

PALEOCONTAMINACIÓN. EVIDENCIAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ANTRÓPICA EN GALICIA DURANTE LOS ÚLTIMOS 4000 AÑOS

Por A. MARTÍNEZ CORTIZAS
J.C. NOVOA MUÑOZ
X. PONTEVEDRA POMBAL
E. GARCÍA-RODEJA
C. LLANA RODRÍGUEZ

Dpto. Edafología y Química Agrícola
Fac. Biología, Universidade de Santiago de Compostela

Abstract: PALEOPOLLUTION: evidence of anthropic atmospheric pollution in Galicia (NW Spain) in the last 4,000 years

Atmospheric metal pollution through the analysis of the accumulation of toxic trace elements in ice, lake sediments or peat bogs is one of the more interesting areas of investigation nowadays. Different research teams have shown that atmospheric pollution began 5000 years ago with the discovery of smelting techniques. By means of the determination of lead (Pb) in a peat bog located in the Sierras Septentrionales Gallegas, we also found that this kind of pollution in Galicia can be dated back to prehistoric times, and that the pattern of evolution through time is quite similar to those found by other researchers in different areas of the world. This means that pollution is not restricted to modern times, that ecosystems are affected by man activities since the prehistory due to the fact that natural fluxes were critically exceeded. Additionally, this kind of investigations can also be interpreted in an archaeological sense, as markers of human activities and the cultural and technological changes.

Key words: Atmospheric palaeopollution, lead, bog archives, prehistoric metallurgy

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas se han convertido en una potente fuerza geológica que afecta a prácticamente todos los grandes sistemas terrestres (hidrosfera, litosfera, biosfera, atmósfera). Así, Fyfe (1981) indica que la minería remueve anualmente materiales de la superficie de la Tierra en cantidades que son del mismo orden de magnitud que procesos geológicos tan esenciales como la formación de corteza oceánica, la erosión a escala global y la formación de montañas. Esta irrupción del Hombre en su entorno provoca una alteración de los flujos naturales de muchos componentes. Tan sólo como ejemplo baste citar la emisión de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, que podrían estar provocando en nuestro planeta un cambio climático de grandes dimensio-

nes; o los graves problemas de contaminación ambiental, derivados tanto de la extracción minera como del procesado de las materias primas para obtener bienes de consumo y energía.

En general se ha venido aceptando que la contaminación atmosférica es consecuencia directa del desarrollo tecnológico moderno y que ha ocurrido, esencialmente, tras la Revolución Industrial forzada por el aumento de población y un desarrollo tecnológico y económico sin precedentes. Sin embargo, desde hace algo más de una década diversos autores han puesto de manifiesto que las modificaciones inducidas por la actividad antrópica no son un producto exclusivo de los tiempos modernos, haciéndose eco de ello revistas científicas de gran prestigio como *Nature* o *Science*. Nriagu (1996) sugiere que la contaminación medioambiental causada por metales pesados comenzó con la domesticación del fuego: la deposición de pequeñas cantidades de metales traza liberados durante los incendios forestales alteraron los niveles de acumulación en algunos ecosistemas. A partir del descubrimiento de la minería y el procesado de los metales comenzó una estrecha relación entre la contaminación y las actividades humanas.

Recientemente se han abordado estudios de este tipo de contaminación atmosférica para épocas antiguas (Settle y Patterson, 1980; Hong *et al.*, 1994,1996; Renberg *et al.*, 1994; Kempter *et al.*, 1996; Martínez Cortizas *et al.*, 1996; Nriagu, 1996; Shotyk, 1996; Shotyk *et al.*, 1996; Steines, 1996; West *et al.*, 1996;) en diversos puntos y mediante el estudio de numerosos medios (lagos, turberas, hielos, etc...). A pesar de las diferencias en su génesis y el tipo de procesos postdeposicionales que los pudieron afectar, todos los medios analizados han aportado una visión coincidente y coherente con el desarrollo de las actividades antrópicas desde épocas antiguas. Todo parece indicar que los umbrales naturales de algunos elementos pesados (como el Pb o el Cu, por ejemplo) comenzaron a incrementarse con el descubrimiento de los metales, adquiriendo un máximo histórico durante el florecimiento del Imperio Romano, al menos unos 2000 años antes del presente (Hong *et al.*, 1994,1996; Renberg *et al.*, 1994; Nriagu, 1996).

