

## Exposición total al arsénico: Estudio de un caso

### Soluciones a los ejercicios

#### Ejercicio en grupo:

##### A) Introducción

En este ejercicio, los participantes calcularán e interpretarán la exposición a arsénico de los residentes de una comunidad rural en una región que tiene, de forma natural, altos niveles de arsénico. La dieta de los miembros de la comunidad proviene fundamentalmente de lo que ellos mismos cultivan, lo que incluye cereales regados con agua subterránea y de los peces del río que fluye cercano. No existe ninguna fuente importante de emisión industrial de arsénico en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos en el muestreo ambiental realizado en esta hipotética comunidad se presentan más abajo. Se asume que los resultados analíticos son de una alta calidad (precisión y sensibilidad) y que las muestras son representativas de la exposición a la que se ven sometidos los miembros de la comunidad. Las muestras analizadas presentan datos de arsénico total, es decir, no se ha diferenciado el arsénico orgánico del inorgánico. Este ejercicio se centra en la valoración de la «*exposición crónica*» de los miembros de la comunidad.

Los participantes deberán revisar detenidamente los datos que figuran más abajo y en la siguiente página, completar las tablas realizando los oportunos cálculos de la exposición (sección B de este ejercicio) y responder después a una serie de preguntas (sección C de este ejercicio). Los datos de los factores de exposición, que figuran al final de esta guía, pueden ser utilizados para calcular las concentraciones de exposición. Al final se revisarán las soluciones con el conjunto de la clase.

**NOTA:** Tanto los datos de las muestras ambientales como de las ingestas alimentarias que se proporcionan son de un lugar «*hipotético*». Estos datos no deberían ser asumidos como representativos de otros lugares que los participantes quisieran evaluar.

##### Datos de los muestreos ambientales (para arsénico):

- Aire ambiente: No se recogieron muestras en esta comunidad.
- Suelo: El conjunto de muestras de suelo recogidas en múltiples viviendas presentan una concentración media de arsénico en la superficie del suelo de 40 mg/kg, con una pequeña variación (dispersión) entre los niveles obtenidos.
- Agua potable: La gran mayoría de los miembros de la comunidad estudiada obtienen el agua para beber de un pozo que ha sido analizado trimestralmente durante el año anterior. Los resultados de arsénico obtenidos en estos análisis fueron: 825 µg/L, 950 µg/L, 725 µg/L, y 1,100 µg/L.
- Alimentos: Se tomaron múltiples muestras de alimentos cultivados y recogidos en el lugar objeto del estudio. Las medias de arsénico encontradas (expresadas en peso húmedo del alimento) fueron: 300 µg/kg en arroz, 80 µg/kg en verduras, 200 µg/kg en otros cereales distintos al arroz, y 1.600 µg/kg en pescado. No se analizaron los niveles de arsénico ni en carne ni en productos lácteos.

## Exposición total al arsénico: Estudio de un caso Soluciones a los ejercicios

### Datos de ingesta:

Una encuesta sobre la «cesta de la compra» realizada en la localidad objeto del estudio aportó los siguientes datos medios de tasas de ingesta para diferentes alimentos:

- Niños:*
- Ingesta de 200 gramos de arroz por día.
  - Ingesta de 60 gramos de verduras por día.
  - Ingesta de 50 gramos de otros cereales distintos al arroz por día.
  - Ingesta de 40 gramos de pescado por día.
  - Ingesta de 15 gramos por día del resto de alimentos.
- Adultos:*
- Ingesta de 400 gramos de arroz por día.
  - Ingesta de 100 gramos de verduras por día.
  - Ingesta de 100 gramos de otros cereales distintos al arroz por día.
  - Ingesta de 80 gramos de pescado por día.
  - Ingesta de 40 gramos por día del resto de alimentos.

### B) Cálculo de la exposición

**Tabla 1.** Cálculo de la Exposición Crónica para «*niños*».

Vía de exposición	Dosis estimada de exposición (mg/kg/día)	Porcentaje del total de la dosis
Ingestión de suelo	0.00040	0.8%
Ingestión de agua potable	0.045	86.0%
Ingestión de arroz	0.0030	5.7%
Ingestión de verduras	0.00024	0.5%
Ingestión de otros cereales	0.00050	1.0%
Ingestión de pescado	0.0032	6.1%
Dosis Total	0.052	100%

**Nota:** Se proporcionan las Dosis Estimadas de Exposición para dos vías de exposición al objeto de limitar el número de cálculos que tienen que hacer los participantes. También se proporciona la Dosis Total para que los participantes puedan comprobar sus cálculos antes de proceder a contestar las preguntas que siguen.

