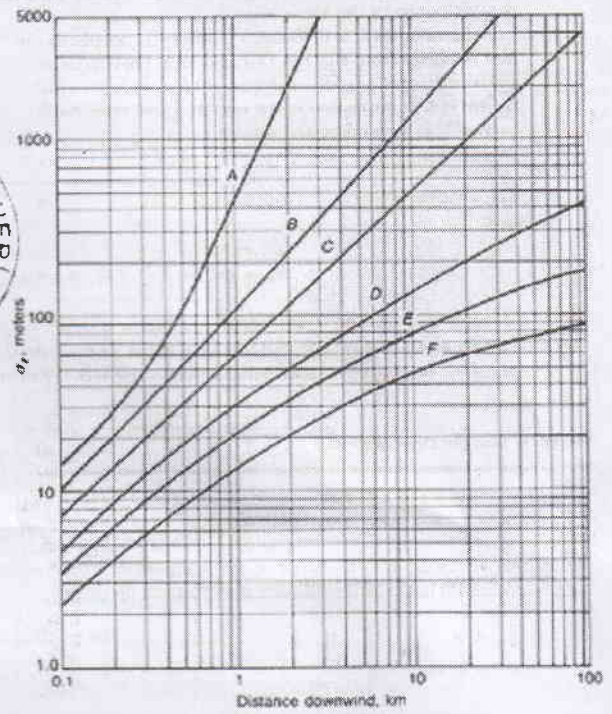
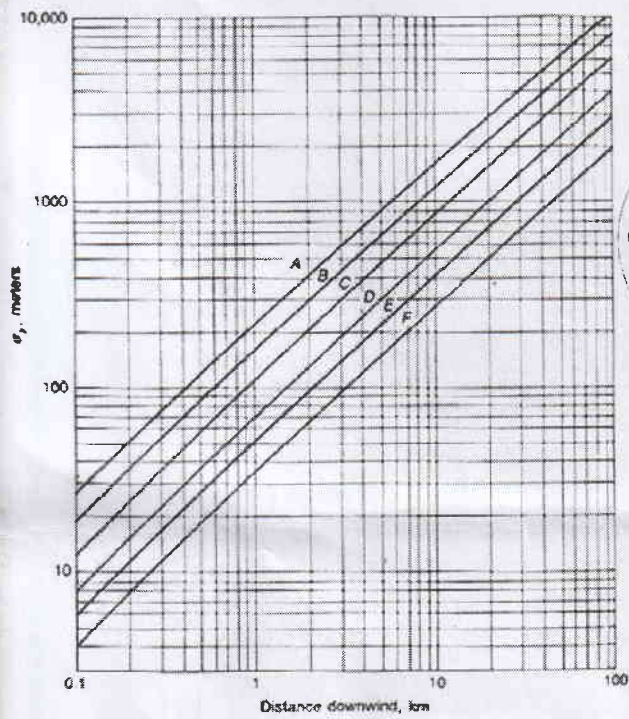
p: presión atmosférica en mb.

$T_s$ : temperatura de salida de los gases de la chimenea en K.

$T_a$ : temperatura atmosférica en K.

6/15

# Coefficients of dispersion ( $\sigma_y$ , $\sigma_z$ ):



Datos para el módulo de contaminación sonora

7/15

5-2: Correcciones que definen las curvas A, C y Z en bandas de octava y de tercio de octava

