

ORIGINAL

METALES PESADOS (Pb, Cd, Cr Y Hg) EN POBLACIÓN GENERAL ADULTA PRÓXIMA A UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS DE BIZKAIA (*)

Miren Begoña Zubero Oleagoitia (1), Juan José Aurrekoetxea Agirre (1,2), Jesús María Ibarluzea Maurologoitia (2), Maria Jesús Arenaza Amezaga (3), Mikel Basterretxea Irurzun (2), Carlos Rodríguez Andrés (1) y José Ramón Sáenz Domínguez (1)

(1) Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea. Leioa, Bizkaia.

(2) Subdirección de Salud Pública, Departamento Sanidad, Gobierno Vasco. Gipuzkoa.

(3) Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales-OSALAN. Barakaldo. Bizkaia.

RESUMEN

Fundamento: Entre las posibles emisiones de una planta de valorización energética de residuos sólidos urbanos (PVERSU) se encuentran los metales pesados. el objetivo del estudio es conocer los niveles en sangre y orina de metales pesados en población general de Bizkaia.

Métodos: En 2006 se midió la exposición a Pb en 95 muestras de sangre y Cd, Cr y Hg en 93 muestras de orina de adultos de la población general de Bizkaia, País Vasco, obtenidas de dos áreas con alta densidad de tráfico del área metropolitana de Bilbao en la cercanía de una PVERSU que iniciaba su actividad, una tercera correspondiente a una zona urbana de Bilbao con tráfico denso y alejada del área de influencia de las posibles emisiones de la PVERSU y la cuarta alejada de la planta y con baja densidad de tráfico. De cada área se estableció como objetivo elegir a un mínimo 20 participantes, la mitad de cada sexo y, a su vez, la mitad de 20 a 44 años y la mitad de 45 a 69. Se utilizó la prueba de la χ^2 para estudiar la asociación entre variables categóricas. Como prueba de comparación de medias se utilizó la t de Student y la ANOVA para variables con dos o más categorías, respectivamente. Para ajustar factores de confusión se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple.

Resultados: Las concentraciones medias fueron PbS: 2,68 $\mu\text{g}/100\text{ml}$, CdU 0,54 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, CrU: 0,51 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, y HgU: 0,65 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina.

Conclusión: No se observaron diferencias entre las zonas. El análisis unifactorial y multifactorial mostró que los niveles de PbS se incrementaban con la edad y estaban asociados con el consumo de productos locales de huerta y con el trabajo en la metalurgia. La edad eleva los niveles de CdU y se observa en clases sociales altas niveles más elevados, así como en mujeres y en personas fumadoras. Los niveles de CrU eran más elevados en zonas alejadas a la PVERSU y en las clases altas. Los niveles de HgU fueron más elevados en mujeres que en hombres.

Palabras clave: Metales pesados. Plomo. Cadmio. Cromo. Mercurio. Vigilancia de la población. Incineración.

ABSTRACT

Heavy Metals (Pb, Cd, Cr and Hg) in the General Adult Population Near an Urban Waste Treatment Plant in Biscay, Spain, in 2006

Background: The possible emissions from a municipal urban solid waste treatment plant (MUSWTP) include heavy metals. The purpose of this study is to ascertain the levels of heavy metals in the blood and urine of the general population of Biscay.

Methods: The level of Pb was measured in 95 blood samples (BPb) and Cd, Cr and Hg in 93 urine samples (UCd, UCr, UHg) taken from adults in the general population of Biscay, Basque Country, in 2006. The samples were obtained in two areas with high traffic density in the metropolitan area of Bilbao close to an MUSWTP which had just commenced operation, a third area in downtown Bilbao with heavy traffic and at a distance from the area of influence of possible emissions from the MUSWTP, and a fourth area at a distance from the plant and with low traffic density. The objective was to select a minimum of 20 participants from each area, with an equal number of male and female subjects, and with half the subjects aged between 20 and 44 years and the other half between 45 and 69. A chi-squared test was used to study the association between categorical variables, Student's t-test was used as a comparison of means test, and ANOVA was used for variables with two or more categories. A multiple linear regression model was used to adjust for confounding factors.

Results: The mean concentrations were: BPb: 2.68 $\mu\text{g}/100\text{ml}$; UCd: 0.54 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine; UCr: 0.51 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine; UHg: 0.65 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinine.

Conclusion: No significant differences were observed between the areas. The single-factor and multifactor analyses showed that the BPb levels increased with age and were associated with the consumption of local horticultural products and with employment in the metallurgy sector. The UCd levels also increased with age, and higher levels were observed in the upper social classes as well as in women and smokers. The UCr levels were higher in areas at a distance from the MUSWTP and in the upper classes, and UHg levels were higher in women than in men.

Key words: Heavy metals. Lead Cadmium Chromium Mercury Population Surveillance, Incineration.

Correspondencia:

Juan José Aurrekoetxea.

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública
Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.
Barrio Sarriena s/n. Leioa, Bizkaia.
Teléfono: 946012780. Fax: 946013393.

Correo electrónico: jj.aurreko@gmail.com

(*) Este trabajo ha recibido para su realización una ayuda financiera por parte de la empresa Zabalgarbi, S.A., dedicada a la valorización energética de residuos sólidos urbanos, no existiendo conflicto de interés alguno entre los autores de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados suponen una preocupación importante en Salud Pública por su toxicidad aguda y crónica y por la amplia variedad de fuentes de exposición. Entre los metales que generan preocupación por su exposición ambiental, vía alimentaria principalmente, se encuentran el plomo, el cromo, el cadmio y el mercurio. El cromo y el cadmio son considerados cancerígenos por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer de la OMS, la IARC¹⁻², mientras que el plomo y el mercurio preocupan especialmente por su neurotoxicidad. El cromo es además alergénico. El cadmio produce afectación pulmonar y renal y osteomalacia y osteoporosis. El plomo, a su vez, produce daño renal y anemia³. Existen indicadores biológicos de exposición a estos metales suficientemente contrastados tanto en salud laboral como ambiental⁴.