TIPOS DE ARCHIVOS PARA EL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La investigación encaminada a descubrir las señales de la actividad antrópica en el pasado requieren una selección de los archivos ambientales más adecuados para ello (MARC, 1985). Según Shotyk (1996) un archivo ideal sería aquel en el que el registro histórico de la deposición metálica atmosférica se ha preservado perfectamente, es decir, un medio en el cual los procesos físico-químicos postdeposicionales no han afectado significativamente la concentración y especiación del elemento que se pretende analizar. También ha de poseer un ámbito cronológico suficientemente largo como para permitir el estudio del intervalo temporal deseado. Entre los posibles archivos, este mismo autor cita

los siguientes: anillos de árboles, bandas de crecimiento anual de los corales, musgos y briofitos, sedimentos lacustres, hielos de los glaciares y turberas (ombrotroficas y minerotroficas), así como otros tipos de áreas hidromorfas litorales o continentales que acumulan materia mineral y orgánica periódicamente (*marsh, swamp*).

Uno de los principales problemas a la hora de elegir entre estos archivos es la disponibilidad de los mismos en el área de interés y, otro, que las concentraciones de metales determinadas en ellos reflejen de forma exclusiva, o al menos proporcional, la deposición atmosférica de cada momento. Además, la metodología necesaria para la medida de metales traza requiere una costosa infraestructura y una gran precaución en el procesado de las muestras, para evitar contaminaciones que distorsionen el registro y puedan provocar inferencias erróneas: en los flujos de metales, en las cronologías propuestas o en la valoración de la actividad humana.

Tanto los anillos de árboles como las bandas coralinas presentan una limitación importante para su empleo como archivos de la deposición atmosférica: los metales acumulados proceden tanto de la atmósfera directamente como del agua del suelo tomada por las raíces o del mar, respectivamente, siendo imposible por el momento diferenciar ambas fuentes. Además, también se ha demostrado que en las plantas puede haber una redistribución interna secundaria y que las variaciones estacionales en la acumulación pueden enmascarar las emisiones a largo plazo (Hagenmeyer *et al.*, 1994). Los musgos y briofitos, por otro lado, sólo sirven como marcadores de los niveles recientes o actuales de emisión, ya que cuando se descomponen se pierde el registro. La utilización de sedimentos lacustres está sujeta a la valoración de aspectos postdeposicionales —diagénesis, bioturbación, etc.— que dependen de un gran número de factores que afectan a la cuenca sedimentaria.

Los hielos de los glaciares árticos y antárticos son, sin embargo, un excelente registro de la contaminación atmosférica puesto que se acumulan en intervalos de tiempo muy cortos —rango estacional— y cubren una amplia franja cronológica —por ejemplo, Boutron *et al* (1990, 1993) han reconstruido las variaciones en el contenido de Zn y Cd durante los últimos 160.000 años—. Tienen no obstante los inconvenientes de una distribución espacial reducida y, sobre todo, una gran sensibilidad a la contaminación de las muestras, por lo que se necesitan enormes recursos económicos, instrumentales y humanos para trabajar con fiabilidad. Mientras que las turberas, y en particular las ombrotroficas —cuyo régimen hidrológico depende exclusivamente de los aportes de agua de lluvia—, tienen una buena representatividad espacial a nivel mundial y un intervalo temporal que aunque de menor precisión y reducido fundamentalmente a los últimos 11.000-10.000 años, es suficientemente largo para el estudio de los niveles de fondo de origen natural y de las modificaciones en los flujos mediatizadas por las actividades antrópicas.

PALEOCONTAMINACIÓN EN GALICIA

REGISTRO ESTUDIADO

Galicia es una región con una interesante evolución cuaternaria y unas características climáticas de transición, que hacen que ciertos sectores sean particularmente adecuados para el desarrollo de turberas. Las principales áreas en que se desarrollan este tipo de depósitos orgánicos, están ubicadas en las montañas septentrionales, por encima de los 600 m s.n.m., o en las sierras orientales y surorientales, en general a altitudes que superan los 1.000 m s.n.m. Las turberas ombrotáficas se restringen al sector norte, mientras que las de tipo minerotráfico están bastante bien representadas en el resto del territorio. Estos archivos han sido utilizados con bastante profusión para la reconstrucción de la evolución climática y de la vegetación durante el cuaternario reciente (Bellot y Vieitez, 1945; Jato, 1974; Aira 1986; Aira *et al.*, 1992; Ramil, 1993; Taboada *et al.*, 1993; Ramil *et al.*, 1994) y caracterizados desde diversos puntos de vista —vegetacional, geomorfológico, hidrológico, edafogenético— (Molinero *et al.*, 1984; Ramil *et al.*, 1996a,b; Pontevedra Pombal, 1995; Pontevedra Pombal *et al.*, 1996). Sin embargo, hasta ahora no se habían empleado como archivos de la contaminación metálica histórica, por medio del análisis de los patrones de acumulación de metales tóxicos.

Para llevar a cabo este estudio hemos seleccionado una de las turberas ombrotáficas de las Sierras Septentrionales: la turbera de Penido Vello. Ya se ha comentado con anterioridad que éste es uno de los tipos de depósito turboso considerado más adecuado en los estudios de paleocontaminación. Para una discusión sobre las diferencias en la acumulación metálica, los efectos de las aguas de drenaje y los parámetros botánicos y químicos empleados para diferenciar entre las turberas ombrotáficas y minerotráficas, véase por ejemplo Shotyk (1996).