| Frecuencia [Hz] | Curva A [dB] | Curva C [dB] | Curva Z [dB] |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 10              | -70,4        | -14,3        | 0            |
| 12,5            | -63,4        | -11,2        | 0            |
| 16              | -56,7        | -8,5         | 0            |
| 20              | -50,5        | -6,2         | 0            |
| 25              | -44,7        | -4,4         | 0            |
| 31,5            | -39,4        | -3,0         | 0            |
| 40              | -34,6        | -2,0         | 0            |
| 50              | -30,2        | -1,3         | 0            |
| 63              | -26,2        | -0,8         | 0            |
| 80              | -22,5        | -0,5         | 0            |
| 100             | -19,1        | -0,3         | 0            |
| 125             | -16,1        | -0,2         | 0            |
| 160             | -13,4        | -0,1         | 0            |
| 200             | -10,9        | 0,0          | 0            |
| 250             | -8,6         | 0,0          | 0            |
| 315             | -6,6         | 0,0          | 0            |
| 400             | -4,8         | 0,0          | 0            |
| 500             | -3,2         | 0,0          | 0            |
| 630             | -1,9         | 0,0          | 0            |
| 800             | -0,8         | 0,0          | 0            |
| 1000            | 0,0          | 0,0          | 0            |
| 1250            | 0,6          | 0,0          | 0            |
| 1600            | 1,0          | -0,1         | 0            |
| 2000            | 1,2          | -0,2         | 0            |
| 2500            | 1,3          | -0,3         | 0            |
| 3150            | 1,2          | -0,5         | 0            |
| 4000            | 1,0          | -0,8         | 0            |
| 5000            | 0,5          | -1,3         | 0            |
| 6300            | -0,1         | -2,0         | 0            |
| 8000            | -1,1         | -3,0         | 0            |
| 10000           | -2,5         | -4,4         | 0            |
| 12500           | -4,3         | -6,2         | 0            |
| 16000           | -6,6         | -8,5         | 0            |
| 20000           | -9,3         | -11,2        | 0            |



8/15

| Tabla 3. Niveles de presión sonora admisibles en recintos, según destino del local ( $L_{A,F,eq}$ ) |                    |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------|
| Destino del local                                                                                   | $L_{A,F,eq}$ (dBA) |                |
| Residencial en áreas urbanas o urbanizables                                                         | Diurno<br>45       | Nocturno<br>40 |
| Residencial en áreas rurales                                                                        | 35                 |                |
| Aulas de enseñanza                                                                                  | 35                 |                |
| Salas de internación en centros de atención de salud                                                | 35                 |                |

| Tabla 4. Niveles de presión sonora en bandas de octava ( $L_{Z,eq}$ ) |                              |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| L admisible [dBZ] para $L_{A,F,eq}$                                   | Frecuencia central B.O. [Hz] |     |     |     |      |      |      |      |
|                                                                       | 63                           | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Para $L_{A,F,eq} = 35$                                                | 55                           | 50  | 45  | 40  | 35   | 30   | 28   | 28   |
| Para $L_{A,F,eq} = 40$                                                | 59                           | 54  | 50  | 45  | 40   | 35   | 33   | 33   |
| Para $L_{A,F,eq} = 45$                                                | 63                           | 58  | 54  | 50  | 45   | 41   | 38   | 38   |

9/15

## MÓDULO DE RUIDO

**Pregunta 1-** El Nivel Sonoro Continuo Equivalente o Nivel Equivalente  $L_{eq}$  es un parámetro que se ha adoptado internacionalmente para describir con un solo valor numérico, desde el punto de vista energético, la totalidad de los niveles de presión sonora que han tenido lugar en un intervalo de tiempo determinado. Como es un equivalente energético, el  $L_{eq}$  penaliza fuertemente los niveles de presión sonora elevados, aún si son de corta duración. El  $L_{eq}$  es el nivel de presión sonora correspondiente a un sonido de nivel de presión sonora constante cuya duración es igual al intervalo de tiempo considerado y que haría llegar a la membrana del tímpano la misma cantidad de energía que la secuencia de sonidos que efectivamente tuvo lugar en ese intervalo de tiempo.

Para poder reproducir razonablemente el comportamiento del oído en relación a las distintas frecuencias e intensidades, se desarrollaron varias curvas de ponderación frecuencial de las que en la actualidad se mantienen en uso las curvas A y C. Los valores medidos intercalando las curvas de compensación mencionadas se designan respectivamente como *nivel de presión sonora ponderado en escala A* y *nivel de presión sonora ponderado en escala C*, y se expresan en dBA y dBC (también abreviados a veces como dB(A) y dB(C)). La notación actual de las normas ISO indica la escala de ponderación como un subíndice que acompaña a la letra L (del inglés *level*), expresando los valores siempre en dB. Así, un nivel sonoro expresado en escala de ponderación A se anotará como  $L_A$  y se expresará en dB.

La elección de la ponderación de tiempo en una medición depende de la variabilidad de la señal del sonido, y de los requisitos de la norma, protocolo, reglamentación, etc. a seguir para realizar esa medición o ensayo. Algunas características más destacables de la escala de ponderación A son: la gran atenuación que produce sobre los sonidos de bajas frecuencias (graves); y la amplificación de los sonidos en el intervalo de 1000 Hz y 5000 Hz. La norma IEC 61672-1:2013 indica que todos los sonómetros deben tener incorporado el filtro de ponderación frecuencial A.

