

# CONTAMINACION AMBIENTAL POR CADMIO EN UNA CIUDAD METALURGICA

*Augusto V. Ramírez<sup>1</sup>*

## INTRODUCCION

En La Oroya, ciudad de 40 000 habitantes localizada a 3 800 m sobre el nivel del mar, en los Andes centrales del Perú, se encuentra un centro metalúrgico en el que se produce principalmente, en orden decreciente, cobre, plomo, zinc, plata, oro, telurio, cadmio, indio, ácido sulfúrico y trióxido de arsénico. Se estima que las emisiones de sólidos, vapores y humos provenientes de la chimenea de su fundición alcanzan, en un radio aproximado de 2 km, un promedio de 10 toneladas diarias, sin contar las que discurren al río Mantaro que circunda la ciudad. Además, se han detectado cifras altas de contaminación ambiental por cadmio a una distancia de hasta 10 km de la chimenea central de la fundición.

El cadmio (Cd, número atómico 48, masa atómica 111,40), se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo. Se usa en aleaciones por su resistencia a la corrosión, y para la fabricación de pigmentos y de acumuladores eléctricos; en la industria se obtiene a partir de sulfuro de cadmio y en este proceso hay formación de

óxido de cadmio, compuesto sumamente tóxico. En el hombre, los efectos de la exposición al cadmio están bien documentados; es un irritante respiratorio, un tóxico renal y causa también cierto tipo de osteomalacia (1-5).

Como en la fundición el proceso metalúrgico del cadmio es continuo, con una producción de 35 000 libras mensuales, se consideró importante estudiar la exposición prolongada pero no ocupacional al cadmio de la población residente de La Oroya. Para ello se analizaron los niveles de cadmio y de proteína beta 2 microglobulina en la orina y la función ventilatoria pulmonar en un grupo de trabajadores.

## MATERIALES Y METODOS

Entre todos los trabajadores de La Oroya se seleccionaron al azar (6) 40 del sexo masculino, no fumadores, que no laboraban directamente expuestos al cadmio pero que residían un mínimo de seis días por semana en la ciudad y trabajaban en sectores auxiliares

<sup>1</sup> Empresa Minera del Centro del Perú SA. Dirección postal: 212 Inca Hotel. CENTROMIN-PERU, La Oroya, Perú.



Vista panorámica de la fundición de La Oroya, Perú

de la producción y administrativos localizados entre 2 y 5 km de la fundición. En el proceso de selección se excluyó a los que por motivo de trabajo debían ingresar a las instalaciones industriales o cuyo lugar de residencia se encontraba a menos de 1 km de la fundición.

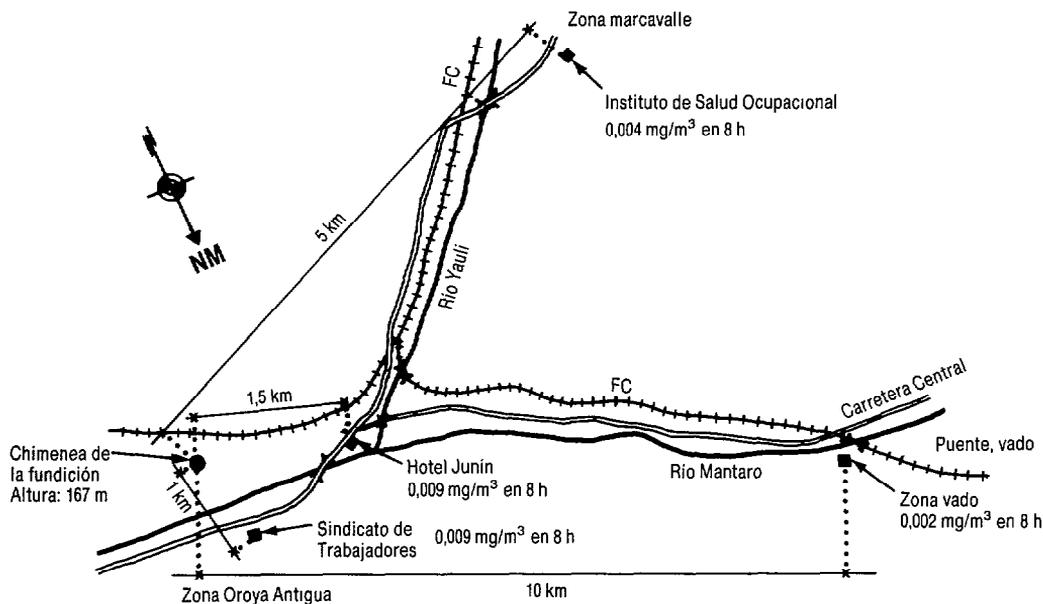
Para la cuantificación del cadmio en la orina se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica después de la extracción (7), y la proteína beta 2 microglobulina se cuantificó mediante el método de Tsuchiya-Biuret (8). Las pruebas funcionales respiratorias se realizaron con un espirómetro electrónico Warren Collins de lectura digital (9, 10). Se midió el pico de flujo espiratorio (PFE) en litros por minuto, el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF<sub>1</sub>) en litros, la capacidad vital forzada (CVF) en litros, y la relación entre VEF<sub>1</sub> y CVF (VEF<sub>1</sub>/CVF) expresada en porcentaje.