La turbera de Penido Vello es una turbera de cobertor, ubicada en una cima plana a unos 650 m s.n.m. y a 20 km de la costa de Lugo, en un área de intenso gradiente pluviométrico y con precipitaciones ocultas abundantes a lo largo de todo el año. Su base se encuentra sobre material periglacial en unos sectores y directamente sobre la roca granítica en otros. A partir de los escarpes de la superficie somital la turba se extiende en laderas de elevada inclinación, en transición hacia turberas más de tipo solígeno.

En el punto de muestreo tiene unos 350 cm de profundidad y está compuesta por turba de *Sphagnum* y *Eriophorum*, fibrica, muy poco descompuesta en los 210 cm superficiales y hémica a partir de esta profundidad. Aquí la turbera ha sido cortada recientemente y la capa freática ha descendido hasta los 250 cm, por lo que hemos decidido analizar el contenido de metales hasta esa profundidad, para evitar posibles contaminaciones actuales por la circulación de aguas de escorrentía. Para estos 250 cm disponemos de ocho dataciones que de arriba a abajo son: 180 \pm 50 BP (Beta-099389) a 15 cm de profundidad, 610 \pm 40 BP (GrN-22288) a 25 cm de profundidad, 1050 \pm 60 BP (Beta-099390) a 45 cm de profundidad, 1470 \pm 60 BP (Beta-099391) a 75 cm de profundidad, 1850 \pm 40 BP

(GrN-22289) a 100 cm de profundidad, 2810 \pm 60 BP (Beta-099393) a 180 cm de profundidad, 3440 \pm 60 BP (Beta-099394) a 215 cm de profundidad y 4070 \pm 50 BP a 245 cm de profundidad. (GrN-22290); las tasas de crecimiento calculadas en base a estas fechas son de 0.45 mm/año para los 25 centímetros superficiales y 0.65 mm/año para el resto de la turba muestreada, lo cual indica un cierto grado de compactación de la superficie.

METODOLOGÍA ANALÍTICA

En el campo se tomaron columnas de 25 x 25 x 25 cm hasta una profundidad de 250 cm que fueron debidamente empaquetadas en bolsas de plástico PVC y selladas para minimizar los riesgos de contaminación durante el transporte. Una vez en el laboratorio, los bloques se rebajaron unos 5 cm por sus laterales para desechar las partes más externas, tomándose del núcleo central submuestras de 2 cm de espesor hasta un metro y de 5 cm hasta los 250 cm.

En cada una de ellas se analizaron numerosos parámetros físico-químicos, como componentes orgánicos, grado de descomposición, materia orgánica activa, contenido en cenizas, pH, cationes de intercambio, etc..., de los cuales tan sólo algunos van a ser comentados someramente aquí. Los metales (Al, Fe, Mn, Zn, Cd, Pb) fueron extraídos con una disolución 1M de KCl, replicando cada submuestra. La concentración de cada uno de ellos se midió por espectrometría de absorción atómica y, cuando los valores eran inferiores al límite de detección de esta técnica, por polarografía. En este trabajo nos vamos a centrar exclusivamente en los valores obtenidos para el Al y Pb y sus patrones de distribución con la profundidad y el tiempo, ya que el Al se emplea para normalizar los valores de acumulación de Pb y este último es uno de los metales pesados sobre los cuales existe una mayor cantidad de referencias y puede discutirse en más detalle.

PROPIEDADES Y METALES EN LA TURBERA DE PENIDO VELLO

En la Figura 1 hemos recogido las variaciones en profundidad de algunas propiedades relevantes de la turbera de Penido Vello. Como puede verse, se trata de una turbera ácida, con un pH entre 3.5 y 4.0 en los 60 cm superficiales y entre 4.0 y 4.6 en el resto, reflejo de su desarrollo en un área de elevada pluviometría, sobre substratos pobres en nutrientes y con el efecto acidificante de los musgos. El contenido en cenizas (Cc) es muy bajo, inferior al 3 % a excepción de los 10 cm superiores, donde llega hasta el 8 %, indicando en general una tasa casi nula de aportes inorgánicos. Las proporciones de materia orgánica (MO), por el contrario, son muy elevadas: superiores al 90 % a partir de los 25 cm de profundidad, incrementándose ligera y progresivamente hacia la base del muestreo. Relacionado con ello, la densidad aparente presenta valores característicos de medios dominados por la materia orgánica: entre 0.10 y 0.15 Mg m⁻³ para los niveles con mayor contenido y 0.20-0.25 Mg m⁻³ para la superficie.