Los niveles de plomo en sangre (PbS) de la población general han ido disminuyendo a lo largo de las últimas décadas, debido en parte a la prohibición del uso del plomo en las gasolinas. Así, mientras estudios como el realizado en Italia en los años 90 mostraron valores medianos de 8,6 y de 5,35 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en hombres y mujeres respectivamente⁵, un trabajo reciente de la República Checa presentaba valores medianos un 50% menores, 3,7 y 2,5 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en hombres y mujeres⁶. Un estudio de biomonitorización llevado a cabo en Mataró durante los años 1995, 1997, 1999 y 2002, que estudiaba una población denominada expuesta (residentes en el entorno de una incineradora de residuos urbanos) y varias poblaciones control, residentes a mayor distancia del foco de contaminación, confirmaba esta tendencia, mostrando valores medios en la cuarta fase del estudio, año 2002, de 3,2 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en la población expuesta, de 6,44 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en la población control de Mataró, de 5,55 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en la población control de Arenys de Mar y de 1,87 $\mu\text{g}/100$

ml entre los trabajadores de la planta incineradora⁷. En EEUU, años 2001 y 2002, el CDC mostró valores medianos inferiores, de 1,7 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en hombres y 1,1 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en mujeres respectivamente⁸. La disminución de los niveles de Pb se observa también en un estudio reciente llevado a cabo en Portugal⁹, donde se detectaron valores medianos de 3,9 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en hombres y 2,3 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en mujeres. El plomo ha aparecido ampliamente distribuido en los diferentes grupos de alimentos de la dieta. Los grupos de alimentos que más contribuyen a la ingesta de plomo en el País Vasco son los de frutas, verduras, bebidas alcohólicas, carnes y pescados. La ingesta media semanal de plomo durante el año 2005 en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) se estimó en 4,74 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso. Se ha producido un notable descenso de la ingesta respecto a la estimación anterior, debido a la disminución drástica de las concentraciones observadas en el grupo de las frutas¹⁰.

Un estudio realizado en Suecia¹¹ mostraba valores medios de cadmio urinario (CdU) de 0,27 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina en mujeres y 0,19 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, en hombres, y en EEUU⁸, 0,26 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina en mujeres y 0,17 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina en hombres. Además del consumo del tabaco en la población general, la principal vía de exposición al cadmio se produce a través de la dieta, especialmente los alimentos ricos en fibras, vegetales y patatas. La ingesta de cadmio semanal en la CAPV, correspondiente a 2005 ha sido de 0,93 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso¹⁰. Dos estudios italianos de 1988 y 1997 mostraron valores de cromo urinario (CrU) muy diferentes, con medias aritméticas de 0,51 $\mu\text{g}/\text{L}$ en mujeres y 0,62 $\mu\text{g}/\text{L}$ en hombres¹², el primero, y el segundo con medias geométricas de 0,07 $\mu\text{g}/\text{L}$ en mujeres y 0,09 $\mu\text{g}/\text{L}$ ¹³.

La población general está expuesta al mercurio a través de la dieta, siendo el pescado la principal fuente de metilmercurio, y

a través de las amalgamas dentales¹⁴. En la CAPV, la ingesta de mercurio es elevada, 1,36 µg/día¹⁰, y aunque sólo supone un 27% de la Ingesta Semanal Tolerable Provisional establecida por la OMS, es la mayor de las estimadas en estudios similares de otros países. El pescado constituye la única fuente alimenticia de mercurio en la CAPV. La elevada ingesta de mercurio en la CAPV se relaciona con un consumo muy alto de pescado, 89 g/día¹⁰, similar a la de países consumidores de pescado, como Japón y Noruega¹¹. Un estudio reciente llevado a cabo en Andalucía¹⁵, observaba una correlación significativa con la edad, presentando niveles más elevados de mercurio urinario (HgU) los individuos de mayor edad, así como los individuos con un mayor IMC, lo cual refuerza el potencial acumulativo de este metal.

Apenas existen en España trabajos que evalúen la exposición a metales en población no laboral^{7,15,16}. En 2006 se inició un proyecto de investigación sobre la exposición a contaminantes en poblaciones cercanas y alejadas a una planta de valoración energética de residuos sólidos urbanos (PVERSU) que inició su actividad a pleno rendimiento a mediados de 2005.

El objetivo de este trabajo es conocer los niveles de metales en población no expuesta a fuentes de riesgo concretos, de cara a proporcionar niveles de referencia para una futura evaluación de los niveles de metales tras la puesta en marcha de la planta de tratamiento de residuos urbanos, y saber a qué variables se asocian, con particular interés en la fuente de exposición laboral y en la clase social, como indicador de exposición.

SUJETOS Y MÉTODOS

La población objetivo del estudio vino condicionada por el interés en evaluar la exposición de la población general a los

posibles contaminantes procedentes de una PVERSU, que incluía la cuantificación de dioxinas y otros compuestos organoclorados, además de los metales.

Zonas de estudio: Se establecieron cuatro zonas de estudio, en función de la proximidad a la PVERSU y a la contaminación urbana, industrial o debida al tráfico. Se consideró como grupo expuesto el municipio de Alonsotegi (Zona A) y un barrio de Bilbao (Altamira-Rekalde) (Zona B), elegidos por su proximidad a la PVERSU, situados ambos dentro de un radio de 2 Km desde la PVERSU y ambos con contaminación de tipo urbano y tráfico denso. El municipio de Alonsotegi presenta además contaminación de tipo industrial, procedente de una coquería, principalmente. Como zonas no expuestas se eligieron un barrio de Bilbao alejado de la planta, a 5 Km, y de sus vientos prevalentes y con contaminación de origen urbano y con tráfico denso (Santutxu-Zurbaran) (Zona C) y un pequeño municipio alejado de la planta, a 20 Km, con baja contaminación industrial y baja densidad de tráfico (Balmaseda) (Zona D).