La curva C se mantiene en uso pero más que por su aplicación en sí misma, por la comparación con los niveles de presión sonora, expresados en dBA y dBC, que describen una misma señal. Dado que la curva A atenúa las bajas frecuencias y la curva C no, si las lecturas en dBA y dBC son similares, es porque el contenido de la señal en bajas frecuencias no es importante. Si, en cambio, la lectura en dBC es mayor que la lectura en dBA y la resta aritmética de los niveles ( $C - A$ ) toma un valor de 10 dB o más, es un indicador de que la señal tiene un elevado contenido energético en bajas frecuencias. Las normas de medición especifican ponderación temporal lenta y otras, ponderación temporal rápida.

Si la señal sonora es estable, es decir que varía en un intervalo de no más de 5 dB, el valor final obtenido es independiente de la constante de tiempo seleccionada. En cambio, si los niveles sonoros son variables (o sea, su nivel varía en un intervalo de más de 5 dB de amplitud), se recomienda medir con constante de tiempo fast para evitar subestimaciones. Por lo tanto, cuando no se cuenta con una disposición explícita en este sentido, es aconsejable trabajar con respuesta temporal fast.

### Ejercicio 2

10/15



- A)  $L_{Aeq}=38$  dBA (NO se cumple con las Guías del Ministerio de Ambiente)  
B) No se cumple en 2kHz ni en 4kHz.  $L_{Aeq}$  con ajuste= 35 dBA.

### MÓDULO RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

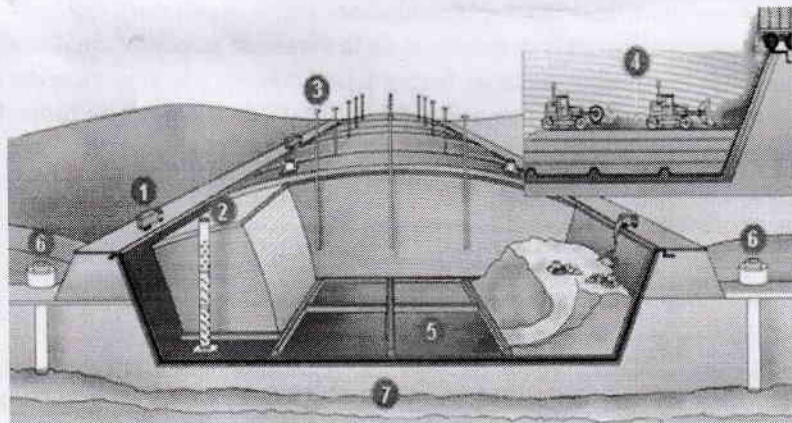
1.

a) Tipos de servicios de recolección de RSU: Recolección de residuos no seleccionado Y Recolección de residuos separados en origen; Tipos de sistemas de recolección de RSU: Sistemas de Contenedor y Sistemas de Carga fija.

b) 1. Tiempo de toma; 2. Transporte; 3. Lugar de descarga; 4. Tiempo muerto

2.

a)



- Preparación del terreno para lograr un fondo impermeable.
- Sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados.
- Cobertura diaria.
- Sistema de Operación.
- Sistema de recolección y venteo/quema/tratamiento de gases.
- Gestión de pluviales.
- Infraestructura conexas.

7/15

- Monitoreo de variables ambientales.
- Clausura y Post-clausura del relleno sanitario

b)

**Ejemplo 11.1. Estimación del área requerida para un vertedero.** Estimar el área necesaria para un vertedero que sirve una comunidad con una población de 31.000 habitantes. Suponer que se aplican las siguientes condiciones:

1. Generación de residuos sólidos = 2,9 kg/hab · día
2. Peso específico de residuos compactados en el vertedero = 474,64 kg/m<sup>3</sup>
3. Profundidad media de residuos compactados = 6 m.