Los patrones de acumulación del Al y el Pb aparecen en la Figura 2. En el caso del aluminio, los valores obtenidos oscilan entre 25 $\mu\text{g g}^{-1}$ y 290 $\mu\text{g g}^{-1}$, siendo uno de los metales dominantes. Su distribución es bastante irregular y está relacionada con variaciones en la capacidad de intercambio de los distintos niveles de turba y la competencia desarrollada con otros iones por las posiciones de carga (Martínez Cortizas *et al.*, 1996).

El Pb presenta un máximo cercano a la superficie de 20 $\mu\text{g g}^{-1}$ que es muy marcado. En profundidad es seguido por una zona con valores de 1-2 $\mu\text{g g}^{-1}$ entre los 20 cm y 55 cm, un pequeño máximo local de 1.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ a 60-70 cm, una zona de concentraciones de 1-3 $\mu\text{g g}^{-1}$ entre los 80 cm y 150 cm y, por último, dos pequeños incrementos entre 165 cm y 180 cm de profundidad.

CRONOLOGÍA DE LAS EMISIONES DE PB A LA ATMÓSFERA

Diversos autores han demostrado que la acumulación de Pb en algunos sistemas superficiales de la Tierra es el resultado de la deposición atmosférica de este elemento por vía húmeda o seca (Renberg *et al.*, 1994; Brännval *et al.*, 1996; Farmer *et al.*, 1996) y que está relacionada con las emisiones resultantes del procesado de materiales que lo contienen (quema de combustibles fósiles como el carbón o la gasolina, fundición de menas de plata y plomo, etc...). La superficie de una turbera se ve sometida a este tipo de deposición a lo largo del tiempo, no obstante ésta es temporal ya que el desarrollo de la vegetación típica de estos medios pronto la entierra. Esto convierte a la turba en un archivo cronológico, pues a mayor profundidad más antiguo será el registro de la acumulación metálica-contaminación atmosférica.

En base a las dataciones radiocarbónicas de que disponemos, es posible recomponer la cronología de acumulación de la turba y relacionar las concentraciones de Pb con determinados eventos temporales. En la Figura 3A hemos representado las variaciones temporales de la concentración de este elemento para los últimos 4.000 años. No obstante, para interpretar los patrones de acumulación no se deben emplear los valores directos de concentración de Pb, ya que parte de las diferencias observadas pueden estar ocasionadas por variaciones naturales debidas al distinto contenido en cenizas o a cambios en la densidad aparente (Shotyk, 1988). Por ello, es necesario normalizar las concentraciones por relación a un elemento conservativo cuya fuente principal sea el resultado de la meteorización de la corteza terrestre (Schütz y Rahn, 1982). Entre los elementos conservativos se encuentran el Ti, el Sc y el Al (Shotyk, 1996). Los dos primeros están presentes en cantidades traza en la corteza y sus concentraciones están con frecuencia próximas al límite de detección de los aparatos analíticos. En cambio, en Galicia el Al es un metal muy abundante y susceptible de ser empleado para la normalización del Pb. Esto es lo que se refleja en la Figura 3B.

Comparando ambas figuras es fácil comprobar que existe una similitud casi total entre ellas, si bien hay cambios importantes en el incremento o descenso

relativo de las concentraciones a lo largo del tiempo. Atendiendo al factor de enriquecimiento puede decirse que la historia de la contaminación atmosférica en Galicia comenzó hace unos 2.800 años, con niveles que fueron del orden de 2 veces superiores al flujo natural (calculado éste último como la media de los 10 valores más bajos de la base de la turbera). Hace unos 2.500 años las concentraciones comienzan a aumentar hasta alcanzar su máximo hacia el siglo I d.C, siendo los niveles unas 4-5 veces el nivel de fondo; luego descienden de forma progresiva y acaban recuperando valores equivalentes al flujo natural hacia el 1.600 BP. Con posterioridad suceden un corto episodio de unos 200 años, con incrementos de 2 a 4 veces, y una caída abrupta en la emisión, hasta flujos basales, hacia el 1.400 BP. Entre esta fecha y el 500 BP. el patrón de evolución es complejo, con notables variaciones y momentos en que se alcanzan factores multiplicativos de 3 a 5. A partir del 500 BP, la acumulación de Pb se dispara hasta un máximo que es unas 26 veces superior a la situación anterior a la transformación de las menas metálicas y que ocurriría entre inicios y mediados del presente siglo, para finalmente reducirse de forma notable en las últimas décadas (hasta un factor de 12).

LECTURA HISTÓRICO-ARQUEOLÓGICA

El seguimiento de la evolución temporal en la contaminación por metales pesados evidenciada en trabajos como éste, pone de manifiesto la existencia de archivos con información de interés para la Arqueología que complementa la proveniente de los yacimientos arqueológicos, a la vez que abren la oportunidad de disponer de registros sensibles al impacto humano sobre el medio y, en consecuencia, el acceso a fuentes que nos permiten seguir la evolución de su actividad, por ejemplo en este caso la metalúrgica.