Estrategia de muestreo: Se estableció como objetivo para el estudio de dioxinas la captación de un mínimo de 80 personas de cada zona, 320 en total. Se remitió, para ello, una carta informando de los objetivos del estudio a 120 personas de cada zona obtenidas, mediante muestreo aleatorio sistemático con arranque aleatorio y estratificado por género y edad, del censo cedido por los ayuntamientos implicados (60 hombres y 60 mujeres) y, a su vez, que 60 tuvieran de 20 a 44 años y otros 60 de 45 a 69 años. Se telefoneó a estos individuos invitándoles a participar en el estudio. Para completar el número de sujetos del estudio, se recurrió en segunda instancia a voluntarios del barrio o municipio y, por último, a pacientes sin patología hepática o renal que acudían al centro de salud a realizar análisis. Se excluyó del estudio a los individuos

que no hubieran residido en el municipio al menos durante 5 años y los que trabajaran en una incineradora, en fundiciones o acerías, en centrales térmicas y en empresas de blanqueo de papel. Del conjunto de la muestra para el estudio de dioxinas se obtuvo de manera aleatoria para la determinación de metales una submuestra con un mínimo de 90 individuos; tamaño obtenido a partir de la desviación típica para el plomo en sangre total de 17 µg/100 ml, obtenida de otros estudios, con un error α del 5% y una potencia del 80%, para detectar como significativas diferencias de 10 µg/100 ml entre la zona expuesta y la no expuesta, o entre los dos géneros o los dos grupos de edad.

Análisis de laboratorio: se extrajo una muestra de sangre venosa para determinación de plomo en sangre total y otra de orina para determinar cromo, cadmio y mercurio urinarios de los 95 individuos participantes, 49 mujeres y 46 hombres. Dos muestras de orina no pudieron obtenerse por la negativa de los participantes. Las muestras fueron tomadas, tratadas, almacenadas y transportadas en las condiciones establecidas por el laboratorio de Higiene del Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales – OSALAN, siguiendo los siguientes procedimientos analíticos: PbS: método de espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito. (Norma UNE 82590-92). CdU: Método de espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito. (AC/LV-CD-01). CrU: Método de espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito. (MTB-MB-018/A94). HgU: Método de vapor frío con borohidruro de sodio. Espectrofotometría de absorción atómica. (Norma UNE 81595-98). Los límites de detección fueron PbS: 1,5 µg/100 ml, CdU: 0,05 µg/L, CrU: 0,2 µg/L, HgU: 0,2 µg/L. Todos los valores urinarios se corrigieron por creatinina para minimizar el efecto del aclaramiento renal. Método de análisis: cromatografía líquida con detec-

ción ultravioleta. (HPL/UV-CRE-01). No se consideraron adecuadas para los objetivos del estudio muestras de orina muy diluidas (creatinina <0,3g/L) o muy concentradas (creatinina >3,0g/L). Se eliminó del análisis estadístico una muestra de CrU perteneciente a un hombre de 29 años, dedicado a la enseñanza y fumador, perteneciente a la Zona C, debido a que presentaba un valor extremo de 5,80 µg/g creatinina, con una excesiva influencia en el análisis estadístico.

Variabes de estudio: A todos los participantes se les realizó una entrevista, realizada por un único entrevistador, durante la cual se recogió información mediante cuestionario sobre variables antropométricas, incluido el índice de masa corporal (IMC): peso/talla², que a su vez se categorizó en tres grupos: IMC <25: sin sobrepeso ponderal; 25<IMC<30: sobrepeso y IMC ≥30 obesidad¹⁷, variables socioeconómicas, exposición laboral actual o última, que se codificó siguiendo la Clasificación Nacional de Ocupaciones (CNO)¹⁸; la actividad económica de la empresa codificada según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE)¹⁹, historia reproductiva y de lactancia, consumo de tabaco y consumo de alimentos de huertas locales. A partir de la CNO se creó la variable clase social²⁰ estableciéndose 5 categorías: I) Directivos de la administración pública y de empresas de 10 o más asalariados y profesiones asociadas a titulaciones de 2º o 3º ciclo; II) Directivos de empresas con menos de 10 asalariados; profesionales asociados a una titulación del 1º ciclo universitario; técnicos y profesionales de apoyo; artistas y deportistas; III) Empleados de tipo administrativo y profesionales de apoyo a la gestión administrativa y financiera; trabajadores de los servicios profesionales y de seguridad; trabajadores por cuenta propia y supervisores de trabajadores manuales; IV) Trabajadores manuales cualificados y no cualificados y V) Trabajadores no cualificados.

Análisis estadístico: Se asignó la mitad del límite de detección para cada uno de los metales, previo a su corrección por creatinina para CdU, CrU, HgU, a los casos con valores indetectables. Se obtuvieron las medias aritméticas, desviaciones estándar aritméticas, medias geométricas, desviaciones estándar geométricas, medianas y percentil 95 para las diferentes zonas, para género y para los dos grupos de edad. Para contraste de hipótesis con variables discretas se utilizó la prueba de la χ^2 . Cuando se compararon las medias de una variable con dos categorías, edad o género, se contrastó la hipótesis nula mediante la prueba de la t de Student. Cuando la variable a analizar presentaba más de dos categorías, la zona, se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA) de una vía. Para evaluar qué variables se asociaban de manera significativa con los metales, anulando la posible confusión existente en los datos, se utilizaron sendos modelos de regresión lineal múltiple. En cada modelo se introdujeron todas las variables y fueron extrayéndose una a una según el método parsimonioso, hasta obtener el modelo saturado. Las variables utilizadas en la selección de la muestra, zona, edad y género se mantuvieron en el modelo. Dada la colinealidad entre las variables clase social y ocupación se obtuvieron dos modelos para cada variable dependiente, el primero manteniendo la clase social y el otro introduciendo las ocupaciones, la CNO a dos dígitos, que se asociaban a la variable dependiente. Se calculó el coeficiente de determinación para expresar la varianza explicada por el modelo. El análisis estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS versión 14.0.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra las características de los participantes en el estudio en relación con la zona de procedencia. Se observaron

diferencias significativas entre las zonas respecto al nivel de estudios, con mayor nivel de estudios en la Zona C, y el consumo de productos de huertas locales, con menor.