En el muestreo del aire se empleó la técnica de recolección continua (11, 12) durante los turnos de trabajo (480 min/turno). Se tomó un promedio de seis muestras por turno en cada uno de los puntos indicados en la figura 1. La temperatura ambiente varió entre 10 y 12 °C durante el día y entre 3 y 6 °C por la noche. Las condiciones meteorológicas fueron variables con lluvias esporádicas.

## RESULTADOS

La edad promedio de los 40 trabajadores fue de 40,1 años y en ningún caso se observaron signos de osteomalacia. La urea en sangre varió entre 15 y 29 mg/% y la hemoglobina osciló entre 136 y 190 g/l. La concentración promedio de cadmio en la orina fue de 4 µg/l, con valores extremos de 2 y 8 µg/l, y las cifras de proteína beta 2 microglo-

FIGURA 1. Concentraciones de cadmio a diferentes distancias de la chimenea de la fundición de La Oroya, Perú



bulina variaron entre 0,5 y 1 mg/l. Los parámetros de la función ventilatoria pulmonar fueron normales (cuadro 1) para no fumadores en el nivel de altitud de residencia (3 800 m). La concentración promedio de cadmio en el ambiente fue de 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas, con valores extremos de 26,7 y 9,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 1 y 10 km de la fundición, respectivamente.

## DISCUSION

Por la naturaleza de su actividad industrial y a pesar de las medidas de seguridad adoptadas, La Oroya es una ciudad con problemas de contaminación. El interés por proteger a la población residente se ha encaminado a mantener dentro de los límites permisibles elementos que contaminan el ambiente en forma más notoria (plomo, arsénico y óxido de azufre) descuidándose el cadmio. Este, con una vida biológica media de 30 años (2), tiene efectos acumulativos y su importancia toxicológica compite con la del plomo y el arsénico.

En el punto de muestreo más cercano, a 1 km de la chimenea de la fundición, se ha encontrado una concentración promedio de cadmio durante ocho horas de 0,009  $\text{mg}/\text{m}^3$  y en el punto más alejado, a 10 km, de 0,002  $\text{mg}/\text{m}^3$  (véase la figura 1). Los límites máximos permisibles recomendados por la OMS para la exposición ocupacional al cadmio oscilan entre 0,1 y 0,2  $\text{mg}/\text{m}^3$  durante ocho horas (13, 14). En la literatura consultada no se encontraron valores máximos establecidos para la exposición no ocupacional, pero estudios realizados en diferentes países proporcionan algunos datos. Las concentraciones medias de cadmio en un estudio realizado en 20 grandes ciudades de los Estados Unidos de América variaron de 0,006 a 0,036  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2). En Nueva York se han informado valores

CUADRO 1. Contaminación ambiental por cadmio en La Oroya, Perú

|                     | Edad (años) | Años de trabajo | Hemoglobina (g/l) | Urea (mg/%)                | Cadmio en orina ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) | Proteína beta 2 microglobulina (mg/l) | PFE (l/min) | CVF (l) | VEF <sub>1</sub> (l) | VEF <sub>1</sub> /CVF (%) |
|---------------------|-------------|-----------------|-------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|-------------|---------|----------------------|---------------------------|
| Media               | 40,1        | 14,4            | 169               | 20,7                       | 4  | 0,7                                   | 451         | 3,89    | 3,47                 | 89,2                      |
| Valores extremos    | 26-60       | 8-30            | 136-190           | 15-29                      | 2-8  | 0,5-1                                 | 406-490     | 3,2-4,8 | 3,0-4,4              |                           |
| Desviación estándar |             |                 |                   |                            | $\pm 4,95$                                 | $\pm 5,95$                            |             |         |                      |                           |
| Error estándar      |             |                 |                   |                            | 0,71                                       | 0,72                                  |             |         |                      |                           |
| Método              |             |                 |                   | Fawcett<br>Scott<br>Searcy | Absorción atómica<br>después de extracción | Tsuchiya-<br>Bluret                   |             |         |                      |                           |