De hecho, y aún sin proceder a un análisis en detalle en estos momentos, el patrón temporal de acumulación del plomo coincide en términos generales con el encontrado por otros autores (Nriagu, 1996) y con la tendencia histórica de la evolución de la metalurgia, lo cual otorga la homologación precisa para plantear una reflexión acerca del interés en seguir la vía que nos proporcionan este tipo de analíticas en nuestro territorio. Téngase en cuenta, que este elemento es un indicador tanto de la manipulación directa de la mena, como de la contaminación por él producida a partir de su empleo en procesos como, muy especialmente, los ligados a la obtención de la plata así como a la transformación de la misma y del oro.

Así, es en el ámbito del Bronce Final (930 BC cal.) cuando la contaminación por plomo muestra inequívoca carta de naturaleza por vez primera en el Noroeste de la Península, manteniendo unas cotas de cierta entidad hasta alcanzar un punto de inflexión en los inicios de la plena Edad del Hierro. Coincidiendo esto con la dinámica de generalización del empleo del plomo (los bronce ternarios), durante la última etapa del Bronce y Primera Edad del Hierro, y el incre-

mento del uso del mismo en el tránsito al Hierro [p.e. (González Prats, 1993; Rovira Lloréns, 1993)].

A partir del ca. 2.500 B.P. la presencia de plomo se incrementa de modo prácticamente continuo hasta los alrededores del 1.800 B.P., con la salvedad de un mínimo relativo en torno al 2.100 B.P. Lo que nos remite a un periodo de gran complejidad en el que se asiste, por un lado al incremento en la acumulación del plomo en la turbera en coherencia con el aumento del empleo de este mineral en la plena Edad del Hierro (Rovira Lloréns, 1993). Y ello tanto de modo directo, como aquel que pasa a la atmósfera en el proceso de obtención de plata, algo que en este momento no puede ser dejado de tomar en consideración pues el máximo relativo alcanzado en ca. 2.200 B.P., al que sucede la caída del ca. 2.100 B.P., nos lleva a recordar la presencia cartaginesa en el Sur de la Península, seguida de la toma del control por Roma a partir de la Segunda Guerra Púnica (Domergue, 1990).

Tras este episodio, el tramo que estamos comentando nos refleja la contaminación por plomo causada por la explotación romana de la Península, cuyos inicios se remiten a fines del siglo II a.C., produciéndose el despegue a partir del siglo I a.C. para alcanzar su apogeo en época altoimperial, tal y como ha propuesto Domergue (1990). Precisamente, el descenso relativo detectado en la presencia de plomo en el depósito a finales del siglo II a.C. podría estar reflejando el estancamiento de la actividad minera causado por los acontecimientos ligados a la incorporación de la Península al ámbito de Roma, el propio proceso de conquista y, sobre todo dado que afectarían a la explotación de los centros del Sur, la revuelta lusitana y las guerras sertorianas (Domergue, 1990).

La rotunda intensificación de las actividades ligadas a la manipulación del plomo en época imperial, son fielmente reflejadas por la gráfica que presentamos de la evolución del contenido en este metal. Recurso en el que la Península estaba entre los principales productores con centros importantes en el Norte, el Noroeste y, asociado a la plata, en el Sur (Domergue, 1990). Periodo de pleno rendimiento de las actividades extractivas en general, en el que la Península llega a aportar un 40 % de la producción total de plata (Nriagu 1983, 1996), que se extiende desde Augusto hasta al menos el siglo II d.C., incluido el Noroeste (Novo Guisán, 1992).

El siguiente tramo —del ca. 1.800 B.P. al ca. 1.550 B.P.— indica un descenso en la contaminación por plomo en la que, siendo patente su tendencia a la baja, se muestra un escalonamiento en su retroceso incluyendo un ligero repunte tras la caída que sigue al entorno del 1.800 B.P. (145 AD cal.). Con las salvedades que son al caso, pensamos que este es uno de los ejemplos en que trabajos como el presente pueden contribuir a complementar las evidencias aportadas por otras fuentes. En efecto, el comportamiento que aflora apoya los indicios argüidos para defender que, muy especialmente en el Noroeste [p.e. (Novo Guisán, 1992)], la actividad extractiva, aunque notablemente mermada, perduraría durante el siglo III d.C.