En 29 casos, un 30,5%, la plumbemia no fue detectable. La media observada fue de 2,68 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ (Tabla 2). No se observaron diferencias significativas en relación con la zona de residencia; media Zona A: 3,35; Zona B: 2,65; Zona C: 2,56; Zona D: 2,05 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ($p= 0,2233$). Los individuos de 45 a 69 años mostraron una media de 2,68 frente a 1,45 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ en los de 20 a 44 años ($p= 0,0006$). En 7 casos, un 7,5%, el CdU no se pudo detectar. La media de CdU fue de 0,54 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina. El CdU medio en mujeres fue de 0,62 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina y de 0,45 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina en los hombres ($p= 0,1096$). Por edades, la media de CdU en adultos jóvenes (20-44 años) fue de 0,32 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, mientras que en los de mayor edad (45-69 años) fue de 0,42 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina ($p= 0,0811$). Tampoco se observó diferencias en el CdU respecto a la zona de estudio; media Zona A: 0,47; Zona B: 0,63; Zona C: 0,45; Zona D: 0,62 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina ($p= 0,4742$). En 35 individuos, un 37,6%, el CrU no fue detectable. El CrU medio observado fue de 0,51 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina. Se observaron diferencias significativas en relación con la zona geográfica de estudio, observándose valores de CrU más elevados en las zonas control C y D; media Zona A: 0,34; Zona B: 0,34; Zona C: 0,66; Zona D: 0,72 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina ($p< 0,0001$). Un 23,7% de los participantes, 22 individuos, presentaron valores de HgU por debajo del límite de detección. El HgU medio observado fue de 0,65 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina, mostrando valores medios superiores las mujeres que los hombres; 0,84 vs 0,45 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina ($p= 0,0008$). No se observaron diferencias significativas en relación con las zonas de estudio; media Zona A: 0,70; Zona B: 0,51; Zona C: 0,48; Zona D: 0,83 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina ($p< 0,1301$).

Tabla 1

Características sociodemográficas de la muestra según las cuatro zonas del estudio

Variable		Zona				P
		A	B	C	D	
Género	Hombre	14	10	11	11	0,9498
	Mujer	15	9	11	14	
Edad	20-44	14	9	11	11	0,9801
	45-69	15	10	11	14	
Estudios	Sin estudios	0	0	0	0	0,0018
	Graduado escolar (ESO)	11	11	5	11	
	Bachiller	10	4	8	8	
	Titulado medio	6	3	5	3	
	Titulado superior	2	1	4	3	
Activ. Laboral	Trabajador en activo	18	10	13	15	0,516
	Trabajador en paro	2	2	1	0	
	Pensionista-jubilado	7	4	3	3	
	Estudiante	1	0	1	0	
	Ama de casa	1	3	4	7	
Clase social	I	2	1	2	1	0,221
	II	3	2	6	0	
	III	6	4	3	11	
	IV	8	5	4	8	
	V	10	7	7	5	
Actividad Económica de la Empresa (Grupos de CNAE*)	Agricultura, industria: de 01 a 26	1	1	0	1	0,075
	Metalurgia: de 27 a 29	6	1	2	0	
	Fabricación de maquinaria, vehículos, equipos, muebles: de 30 a 41	1	0	0	2	
	Construcción: 45	0	1	0	1	
	Comercio: de 50 a 55	3	3	0	7	
	Transporte: de 60 a 64	4	1	1	1	
	Actividades financieras: de 65 a 74	3	1	4	4	
	Actividades sanitarias: de 75 a 99	9	8	10	3	
Ocupación Laboral (Grupos de CNO*)	2 dirección-gerencia, técnicos, profesiones con titulaciones universitarias	5	3	7	1	0,742
	3 técnicos y profesionales de apoyo	3	0	1	2	
	4 administrativos	2	2	3	4	
	5 comercio-restauración	4	2	2	3	
	7 trabajadores cualificados	4	4	2	4	
	8 montadores-operadores	4	2	0	2	
	9 trabajadores no cualificados	5	3	2	2	
Tabaco	No	22	16	16	16	0,4981
	Si	7	3	6	9	
Consumo productos de huerta local	No	12	17	21	17	0,0000
	Si	17	2	1	8	
	No	12	17	21	17	0,0031
	Nunca/casi nunca	3	1	1	3	
	Mensualmente	9	1	0	3	
	Semanalmente o con mayor frecuencia	5	0	0	2	
Masa Corporal	Sin exceso ponderal, IMC<25	12	6	7	12	0,4976
	Sobrepeso, IMC 25-29	9	8	11	11	
	Obesidad, IMC 30	8	5	4	2	

* Las variables CNAE y CNO incluyen a todos los individuos salvo estudiantes y amas de casa.