de 0,014 a 0,023  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (15); en 10 ciudades de Polonia se obtuvieron cifras de 0,002 a 0,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (16); en Tokio, las concentraciones medias durante 24 horas variaron de 0,010 a 0,053  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (17); en Estocolmo, se ha informado un promedio semanal de 0,005  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (3). Todos estos valores son notablemente más bajos que los hallados en La Oroya, donde se observaron concentraciones medias de cadmio durante 24 horas de 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con valores extremos de 26,7 y 9,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 1 y 10 km de la fundición, respectivamente.

De igual modo, las concentraciones de cadmio en la orina del grupo estudiado fueron superiores a las informadas en otras ciudades con contaminación ambiental por cadmio. La media de 4  $\mu\text{g}/\text{l}$  de orina es ostensiblemente más alta que la encontrada en otros países. En investigaciones en las que se utilizó el mismo método que en este trabajo, espectrometría de absorción atómica después de la extracción, en Alemania Occidental (4), los Estados Unidos (5) y el Japón se han comunicado valores promedio de cadmio en la orina de 1, 1,59 y 1,07  $\mu\text{g}/\text{l}$ , respectivamente, y en una investigación efectuada en Suecia se encontró una concentración de cadmio de solo 0,25  $\mu\text{g}/\text{l}$  (18).

En cuanto a la proteína beta 2 microglobulina, indicador de toxicidad renal, la media obtenida de 0,7 mg/l también señala exposición al cadmio. Aun cuando hasta la fecha no ha sido posible demostrar la existencia de proteinuria específica por esta causa, todos los investigadores concuerdan en que la proteína beta 2 microglobulina, sin ser específica, se halla siempre aumentada en la orina de los trabajadores expuestos, lo que indica proteinuria de tipo tubular

causada por disminución de la reabsorción de proteína en el túbulo renal (18). Otros autores (19) consideran que el cadmio actúa a nivel renal alterando el catabolismo de las microglobulinas. La cantidad de proteína beta 2 microglobulina que se considera normal es 0,4 mg/l; la media de 0,7 mg/l encontrada en este estudio concuerda con la agresión renal subliminar crónica a la que se encuentra expuesto el grupo, si bien los valores de urea en sangre estuvieron dentro de lo normal (15 a 29 mg/ %).

En sujetos expuestos en forma accidental y brusca a vapores o humos de cadmio se ha encontrado edema agudo de pulmón, mientras que en aquellos expuestos de manera continua se han observado alteraciones enfisematosas (20, 9) que no se manifiestan en sujetos no expuestos ocupacionalmente (21). En el presente estudio no se observaron alteraciones de la función ventilatoria pulmonar, cuyos valores fueron similares a los de sujetos normales no fumadores que residían en el mismo nivel de altitud (10).

## CONCLUSIONES

De los resultados se concluye que:

1. La población de La Oroya está expuesta a niveles significativamente altos de vapores o humos de óxido de cadmio.
2. La cantidad de cadmio encontrada en la orina del grupo estudiado indica acumulación de este elemento en el organismo y, si bien los valores de proteína beta 2 microglobulina fueron superiores a los normales, no se observó toxicidad renal.
3. La función ventilatoria pul-

monar de los sujetos estudiados fue normal.

4. No hubo pruebas radiográficas de osteomalacia.

5. Son necesarios estudios epidemiológicos de mayor amplitud entre residentes de distintos grupos de edad de la ciudad de La Oroya, así como investigaciones sobre las tierras de cultivo que se riegan con el agua del río Mantaro y los productos agrícolas de la zona.