## Exposición total al arsénico: Estudio de un caso

### Soluciones a los ejercicios

Tabla 2. Cálculo de la exposición crónica para «adultos»

Vía de exposición	Dosis estimada de exposición (mg/kg/día)	Porcentaje del total de la dosis
Ingestión de suelo	0.000057	0.2%
Ingestión de agua potable	0.026	86.5%
Ingestión de arroz	0.0017	5.8%
Ingestión de verduras	0.00011	0.4%
Ingestión de otros cereales	0.00029	1.0%
Ingestión de pescado	0.0018	6.2%
Dosis Total	0.030	100%

**Nota:** Se proporcionan las «dosis estimadas de exposición» para dos vías de exposición al objeto de limitar el número de cálculos que tienen que hacer los participantes. También se proporciona la Dosis Total para que los participantes puedan comprobar sus cálculos antes de proceder a contestar las preguntas que siguen.

### C) Preguntas

- 1) Un responsable local te pide que le describas cuál es la vía de exposición al arsénico más importante en esta comunidad. Escribe una frase o dos diciendo cómo les responderías.

#### Respuesta:

La ingestión del agua potable domina claramente la exposición total al arsénico. Hay diferentes formas de contestar esta pregunta:

- «El 86% de la exposición total al arsénico se produce a través del agua potable. Este arsénico tiene un origen natural.»
- «El 86% del arsénico que ingieren los residentes proviene del agua potable y tiene un origen natural.»
- «El 86% de la exposición total al arsénico proviene del agua potable. La cantidad de arsénico proveniente del resto de las vías de exposición suponen menos del 15%.»
- «La cantidad de arsénico que los residentes ingieren a través del agua potable es 6 veces mayor de la que pueden ingerir a través del resto de las otras vías de exposición.»

- 2) Algunos miembros de la comunidad preocupados por la exposición al arsénico te preguntan por tu opinión sobre el papel que juega la ingestión de pescado, en

**Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)**  
**Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU.**

## **Exposición total al arsénico: Estudio de un caso**

### **Soluciones a los ejercicios**

comparación con la que juega la ingestión de arroz sobre la exposición total. ¿Qué les dirías?

#### **Respuesta:**

La exposición al arsénico a través de estas dos vías son muy parecidas: en adultos la ingestión de arroz supone el 5.8% de la exposición total al arsénico y el pescado supone el 6.2% del total. Sin embargo, el arsénico en pescado es predominantemente orgánico y por ello, básicamente «no tóxico». Por ello, la ingestión de arroz contribuye más a la exposición global de las formas de arsénico de mayor interés para la salud pública.

- 3) Las autoridades locales están conscientes de que, para la caracterización de la exposición al arsénico en esta comunidad, no se han recogido muestras del aire ambiental. Te preguntan si muestrear el aire es un gasto que merece la pena. ¿Cómo les responderías? Apoya tu respuesta con los cálculos que consideres adecuados.

#### **Respuesta:**

En este caso, el muestreo del aire no sería una manera eficiente de utilizar los recursos.

Para valorar este aspecto, se puede asumir una media de concentración en el aire de 28 ng/m<sup>3</sup>, el valor más alto del rango de los valores usuales encontrado en el aire de un entorno rural. Esto puede ser asumido dado que no existen emisiones importantes de arsénico en el área de estudio. Bajo esta hipótesis, la exposición por inhalación para adultos debería ser sólo 0.0000088 mg/kg/día (<0,1% de la dosis de exposición total al arsénico).

Incluso si la concentración de arsénico en el aire fuera mayor que la se ha utilizado (la del entorno rural), la contribución a la exposición total sería marginal.

- 4) Supón que un estudio realizado en esta comunidad identifica un medicamento particular tradicional que es usado sólo para adultos y que contiene arsénico (como media) en una concentración de 600 mg/kg (en peso húmedo del medicamento). ¿Qué tasa de ingestión causaría la dosis de exposición del medicamento tradicional que fuese igual a la dosis de exposición del agua potable? ¿Crees que es concebible que personas adultas sean capaces de ingerir medicamentos tradicionales en estas cantidades?

#### **Respuesta:**

Para igualar la exposición a través del agua potable, la dosis de medicamento tradicional (en adultos) debería ser de 0.026 mg/kg/día. Usando esta dosis estimada de exposición en la ecuación, se encuentra que esta dosis se podría alcanzar si el adulto ingiere 3 gramos de medicamento por día. No es una tasa de ingestión alta pero sería conveniente disponer de información relativa a posibles ingestas de medicamentos de este tipo (tradicionales). Es conocido que los adultos en algunas poblaciones del sur de Asia llegan a ingerir hasta 10 gramos de especies por día en su dieta.

## **Exposición total al arsénico: Estudio de un caso**

### **Soluciones a los ejercicios**

Procede también señalar que en EE. UU. se han documentado envenenamientos de arsénico como consecuencia de la ingesta de medicamentos tradicionales o hierbas usadas como remedios caseros, que han llegado a pasar inadvertidos.

- 5) Una médico local está preocupada por los efectos del arsénico que ha observado en los miembros de la comunidad. La médico obtiene una copia de los resultados de los muestreos ambientales llevados a cabo y comprueba que, de todos los alimentos analizados, el pescado es el que tiene los niveles de arsénico más altos. Ella te pregunta sobre la necesidad de editar un folleto con consejos sobre el consumo del pescado del río local con el objeto de reducir la exposición al arsénico. ¿Qué le responderías? ¿Qué factores deberían ser tenidos en cuenta de cara a llevar a cabo tal acción?