Tabla 2

Metales pesados vs zonas de estudio, género y edad

Biomarcador	Parámetro ^a	Zona				p	Género		p	Edad		p
		A	B	C	D		Hombre	Mujer		20-44	45-69	
PbS ^b	N	29	19	22	25		46	49		45	50	
	Me	2,40	2,10	1,95	0,75		2,20	2,00		1,60	2,60	
	P95	10,02	6,15	6,84	5,14		7,13	6,04		4,80	8,16	
	MG	2,64	1,94	1,89	1,46	0,0906	2,20	1,77	0,1707	1,48	2,54	0,0006
	DEG	1,97	2,31	2,20	2,21		2,25	2,14		1,96	2,23	
	MA	3,35	2,65	2,56	2,05	0,2233	3,04	2,35	0,1488	1,88	3,41	0,0010
	DEA	2,81	2,01	2,14	1,91		2,66	1,88		1,45	2,68	
CdU ^c	N	28	19	21	25		45	48		44	49	
	Me	0,32	0,40	0,39	0,38		0,30	0,50		0,30	0,40	
	P95	1,01	1,62	1,21	1,49		1,34	1,41		1,22	1,51	
	MG	0,36	0,44	0,29	0,39	0,5410	0,31	0,42	0,0710	0,32	0,42	0,0945
	DEG	2,17	2,54	2,88	2,84		2,43	2,68		2,47	2,65	
	MA	0,47	0,63	0,45	0,62	0,4742	0,45	0,62	0,1096	0,44	0,62	0,0811
	DEA	0,33	0,59	0,40	0,62		0,46	0,51		0,35	0,58	
CrU ^c	N	28	19	20	25		44	48		43	49	
	Me	0,25	0,24	0,60	0,80		0,34	0,40		0,45	0,36	
	P95	0,85	1,1	1,1	0,97		0,98	1,12		1,04	1,03	
	MG	0,28	0,26	0,54	0,67	0,0000	0,39	0,42	0,8967	0,44	0,38	0,1951
	DEG	1,85	2,02	1,94	1,51		2,05	2,08		2,03	2,04	
	MA	0,34	0,34	0,66	0,72	0,0000	0,49	0,53	0,5445	0,56	0,47	0,2559
	DEA	0,26	0,31	0,42	0,24		0,32	0,38		0,39	0,31	
HgU ^c	N	28	19	21	25		45	48		44	49	
	Me	0,62	0,30	0,39	0,50		0,32	0,59		0,43	0,39	
	P95	1,62	1,4	1,01	2,22		1,09	2,22		1,78	2,01	
	MG	0,53	0,34	0,41	0,54	0,1544	0,35	0,60	0,0008	0,45	0,47	0,7001
	DEG	2,18	2,33	1,73	2,68		1,98	2,36		2,18	2,36	
	MA	0,70	0,51	0,48	0,83	0,1301	0,45	0,84	0,0009	0,61	0,68	0,5760
	DEA	0,51	0,59	0,26	0,78		0,35	0,68		0,51	0,64	

a: Parámetro: N: frecuencia, Me: mediana, P95: percentil 95, MG: media geométrica, DEG: desviación estándar geométrica, MA: media aritmética, DEA: desviación estándar aritmética.

b: Plomo en sangre en µg/100 ml.

c: Cadmio, Cromo y Mercurio urinarios en µg/g creatinina.

El modelo de regresión lineal para el PbS mostró (Tabla 3), tras el ajuste por los distintos factores introducidos en el modelo, que la edad incrementaba los niveles de PbS. Las personas que consumían productos de huerta de la zona mostraron un incremento en los niveles de plumbemia respecto a los no consumidores, diferencia que dejó de ser significativa tras el ajuste por la ocupación. La clase social no mostró asociación con el PbS. Cuatro ocupaciones mostraron niveles más elevados del PbS; operadores de máquinas fijas, soldadores-chapistas,

mecánicos-ajustadores y técnicos en ciencias. El modelo que incluía la clase social explica el 29,4% de la variabilidad, mientras que el que incluye la ocupación explica el 45,9% de la misma.

La edad elevaba los niveles de CdU. Las clases sociales más altas, clases I y II, mostraron valores más elevados de CdU, con coeficientes de 0,53 µg/g creatinina (IC 95%: 0,10-0,96) y 0,64 µg/g creatinina (IC 95%: 0,30-0,99) respectivamente. El consumo de tabaco elevaba los niveles de CdU. Las ocupaciones que mostraron niveles más

Tabla 3

Influencia de las diferentes variables en la concentración de metales analizados

Variable	PbS (n=95)			CdU (n=93)			CrU (n=92)			HgU (n=93)		
	Beta ^a	IC95% LI ^b	IC95% LS ^c	Beta	IC95% LI	IC95% LS	Beta	IC95% LI	IC95% LS	Beta	IC95% LI	IC95% LS
Coefficiente de determinación	R= 0,294			R=0,238			R= 0,431			R= 0,190		
(Constante)	-0,54	-2,53	1,46	-0,04	-0,49	0,40	0,40	0,23	0,57	0,92	0,61	1,23
Zona B	-0,08	-1,39	1,23	0,21	-0,06	0,48	0,01	-0,16	0,18	-0,18	-0,51	0,14
Zona C	0,03	-1,29	1,34	-0,11	-0,38	0,16	0,27	0,11	0,44	-0,26	-0,58	0,06
Zona D	-0,88	-2,08	0,31	0,15	-0,11	0,41	0,39	0,23	0,55	0,14	-0,17	0,46
Edad	0,06	0,03	0,10	0,01	0,00	0,02	0,00	-0,13	0,12	0,05	-0,18	0,29
Género	0,73	-0,16	1,61	-0,25	-0,46	-0,05	0,02	-0,11	0,15	-0,35	-0,58	-0,11
Clase social I	0,18	-1,70	2,06	0,53	0,10	0,96	-0,12	-0,38	0,14	-0,04	-0,47	0,54
Clase social II	-0,54	-2,09	1,01	0,64	0,30	0,99	0,34	0,12	0,56	0,02	-0,39	0,43
Clase social III	-0,97	-2,16	0,21	0,08	-0,18	0,35	0,00	-0,17	0,16	-0,11	-0,43	0,21
Clase social IV	0,19	-1,00	1,38	0,22	-0,05	0,48	0,04	-0,13	0,21	-0,19	-0,51	0,13
Productos de huerta local	1,35	0,28	2,42									
Tabaco (sí/no)				0,23	0,00	0,46						
IMC 25-29							-0,14	-0,29	0,01			
IMC = 30							-0,21	-0,38	-0,03			
Coefficiente de determinación	R ² =0,459			R ² =0,223			R ² =0,507			R ² =0,240		
(Constante)	0,013	-1,56	1,58	0,36	-0,05	0,78	0,38	0,24	0,51	0,66	0,22	1,11
Zona B	-0,00	-1,10	1,10	-0,09	-0,36	0,17	0,00	-0,16	0,15	-0,13	-0,44	0,19
Zona C	0,11	-0,95	1,16	0,21	-0,04	0,47	0,27	0,12	0,43	-0,18	-0,48	0,12
Zona D	-0,47	-1,49	0,56	0,00	-0,01	0,01	0,39	0,25	0,54	0,15	-0,14	0,44
Edad	0,05	0,02	0,08	-0,18	-0,37	0,02	0,00	-0,11	0,12	0,00	-0,00	0,01
Género	-0,05	-0,03	0,08	-0,12	-0,30	0,07	0,07	-0,04	0,19	-0,41	-0,63	-0,19
CNO 22: Profesor				0,53	0,16	0,89						
CNO 27: Enfermera				0,57	0,08	1,05	0,74	0,46	1,02			
CNO 30: Técnico ciencias	5,51	1,83	9,18							1,47	0,40	2,54
CNO 75: Soldador, chapista	3,66	1,42	5,89									
CNO 76: Mecánico, ajustador	2,38	0,38	4,39	0,61	0,10	1,12						
CNO 83: Operador de máquinas fijas	8,78	5,09	12,47									
IMC 25-29							-0,14	-0,28	-0,01			
IMC = 30							-0,19	-0,35	-0,03			