## RESUMEN

En La Oroya, ciudad de 40 000 habitantes localizada a 3 800 m sobre el nivel del mar, en los Andes centrales del Perú, se encuentra un centro metalúrgico cuya fundición es fuente de contaminación ambiental con plomo, arsénico, zinc y cadmio, entre otros elementos. Se han detectado cifras altas de contaminación con cadmio a una distancia de 10 km de la fundición. En el hombre, los efectos de la exposición a los compuestos de cadmio producen trastornos renales y respiratorios, además de causar cierto tipo de osteomalacia. El estudio de 40 trabajadores no expuestos ocupacionalmente al cadmio pero que residían en La Oroya, reveló que la concentración media de cadmio en la orina era de 4  $\mu\text{g/l}$ , con valores extremos de 2 y 8  $\mu\text{g/l}$ . Las cifras de proteína beta 2 microglobulina variaron de 0,5 a 1 mg/l, si bien no se demostraron toxicidad renal, alteración de la función ventilatoria pulmonar, ni signos radiográficos de osteomalacia. Estos resultados se discuten y se comparan con los obtenidos por otros investigadores en diferentes países. Se destaca, por último, la necesidad de realizar estudios epidemiológicos de mayor amplitud entre los residentes de La

Oroya, así como investigaciones sobre las tierras de cultivo y los productos agrícolas de la zona. □

## REFERENCIAS

- 1 Nordberg, G. F. Urinary blood and fecal cadmium concentrations as indices of exposure and accumulation. In: *Proceedings of the 17th International Congress on Occupational Health*. Buenos Aires, 1974.
- 2 Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. F. y Kjellström, T. *Cadmium in the Environment*, 2a. ed. Cleveland, Ohio, CRC Press, 1974.
- 3 Piscator, M. Cadmium toxicity—industrial and environment experience. In: *Proceedings of the 17th International Congress on Occupational Health*. Buenos Aires, 1974.
- 4 Mappes, R. Normaler cadmiumgehalt des urins. *Arbeitsmed Sozialmed Arbeitsbyg* 5(5):142, 1969.
- 5 Imbus, H. R., Cholak, J., Miller, L. H. y Sterling, T. Boron, cadmium, chromium, and nickel in blood and urine. *Arch Environ Health* 6(3):286, 1963.
- 6 Fisher, R. D. Tabelas estatísticas para pesquisa em biologia, medicina y agricultura. São Paulo, Polígono, 1971.
- 7 Pulido, P., Fuwa, K. y Valle, B. L. Determination of cadmium in biological materials by atomic absorption spectrometry. *Anal Biochem* 14(8):393, 1966.
- 8 Tsuchiya, K. Proteinuria of workers exposed to cadmium fumes. The relationship to concentration in the working environment. *Arch Environ Health* 14(7):875, 1967.
- 9 Kazantzis, G. Respiratory function in men casting cadmium alloys. I: Assessment of ventilatory function. *Br J Ind Med* 13(1):30, 1956.
- 10 Ramírez, A. V. Función ventilatoria pulmonar en trabajadores mineros de altura. In: *Actas de las Primeras Jornadas de Medicina y Cirugía de Altura*. La Oroya, Perú, Cuerpo Médico del Hospital General de Chulec, 1978.

- 11 Hanson, N. W. *The Determination of Toxic Substances in the Air*. Cambridge, Massachusetts, Heffer and Sons, 1965.
- 12 Jacobs, M. B. *The Chemical Analysis of Air Pollutants*. New York, Interscience Publishers, 1960.
- 13 Oficina Internacional del Trabajo. *Encyclopedia of Occupational Health and Safety*. Ginebra, 1974.
- 14 NIOSH/OSHA. *Pocket Guide to Chemical Hazards*. Washington, DC, US Department of Health, Education, and Welfare, National Institute for Occupational Safety and Health, US Department of Labor, 1978.
- 15 Kneip, T. J., Eisenbud, M., Strehlow, C. D. y Freudenthal, P. C. Airborne particulates in New York City. *J Air Pollut Control Assoc* 20(3):144, 1970.
- 16 Just, J. y Kelus, J. Cadmium in the air atmosphere of ten selected cities in Poland. *Rocz Panstw Zakl Hig* 22:249, 1971.
- 17 Nagata, R., Hirono, T., Yamazaki, H., Asakuno, K., Nakano, H. y Odaira, T. Air pollution by heavy metals contained in particulate matter in Tokyo. Annual report of the Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection. Citado por Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. F. y Kjellström, T. *Cadmium in the Environment*, 2a. ed. Cleveland, Ohio, CRC Press, 1974.
- 18 Nordberg, G. F., Friberg, L. y Piscator, M. Citado por Friberg, L., Piscator, M. y Nordberg, G. F. *Cadmium in the Environment*, 1a. ed. Cleveland, Ohio, CRC Press, 1971.
- 19 Vigliani, E. C., Pernis, B. y Luisa, A. Études biochimiques et immunologiques sur la nature de la protéinurie cadmique. *Med Lav* 57:322, 1966.
- 20 Bonnell, J. A. Emphysema and proteinuria in men casting copper-cadmium alloys. *Br J Ind Med* 12(4):181, 1955.
- 21 Peacock, P. The association of serum cadmium values with indices of cardiovascular and other diseases and certain environmental factors. Citado por Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. F. y Kjellström, T. *Cadmium in the Environment*, 2a. ed. Cleveland, Ohio, CRC Press, 1974.