Llama también la atención el significativo contenido en plomo para el intervalo ca. 1.550 / 1.400 B.P., con dos máximos, el primero de los cuales ha propor-

cionado una fecha calibrada de 615 AD, y que debe ponerse en relación con el periodo germánico. Un ámbito para el que el silencio de las fuentes, tanto las escritas como la parquedad de las arqueológicas, ha llevado a proponer que las explotaciones mineras en general se habrían mantenido en niveles ínfimos si es que no se habrían detenido totalmente (Novo Guisán, 1992). De nuevo el comportamiento de la gráfica que presentamos nos estaría remitiendo a quienes propugnan que no es lógico pensar que los germanos desaprovechasen, siquiera fuera para satisfacer sus propias necesidades, un sector que encuentran aún con cierta capacidad de aprovechamiento [p.e. (Puche Riart y Bosch Aparicio, 1996)]. Parece pues que, si bien desechada la fórmula de las grandes explotaciones [Duarte (1996) citando a Torres (1992:338)], la actividad minera fue objeto de atención en estos momentos como, por demás, refuerzan los por ahora escasos datos aportados por la Arqueología para el periodo visigodo en Jales o en Tresminas (Duarte, 1996). Reflexión en la que debe incluirse la presencia bizantina en el Sureste, que no parece razonable desligar de la explotación de las minas del área de Cartagena, por ejemplo (Puche Riart y Bosch Aparicio, 1996). Por otra parte, y por lo que al plomo en concreto se refiere, además de su posible rol junto con la plata en el comercio con Bizancio, su empleo en tuberías, sellos, lastres, nielados, etc..., sugiere una demanda, tal vez no muy elevada, pero en todo caso constatable (Puche Riart y Bosch Aparicio, 1996).

A partir de aquí, al menos al nivel de un primer comentario general, la dinámica es coherente con la evolución histórica. Así, la contaminación por plomo vuelve a alcanzar cotas notables en el entre el 1.000 / 1.300 B.P., en relación tanto con el comienzo del periodo de señorialización en los territorios cristianos, como con la puesta en explotación de los recursos mineros de Al-Andalus, donde además consta al menos desde fines del siglo IX la explotación del plomo (Vallvé Bermejo, 1996). Los valores, con altibajos, alcanzan el mínimo en torno al 500 B.P., coincidiendo con la crisis general que se produce a finales de la Edad Media —la epidemia de peste del siglo XIV, la propia crisis del sistema señorial...— Cambiando la pendiente de la evolución de la contaminación por plomo, ahora ya definitivamente hasta nuestros días, en correlato con el despegue asociado al descubrimiento de América, reflejándose con claridad la llamada «Revolución Metalúrgica» del siglo XVIII, el incremento contemporáneo a la industrialización y, finalmente la importante reducción debida a la introducción de las gasolinas sin plomo.

CONCLUSIONES

La similitud existente entre el patrón de acumulación temporal del plomo en la turbera de Penido Vello y el mostrado por otros tipos de depósitos, a nivel europeo por ejemplo, y la evolución histórica de la metalurgia, permite proponer esta nueva línea de análisis como un procedimiento a explotar en el futuro desde un punto de vista arqueológico. Consideramos que resulta cada vez más evidente la necesidad de recuperar la información contenida en archivos todavía no con-

siderados de carácter arqueológico, pues ésta se revela de gran utilidad tanto para complementar aspectos proporcionados por los yacimientos, como para el estudio de los materiales provenientes de ellos. En un trabajo reciente ya abogamos por este tipo de interdisciplinariedad metodológica (Martínez Cortizas y Llana, 1996), pues el medio que es objeto de la actividad humana conserva información paleoambiental referida a dicha actividad y al impacto a que ha dado lugar, de tal forma que el desciframiento de estas señales del pasado nos permitirá reconstruir aspectos de las relaciones hombre-medio.

No obstante, en lo que a la investigación de la paleocontaminación en Galicia se refiere, quedan algunos aspectos por abordar. En primer lugar es necesario aumentar el número de archivos estudiados, para obtener una visión más completa tanto espacial como temporal de la evolución; en segundo lugar, se impone la necesidad de explorar los cambios en la acumulación de otros metales de gran interés como el estaño, el cobre o el zinc, por citar algunos; y en tercer lugar, distinguir qué parte de la señal es local y qué parte es global. Una vía que resultará de gran apoyo para la resolución de estos aspectos es la determinación de la composición isotópica de los distintos metales, ya que ésta se encuentra relacionada estrictamente con la fuente que se haya utilizado. Ello nos permitiría determinar la procedencia de las emisiones, su componente regional, las variaciones temporales en la utilización de distintas fuentes, etc...

Cuando se disponga de un número suficiente de análisis de este tipo, estaremos en condiciones de seguir la historia de la actividad metalúrgica a sus diversas escalas.