Modelos de regresión múltiple para Pb en sangre ($\mu\text{g}/100\text{ ml}$), Cd, Cr y Hg urinarios ($\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina) incluyendo zona, género, edad y otras variables asociadas, más la clase social, el primero, y las ocupaciones significativamente asociadas, el segundo.

a: Coeficiente de regresión.

b: Límite inferior del intervalo de confianza al 95%.

c: Límite superior del intervalo de confianza al 95%.

elevados del CdU fueron la de profesor, enfermera, y mecánico-ajustador. El modelo que incluía la clase social mejora en un 1,5% el coeficiente de determinación respecto al modelo con las ocupaciones (tabla 3).

La zona geográfica se asoció a los niveles de cromo urinario, tras el ajuste por las demás variables analizadas; las zonas C y D, zonas definidas como no expuestas, presentaron cromurias superiores a la zona A.

La clase social II presentaba niveles de CrU superiores a la clase social V. La única ocupación que mostraba incremento de CrU fue la de enfermera. Por último, el IMC se asoció de forma inversa a la excreción urinaria de cromo, presentando los individuos sin exceso ponderal niveles más elevados de CrU. El modelo con la ocupación mejorada, respecto al de clase social, en un 7,6% la capacidad de predicción de la variable dependiente (tabla 3).

Las mujeres mostraron un incremento de la excreción de HgU en el modelo de regresión lineal múltiple. La única ocupación que elevaba el HgU fue la de técnico en ciencias. El resto de los factores analizados no modificaban significativamente los valores de mercurio urinario. El coeficiente de determinación del modelo que incluye la ocupación es un 5% mayor que el que incluye la clase social (Tabla 3).

DISCUSIÓN

Este estudio muestra una media de plomo en sangre de población adulta de 2,68 µg/100 ml. La media geométrica y la mediana presentaban valores sensiblemente inferiores. Un 30,5% de individuos con valores inferiores al límite de detección. Estos valores son claramente inferiores a los referidos en los trabajos realizados antes de la prohibición del Pb en la gasolina⁵. Son ligeramente inferiores a los realizados en Cataluña⁷ República Checa⁶ y Portugal⁹, aunque más altos que los de EEUU⁸. Los valores de Pb de este estudio se encuentran por debajo de los establecidos como referencia para la salud por la Human Biomonitoring Commission²¹ para hombres y mujeres de la población general, 9,0 µg/100 ml y 7,0 µg/100 ml respectivamente, lo cual sugiere que no hay un aumento del riesgo para los sujetos de las áreas estudiadas en relación al Pb. Las zonas consideradas como expuestas en este estudio no presentaron niveles medios

de plomo más altos que las zonas control. Así, la edad se asoció a incrementos en los niveles de plomo en sangre independientemente del género o de otras variables. Esta asociación fue observada en numerosos estudios llevados a cabo en Tarragona¹⁶, Italia^{5,22,23,24}, República Checa⁶ y EEUU⁸. Los niveles en sangre de plomo en los diferentes estudios han resultado más elevados en hombres que en mujeres^{5,6,8,9,22--27}. En este estudio, las medias crudas de plomo en sangre no eran significativamente más altas en hombres que en mujeres, y al ajustar por ocupación se reducía aún más la diferencia observada. Los trabajadores de mano de obra directa de la industria metalúrgica, soldadores, ajustadores, mecánicos y operadores de máquinas fijas, presentan mayores niveles de plumbemia que el resto de los participantes, explicable como consecuencia de la exposición laboral a este metal³. También los técnicos en ciencias muestran un incremento significativo, aunque no es probable la exposición a este metal en esta profesión. Se observaron mayores niveles de plumbemia en personas que consumen productos de huerta de su municipio, pero esta diferencia pierde su significación al ajustar por ocupación. Niveles superiores de Pb y Cd han sido descritos en población residente en zonas contaminadas del área metropolitana de Bilbao en relación a residentes en zonas no contaminadas, indicándose que el consumo de productos de huerta locales y los propios niveles de contaminantes del suelo podrían ser la causa de dicho incremento²⁸. Por otro lado, el incremento del coeficiente de determinación del 16,5% observado al incluir las ocupaciones sugiere que en la población de estudio la exposición laboral tiene aún un peso considerable. Al contrario que en anteriores estudios^{5,6,16,22,24}, en este trabajo el consumo de tabaco no elevaba de manera significativa los niveles de PbS. Este estudio no analizó la ingesta de alcohol, aunque dicha asociación ha sido constatada para ambos géneros^{5,16,22,24}.