## SUMMARY

### ENVIRONMENTAL POLLUTION OF A TOWN BY CADMIUM FROM A FOUNDRY

At La Oroya, a town of 40 000 inhabitants located 3 800 m above sea level in the central Andes of Peru, there is a metallurgical plant whose foundry is a source of environmental pollution from lead, arsenic, zinc and cadmium, among other elements. High levels of cadmium pollution have been detected 10 km away from the foundry. In man, exposure to cadmium compounds causes kidney and respiratory disorders as well as a certain type of osteomalacia. A study of 40 workers not occupationally exposed to

cadmium but residing in La Oroya showed average cadmium concentrations of 4  $\mu\text{g/l}$  of urine, with extremes of 2 and 8  $\mu\text{g/l}$ . Values for beta 2 microglobulin protein ranged between 0,5 and 1 mg/l, although no renal toxicity, impairment of pulmonary ventilation function or radiographic signs of osteomalacia were demonstrated. These findings are discussed and compared with those of researchers in various countries. Finally, emphasis is placed on the need for more extensive epidemiological studies of La Oroya residents and for studies of the soils and crops produced in that area.

# RESUMO

## CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL POR CÁDMIO NUMA CIDADE METALÚRGICA

Em La Oroya, cidade de 40 000 habitantes localizada a 3 800 m sobre o nível do mar, nos Andes centrais do Peru, encontra-se um centro metalúrgico cuja fundição é fonte de contaminação ambiental com chumbo, arsênico, zinco e cádmio, entre outros elementos. Foram detectados níveis elevados de contaminação com cádmio a uma distância de 10 km da fundição. No homem, os efeitos da exposição aos compostos de cádmio produzem distúrbios renais e respiratórios, além de causar certo tipo de osteomalacia. O estudo de 40 trabalhadores não expostos ocupacionalmente ao cádmio mas que residiam em La Oroya revelou que a concentração média de cádmio na urina era de 4 µg/l, com valores extremos de 2 e 8 µg/l. Os níveis de proteína beta 2 microglobulina variaram de 0,5 a 1 mg/l, mas não demonstraram toxicidade renal, alteração da função ventilatória pulmonar ou sinais radiográficos de osteomalacia. Esses resultados são discutidos e comparados com os obtidos por outros pesquisadores em diferentes países. Destaca-se, por último, a necessidade de realizar estudos epidemiológicos de maior amplitude entre os residentes de La Oroya, bem como pesquisas sobre terras de cultivo e produtos agrícolas da zona.

# RÉSUMÉ

## CONTAMINATION DE L'ENVIRONNEMENT AU CADMIUM DANS UNE VILLE MÉTALLURGIQUE

A la Oroya, ville de 40 000 habitants, située à 3 800 m au-dessus du niveau de la mer, dans les Andes centrales du Pérou, se trouve un centre métallurgique dont la fonderie est source de contamination de l'environnement au plomb, à l'arsenic, au zinc et au cadmium, entre autres éléments. On a détecté des taux élevés de contamination au cadmium à une distance de 10 km de la fonderie. Chez l'homme, les effets de l'exposition aux composés de cadmium produisent des troubles rénaux et respiratoires et causent un certain type d'ostéomalacie. Une étude effectuée sur 40 travailleurs non exposés professionnellement au cadmium mais vivant à la Oroya a révélé que la concentration moyenne de cadmium dans l'urine était de 4 µg/l, avec des valeurs extrêmes de 2 et de 8 µg/l. Les taux de protéines beta 2 microglobuline variaient de 0,5 à 1 mg/l, de sorte que l'on n'a pas décelé de toxicité rénale, d'altération de la fonction ventilatoire pulmonaire ni de signes radiographiques d'ostéomalacie. Ces résultats sont examinés et comparés à ceux obtenus par d'autres chercheurs dans différents pays. Cet article souligne enfin la nécessité d'effectuer des études épidémiologiques de plus grande ampleur sur les habitants de la Oroya, ainsi que des recherches sur les terres de culture et les produits agricoles de la région.