**Solución**

1. Determinar la tasa de generación de residuos sólidos en t por día.

$$\text{Tasa de generación} = \frac{(31.000 \text{ hab.})(2,9 \text{ kg/hab} \cdot \text{día})}{1.000 \text{ kg/t}} = 89,9 \text{ t/día (89.900 kg/día)}$$

2. Se determina el área requerida de la siguiente forma:

$$\text{Volumen requerido/día} = \frac{89.900 \text{ kg/día}}{474,64 \text{ kg/m}^3} = 189,41 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Área requerida/año} = \frac{(189,41 \text{ m}^3/\text{día})(365 \text{ días/año})}{6 \text{ m (10.000 m}^2/1 \text{ ha)}} = 1,15 \text{ ha/año}$$

3)

a)



**Ejemplo: Estimación de tasas de generación de residuos sólidos por unidad para una zona residencial.**

| Artículo             | Número de cargas | Volumen medio m <sup>3</sup> | Peso específico kg/m <sup>3</sup> |
|----------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Camión compactador   | 9                | 153                          | 296,6                             |
| Camión de plataforma | 7                | 15                           | 133,5                             |
| Vehículo particular  | 20               | 0,2                          | 89                                |

12/15

Ejemplo: Estimación de tasas de generación de residuos sólidos por unidad para una zona residencial.

| Artículo              | Número de carga | Volumen medio m <sup>3</sup> | Peso específico kg/m <sup>3</sup> | Peso total |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------------|------------|
| Cajones compactador   | 9               | 15.3                         | 276.6                             | 40.84,82   |
| Cajones de plataforma | 7               | 1.5                          | 133.5                             | 1.001,75   |
| Vehículo particular   | 30              | 0.2                          | 93                                | 2.86       |
| Total kg/semana       |                 |                              |                                   | 42.909.57  |

Ejemplo: Estimación de tasas de generación de residuos sólidos por unidad para una zona residencial.

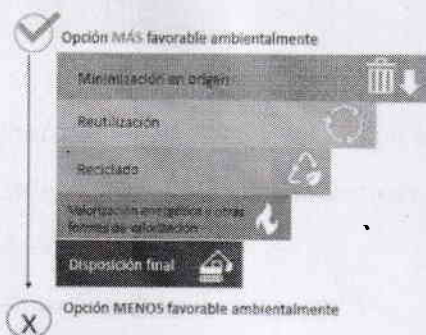
$$\text{Tasa por unidad} = \frac{42.909.57 \text{ kg/semana}}{(1.200 \cdot 15) \text{ día/semana}} = 1.45 \text{ kg/habitante día}$$



b) Analisis del número de cargas

4)

a) Como mínimo: Ley 19.829 – **Aprobación de normas para la gestión integral de residuos.** Economía circular, Política Nacional de residuos, Plan Nacional Gestión de Residuos, Planes departamentales gestión de residuos.



b) Convenio de Basilea: Control de movimiento transfronterizo de residuos.

Convenio de Estocolmo: Aplicación de medidas para prevenir efectos adversos a la salud y ambiente derivados de los COP.

13/15

Convenio de Minamata: Proteger la salud y el ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio.

MÓDULO DE AIRE

1.

- **Fuentes de incertidumbre:**

- ❖ Incertidumbre en los datos de actividad.
- ❖ Omisión de fuentes emisoras relevantes.
- ❖ Incertidumbre en la información demográfica y socio-económica utilizada para la distribución de los consumos y de las emisiones (por ejemplo, distribución de consumos por población o por flota vehicular).
- ❖ Incertidumbre en los factores de emisión considerados (aplicación de factores de emisión desarrollados en otros países).
- ❖ Incertidumbre en el uso de dispositivos de control de emisiones.

2.



- **Indicador:** lo que se va a medir (concentración de  $PM_{2,5}$ ,  $SO_2$ ,  $O_3$ , etc.) y cómo se va a medir.
- **Tiempo de promediación:** por ejemplo 1 h, 8 h, 24 h o 1 año. Depende de si se quieren evaluar efectos sobre la salud de corto o largo plazo.
- **Definición de cumplimiento:** método estadístico que defina el cumplimiento del estándar (puede incluir excedencias).
- **Nivel:** valor numérico del indicador (por ejemplo,  $15 \mu g/m^3$  para el promedio anual de la concentración ambiental de  $PM_{2,5}$ ).

14/15



3.

Parte a)  $C = 123 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (la actividad de quema de leña en estufas convencionales podría significar un riesgo para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire).

Parte b)  $C = 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (esta medida no es capaz de cumplir con los requerimientos de las autoridades).

13/15