Un 7,5% de los individuos presentaba niveles de CdU indetectables. Tampoco respecto al CdU se observaron diferencias significativas entre las diferentes zonas del estudio. Los valores medios o medianos de cadmio en orina observados en hombres y mujeres respectivamente, son muy similares a los aportados por otros estudios recientes de la República Checa⁶ o de gran Bretaña²⁹, aunque son superiores a los observados en Suecia¹¹ y en EEUU⁸. En nuestro estudio las mujeres presentaron niveles medios de cadmio en orina más elevados que los hombres, 0,62 µg/g creatinina en mujeres y 0,45 µg/g creatinina en hombres, aspecto que se repite en la literatura científica^{6,8,11,29}. Una posible explicación a los elevados niveles de cadmio en las mujeres es que su absorción aumenta a medida que los niveles de hierro disminuyen²⁷. El aumento de los niveles de CdU con la edad, independientemente del sexo, observado en este estudio fue también previamente descrito¹¹. Asimismo, este estudio muestra que las personas de clases sociales más elevadas, clases I y II, presentan niveles de cadmio en orina más elevados con respecto a las clases más bajas, hecho que podría explicarse por su mayor consumo de productos de origen vegetal³⁰. También es conocido que el consumo de tabaco aumenta los niveles de cadmio en orina^{10,15,29}, asociación que en nuestro estudio pierde su significación al ajustar por ocupación. Las profesiones que muestran un incremento del CdU, además de la de mecánico-ajustador, fueron la de profesor y enfermera. Es difícil relacionar estas dos ocupaciones con exposiciones laborales, pudiendo, más bien, tratarse de aportes ambientales, alimentarios, principalmente.

Un 37,6% de los individuos presentaba valores de CrU inferiores al límite de detección. Los valores observados en este estudio se encuentran dentro del intervalo observado en dos estudios italianos^{12,13}. Se observa un exceso en la excreción de cromo urinario en las zonas control, no

explicable por el género o la edad u otros factores analizados. La clase social se relacionó, en nuestro estudio, con la excreción de cromo urinario, siendo la clase II la que mostraba niveles más elevados. La única ocupación asociada a una mayor excreción de CrU fue la de enfermera. Pensamos que podría tratarse asimismo el reflejo de una exposición medioambiental, posiblemente alimentaria. El sobrepeso y la obesidad se asociaron a niveles bajos de cromo en orina, mostrando un claro gradiente. Esta observación no ha sido recogida por otros estudios. Desconocemos su posible interpretación. En un estudio de seguimiento de la población residente en el entorno de una PVERSU llevado a cabo en Mataró⁷, los niveles de cromo urinario en la cuarta fase del estudio, año 2002, fueron más elevados en la población expuesta a la PVERSU que en la no expuesta.

En el 23,7% de los casos no se detectó HgU. Se desconoce la causa de la mayor concentración de Hg en la orina de las mujeres, que se mantiene tras el ajuste por otras variables, sugiriendo que podría deberse a diferencias en la alimentación o a una mayor presencia de amalgamas¹⁴ en las mujeres, aspectos no investigados en este estudio. Esta misma asociación con el género se observa en estudios recientes^{6,8}. No se observan diferencias entre las zonas definidas como expuestas respecto a las zonas control. A pesar del alto consumo de pescado en esta Comunidad Autónoma¹⁰, los valores de mercurio en este estudio son inferiores a los descritos en otros estudios^{6,7,14,29}.

En nuestro estudio, la inclusión de ocupaciones en el modelo de regresión predecía un 5% más la variabilidad del HgU respecto al modelo con la clase social, lo que podría sugerir que la exposición es de tipo laboral. Sin embargo, la única ocupación que mostraba incremento del HgU era la de técnico en ciencias, por lo que resulta más verosímil que la exposición haya sido de

tipo ambiental, por vía alimentaria. Otras fuentes de exposición de metales como el agua de consumo no son relevantes dado que los niveles de dichos metales en el agua de consumo se encuentran muy por debajo de los niveles establecidos por la legislación española y europea (Informe de Salud Pública 2006) y el consumo de agua procedente de manantiales o pozos propios es anecdótico en toda la Comunidad Autónoma del País Vasco³¹

En síntesis, los niveles de plomo en sangre y los niveles de cadmio, cromo y mercurio en orina de este estudio son similares o inferiores a los mostrados en estudios realizados anteriormente^{5,18,19,27}, encontrándose dentro de los límites admisibles y no sugiriendo niveles de contaminación elevados. No hay mayor grado de exposición a metales en las zonas definidas como expuestas, respecto a las zonas control. La edad se asocia a incrementos de los niveles de plomo en sangre y cadmio en orina. Las mujeres muestran niveles de cadmio urinario y mercurio urinario más elevados que los hombres. La clase social se relaciona con la excreción de cromo y cadmio urinario, siendo las clases altas las que muestran niveles más elevados. Los trabajadores metalúrgicos de mano de obra directa presentan mayores niveles de plumbemia que el resto de los individuos. La vía de exposición al Cd, Cr y Hg más importante podría ser la alimentaria, puesto que no se observan mayores niveles de biomarcadores en las zonas de mayor contaminación y que las ocupaciones asociadas a mayores niveles no suponen contacto con los metales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean manifestar su agradecimiento a Zabargarbi S.A., entidad propietaria de la planta de valorización energética de residuos urbanos sin cuya colaboración desinteresada no hubiera sido posible la