#### **Respuesta:**

La medida que propone para reducir la exposición tendría probablemente beneficios limitados para la salud por las siguientes razones: (1) Se producirían exclusivamente reducciones en una exposición marginal, porque la ruta de ingestión de pescado supone sólo el 6% de la exposición total al arsénico en adultos. (2) Se producirían reducciones en la exposición para la forma menos tóxica del arsénico. Por estas razones, la publicación de consejos sobre la pesca parece injustificada.

Los profesionales de la salud, con carácter general, tienen que considerar otros factores (riesgos y beneficios potenciales) al evaluar medidas de este tipo para reducir la exposición. En este caso, el profesional de salud necesitaría sopesar los beneficios nutricionales de comer pescado y los riesgos de las exposiciones al arsénico asociadas a ello. Además, hay costes sociales y económicos derivados de la implementación de esta medida.

- 6) Una nueva tecnología basada en la filtración está disponible en el mercado y es capaz de reducir en un 60% el arsénico del agua potable. ¿Qué reducción de la exposición total al arsénico se obtendrá en los adultos si esta tecnología se implanta en la localidad?

#### **Respuesta:**

Si se utilizase esta tecnología, la exposición total al arsénico en adultos disminuiría de 0.030 mg/kg/día a 0.014 mg/kg/día. Esto supone una reducción del 53% de la exposición total al arsénico. Si se redujese en un 60% la concentración de arsénico de otro de los medios del ejercicio, sólo se producirían reducciones marginales en la exposición total. Por ello, el agua potable presenta las mayores posibilidades para reducir la exposición total al arsénico.

- 7) Comentar las exposiciones a través de la ingesta aguda de suelo que puede experimentar un niño con «pica». ¿Cuál es la ingesta diaria ( $\mu\text{g}/\text{día}$ ) de arsénico a través de la vía de exposición de ingestión de suelo de un niño con «pica»? ¿Qué proporción representa esta ruta de exposición respecto a la ingesta diaria total de ese niño? Considerando todos los factores mencionados en este curso, ¿apoyarías el desarrollo de más investigaciones sobre los niños con pica en esta comunidad?

## Exposición total al arsénico: Estudio de un caso

### Soluciones a los ejercicios

#### Respuesta:

Para evaluar a los niños con «pica», se podría asumir una tasa de ingestión de suelo de 5.000 mg/día, que es 25 veces mayor que la tasa de 200 mg/día usada para los niños sin este comportamiento. La ingesta diaria en exposiciones agudas se convertiría en 0.2 µg/día, que representaría el 16% del total de la ingesta diaria para el niño con «pica». Sin embargo, considerando que solo una pequeña fracción del arsénico contenido en el suelo está biodisponible, la dosis absorbida por la ruta de ingestión de suelo en los niños con «pica» es en este caso despreciable, al menos si se compara con la ingestión de agua potable. Hay que advertir, no obstante, que si no hubiera arsénico en el abastecimiento de agua potable de esta comunidad, la ingesta de arsénico por los niños con «pica» representaría la mayor parte (60%) de la ingesta diaria total. Por tanto, la ingestión de suelo de los niños con «pica» puede ser muy relevante en determinadas situaciones.

- 8) Calcula la ingesta media diaria (en unidades de µg/día) para niños y adultos. Compara estas ingestas diarias con el rango de las ingestas diarias normales publicadas por la OMS. Explica por qué los niños tienen una menor ingesta que los adultos a pesar de que tienen una mayor dosis de exposición que los adultos.

#### Respuesta:

Para calcular la ingesta media diaria, se multiplica la dosis de exposición (mg/kg/día) por el peso corporal medio (kg), y se convierten las unidades (a µg/día). Las ingestas medias diarias serían 1.050 µg/día y 2.080 µg/día para niños y adultos respectivamente. Estos valores son considerablemente más altos que el rango total de las ingestas diarias normales publicadas por la OMS.

En este caso, los niños tienen ingestas más pequeñas que los adultos porque la exposición total procede básicamente de la dieta y los niños comen menos alimentos y beben menos agua que los adultos. La dosis es más alta para los niños porque se expresa en relación al peso corporal y los niños pesan considerablemente menos que los adultos.

- 9) El departamento oficial del gobierno con responsabilidades en la toma de decisiones sobre la gestión del riesgo te solicita un breve resumen escrito que describa los resultados de los cálculos de las dosis de exposición obtenidos y su significado. Escribe una respuesta de 3 a 4 frases para esta solicitud.

#### Respuesta:

Pueden ser aceptadas diferentes respuestas. Una podría ser la siguiente: «Los residentes están expuestos al arsénico de origen natural en el aire que respiran, el agua que beben y la comida que ingieren. La mayor parte de la exposición (86%) procede de las fuentes del agua potable. Abordar la contaminación del agua potable representa la mejor oportunidad para reducir la exposición total. Se deberán evaluar las implicaciones para la salud pública de los niveles actuales y futuros antes de decidir qué exposiciones deben ser reducidas.»