realización de este estudio. Asimismo, agradecer la ayuda recibida por parte del personal técnico de las diferentes instituciones implicadas y en especial a todos los participantes que amablemente aceptaron tomar parte en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. IARC. Cadmium and cadmium compounds. En: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 58, beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1993.
2. IARC. Chromium and chromium compounds. En: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 49, Chromium, Nickel and Welding. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 1990.
3. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin 2003; 68:167-182.
4. Lauwerys RR, Hoet P. Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring. 3rd ed. Boca Raton: Lewis Publishers; 2001.
5. Menditto A, Chiodo F, Patriarca M, Morisi G. Esposizione al piombo: Valutazione del rischio per la popolazione generale italiana negli anni '90. Ann Ist Super Sanita 1998; 34:27-39.
6. Batáριοva A, Spevackova V, Benes B, Cejchanová M, Smíd J, Cerná M. Blood and urine levels of Pb, Cd and Hg in the general population of the Czech Republic and proposed reference values. Int J Hyg Environ Health 2006; 209:359-366.
7. Serra-Prat M, Gadea E, Rivera J, Bosch A, Puig Domingo M. Monitorizació dels nivells de dioxinas PCDD, furans PCDF, policlorats bifenils PCBs i metalls pesants Pb, Cd, Cr, Hg a les poblacions de Mataró i Arenys de Mar. Mataró: 2004.
8. Third National Report on Human exposure to Environmental Chemicals. Department of Health and Human Services. Centers of Disease Control and Prevention 2005.
9. Reis MF, Sampaio C, Brantes A, Aniceto P, Melim M, Cardoso L, *et al.* Human exposure to heavy metals in the vicinity of Portuguese solid waste incinerators. Part I: Biomonitoring of Pb, Cd and Hg in blood of the general population. Int J Hyg Environ Health 2007; 210:439-446.

10. Departamento de Sanidad, Gobierno Vasco. Informe 2006 de Salud Pública. Vitoria-Gasteiz, 2008. pp 51. Disponible en: http://www.osasun.ejgv.euskadi.net/r52-20737/es/contenidos/informacion/informe_saludpublica/es_4041/informe_salud_publica_c.html
11. Olsson I-M, Bensryd I, Lundh T, Ottosson H, Skerfving S, Oskarsson A. Cadmium in blood and urine-impact of sex, age, dietary intake, iron status and former smoking-association of renal effects. *Environ Health Perspect* 2002; 110:A764-5.
12. Minoia C, Apostoli P, Maranelli G, Balde C, Pozzoli L, Capodaglio E. Urinary chromium levels in subjects living in two north Italy regions. *Sci Total Environ* 1988; 71:527-531.
13. Apostoli P, Maranelli G, Duca PG, Bavazzano P, Bortoli A, Cruciatti A, *et al.* Reference values of urinary chromium in Italy. *Int Arch Occup Environ health* 1997; 70:173-179.
14. Montomolli L, Sisinni AG, Cioni F, Barabesi L, Gilberto ME, Festa D, *et al.* Valutazione delle fonti di assorbimento di mercurio tramite lo studio dei livelli di mercurio urinario della popolazione generale. *Med Lav* 2002; 93:184-188
15. Gil F, Capitán-Vallvey LF, De Santiago E, Ballesta J, Pla A, Hernández AF, *et al.* Heavy metal concentrations in the general population of Andalusia, South of Spain. A comparison with the population within the area of influence of Aznalcóllar mine spill. *Sci Total Environ* 2006; 372:49-57.
16. Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Corbella J. Lead concentration and δ -aminolevulinic acid dehydratase activity in the blood of the general population of Tarragona Province, Spain. *Sci Total Environ* 1992; 116:253-259.
17. World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report of a joint FAO/WHO Expert consultation-WHO Technical Reports Series 916. Geneva: WHO; 2003.
18. Instituto Nacional de Estadística. Clasificación Nacional de Ocupaciones 1994 CNO-94. Madrid, 1994.
19. Instituto Nacional de Estadística. Clasificación Nacional de Actividades Económicas 1993 CNAE-93. Madrid, 1993.
20. Alvarez Dardet C, Alonso J, Domingo A, Regidor E (Grupo de trabajo de la Sociedad Española de Epidemiología). Medición de la clase social en ciencias de la Salud. SG Editores, Barcelona, 1995.
21. Ewers U, Krause C, Schulz C, Wilhelm M. Report on the work and recommendations of the Commission on Human Biological Monitoring of the German Federal Environmental Agency. *Int Arch Occup Environ health* 1999; 72:255-260.
22. Morisi G, Patriarca M, Carrieri MP, Fondi G, Taggi F. Lead exposure:Assessment of the risk for the general Italian population. *Ann Ist Super Sanita* 1989; 23:423-436.
23. Roggi C, Minoia C, Silva S, Ronchi A, Gatti A, Maccarini L. Distribuzione della piombemia in una popolazione generale. *Ann Ig* 1995; 7:359-367.
24. Apostoli P, Baj A, Bavazzano P, Ganzi A, Neri G, Ronchi A, *et al.* Blood lead level reference values:the results of an Italian polycentric study. *Sci Total Environ* 2002; 287:1-11.
25. Elinder CG, Friberg L, Lind B, Jawaid M. Lead and cadmium levels in blood samples from the general population of Sweden. *Environ Res* 1983; 30:233-253.
26. Mauras Y, Le Bouil A, Allain P, Mariotte N, Ticket J, Autret E. Étude de la plombémie dans une population de 616 sujets des régions Centre et Pays de Loire. *Presse Med* 1995; 24:1639-1641.
27. Vahter M, Berglund M, Akesson A, Liden C. Metals and Women's Health. *Environ Res* 2002; 88:145-155.
28. Alonso E, Cambra K, Martínez T. Lead and cadmium exposure from contaminated soil among residents of a farm area near an industrial site. *Arch Environ Health*, 2001; 56: 278-282.
29. Levy LS, Jones K, Cocker J, Assem FL, Capleton AC. Background levels of key biomarkers of chemical exposure within the UK general population. Pilot study. *Int J Hyg Environ Health* 2007; 210:387-391.
30. Jalón, M Urieta, I Macho ML, Azpiri M. Vigilancia de la Contaminación Química de los Alimentos en la Comunidad Autónoma del País Vasco: 1990-1995. Servicio central de publicaciones. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, 1997.
31. Instituto Vasco de Estadística. Censo de población y vivienda 2001. Vitoria-Gasteiz: EUSTAT-Instituto Vasco de Estadística; 2005. [citado julio de 2008]. Disponible en: www.eustat.es/bancopx/spanish/Establecimientos%20y%20viviendas/Viviendas/Viviendas.asp