BIBLIOGRAFÍA

- AIRA, M.J., SAA, P., LÓPEZ, P. (1992): «Cambios del paisaje durante el Holoceno: análisis de polen en turberas (Galicia, España)». *Rev. Paleoecol.*, 11, 243-254.
- AIRA, M.J. (1986): *Contribución al estudio de los suelos fósiles de montaña y antropógenos de Galicia*. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.
- BELLOT, F., VIEITEZ, F. (1945): «Primeros resultados del análisis polínico de las turberas galaicas». *An. Inst. Edaf. Ecol. Fis. Veg.*, 2, 281-303.
- BOUTRON, C.F., PATTERSON, C.C., BARKOV, N.I. (1990): «The occurrence of Zn in Antarctic ancient ice and recent snow». *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 101: 248-259.
- BOUTRON, C.F., RUDNIEV, S.N., BOLSHOV, M.A., KOLOSHNIKOV, V.G., PATTERSON, C.C., BARKOV, N.I. (1993): «Changes in cadmium concentrations in Antarctic ice and snow during the past 155,000 years». *Earth Planet. Sci. Lett.*, 117: 431-441.
- BRANVALL, M.L., BINDLER, R., EMTERYD, O., NILSSON, M., RENBERG, I.: (1996). «Stable isotope records of atmospheric Pb pollution in peat and lake sediments». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 10.
- DOMERGUE, C. (1990): *Les Mines de la Péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine*. Roma. *Collection de l'École Française de Rome*, 127.
- DUARTE, L.M. (1996): «A actividade mineira em Portugal durante a Idade Média. (Tentativa de síntese)». *Actas de la I Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular*. Madrid. Fundación Hullera Vasco-Leonesa, pp.: 67-90.
- FARMER, J.G., MACKENZIE, A.B., SUGDEN, C.L., EDGAR, P.J. (1996): «A comparison of the historical lead pollution records in freshwater lake sediments and peat cores from central Scotland». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 15.
- FYFE, W.S. (1981): «The environmental crisis: quantifying geosphere interactions». *Science*, 213: 105-110.
- GONZÁLEZ PRATS, A. (1993): «La metalurgia del Bronce Final en el Sureste de la Península Ibérica»; En: R. Arana Castillo, A. M. Muñoz Amilibia, S. Ramallo Asensio, M. M. Ros Sala (Eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el Primer Milenio a.C. Estado Actual de la Investigación*. Murcia. Universidad de Murcia, pp.: 19-43.
- HAGENMEYER, J., SCHAFFER, H., BRECKLE, W.W. (1994): «Seasonal variations of nickel concentrations in annual xylem rings of beech trees (*Fagus sylvatica* L.)». *Sci. Total Environ.*, 145: 111-118.
- HONG, S., CANDELON J.P., PATTERSON, C.C., BOUTRON C.F. (1994): «Greenland Ice evidence of hemispheric lead pollution two millenia ago by Greek and Roman Civilizations». *Science*, 265: 1841-1843.
- HONG, S., CANDELON J.P., PATTERSON, C.C., BOUTRON C.F. (1996): «History of ancient copper smelting pollution during Roman and Medieval times recorded in Greenland ice». *Science*, 272: 246-249.
- JATO, M.V. (1974): *Contribución a la cronología de suelos por análisis de polen*. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.
- KEMPTER, H., GORRES, M., FRENSEL, B. (1996): «Element inputs to rainwater-fed bogs in Europe as indicators of past atmospheric deposition». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 21.
- M.A.R.C. (Monitoring and Assessment Research Centre) (1985): *Historical monitoring*. MARC, University of London, London. Rep. No. 31. pp 155-173.

- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., LLANA, C. (1996): «Una aproximación interdisciplinar a la contextualización espacio-temporal de los yacimientos al aire libre en Galicia». *Almadan*, II série n.º 5, *A Arqueología e as Outras Ciências*, 23-36.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., PONTEVEDRA POMBAL, X., NOVOA MUÑOZ, J.C., GARCÍA-RODEJA, E. (1996): «Physico-chemical properties and heavy metal content of peats from the northwestern Iberian Peninsula». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition*, Berne, pg. 12.
- MOLINERO, A., POLO, A., DORADO, E. (1984): «Características físico-químicas de la turbera de Vivero (Lugo)». *An. Edaf. Agrobiol.* 42, 1107-1122.
- NOVO GUISAN, J.M. (1992): *Los Pueblos Vasco-Cantábrico y Galaicos en la Antigüedad Tardía*. SS. III-IX. Alcalá de Henares. Universidad de Alcalá. *Memorias del Seminario de Historia Antigua*, II.
- NRIAGU, J.O. (1996): «A history of global metal pollution». *Science*, 272: 223-224.
- PONTEVEDRA POMBAL, X., GARCÍA-RODEJA, E., MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (1996a): «Caracterización edafogeomorfológica de las turberas de las Serras Orientais de Galicia». En A. Pérez-Alberti, P. Martini, W. Chesworth, A. Martínez-Cortizas (eds). *Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios*, Xunta de Galicia, 243-260.
- PONTEVEDRA POMBAL, X. (1995): *Histosoles de la Serra dos Ancares (Galicia)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela, Spain.
- PONTEVEDRA POMBAL, X., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., GARCÍA-RODEJA, E. (1996b): «Caracterización físico-química de depósitos orgánicos en la Serra dos Ancares (NW Ibérico): origen y evolución». En A. Pérez-Alberti, A. Martínez-Cortizas (eds) *Avances en la Reconstrucción Paleoambiental de las Areas de Montaña Lucenses*, Excma. Diputación Provincial de Lugo, Lugo, 91-120.
- PUCHE RIART, O., BOSCH APARICIO, J. (1996): «Apuntes sobre la minería visigótica hispana». *Actas de la I Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular*. Madrid. Fundación Hullera Vasco-Leonesa, pp.: 198-216.
- RAMIL, P., TABOADA, T., AIRA, M.J. (1993): «Estudio palinológico y factores de formación del Tremeol da Gañidoira (Lugo, España)». En: M.P. Fumanal and J. Bernabeu (eds) *Estudios sobre Cuaternario, Medios Sedimentarios, Cambios ambientales y Hábitat Humano*. Universidad de Valencia-A.E.Q.A, Valencia, pp. 191-197.
- RAMIL, P. (1993): «Evolución climática e historia de la vegetación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del noroeste ibérico». En: A. Pérez Alberti, L. Guitián, P. Ramil (eds) *Las Montañas de los Entornos de los Caminos Jacobeos*, Xunta de Galicia, Santiago, 25-60.
- RENBERG, I., PERSSON, M.W., EMTERYD, O. (1994): «Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments». *Nature*, 368: 323-326.
- ROVIRA LLORENS, S. (1993): «La metalurgia de la Edad del Hierro en la Península Ibérica: una síntesis introductoria». En: R. Arana Castillo, A. M. Muñoz Amilibia, S. Ramallo Asensio, M. M. Ros Sala (Eds.): *Metalurgia en la Península Ibérica durante el Primer Milenio a.C. Estado Actual de la Investigación*. Murcia. Universidad de Murcia, pp.: 45-70.
- SCHÜTZ, L., RAHN, K.A. (1982): «Trace-element concentrations in erodible soils». *Atmos. Environ.*, 16: 171-176.
- SETTLE, D.M., PATTERSON, C.C. (1980): «Lead in albacore: guide to lead pollution in Americas». *Science*, 207: 1167-1176.
- SHOTYK, W. (1988): «Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters». *Earth Sci. Rev.* 25:95-176.
- SHOTYK, W. (1996): «Peat bog archives of atmospheric metal deposition: geochemical

- evaluatio of peat profiles, natural variations in metal concentrations, and metal enrichment factors». *Environ. Rev.*, 4: 149-183.
- SHOTYK, W., CHEBURKIN, A.K., APPLEBY, P.G., FANKHAUSTER, A., KRAMERS, J.D. (1996): «Lead in three peat bog profiles, Jura mountains, Switzerland: enrichment factors, isotopic composition and chronology of atmospheric deposition». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 27.
- STEINES, E. (1996): «Trace element profiles in ombrotrophic peat cores from Norway». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 28.
- TABOADA, T., AIRA, M.J., DÍAZ-FIERROS, F. (1993): «Formación de turberas en la sirra de O Bocelo. Relación con las condiciones paleoambientales del Holoceno». *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 18, 365-377.
- TORRES, C. (1992):«O Garb-al-andaluz»; in: J. Mattoso (dir); *História de Portugal*. Lisboa. Círculo de Leitores, vol. I, *Antes de Portugal*, pp.: 388-390.
- VALLVE BERMEJO, J. (1996): «La minería en Al-Andalus». *Actas de la I Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular*. Madrid. Fundación Hullera Vasco-Leonesa, pp.: 56-64.
- WEST, S., CHARMAN, J., GRATTAN, J.P. (1996): «Detection of prehistoric and historic smelting activity in southwest England usinf EDMA». *Workshop on Peat Bog Archives of Atmospheric Metal Deposition, Berne*, pg. 33.

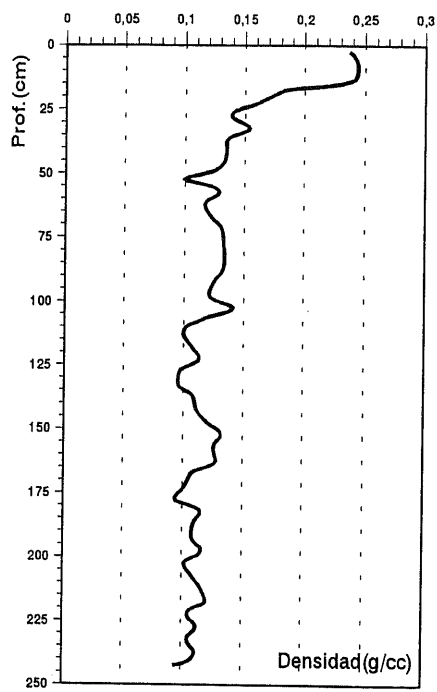
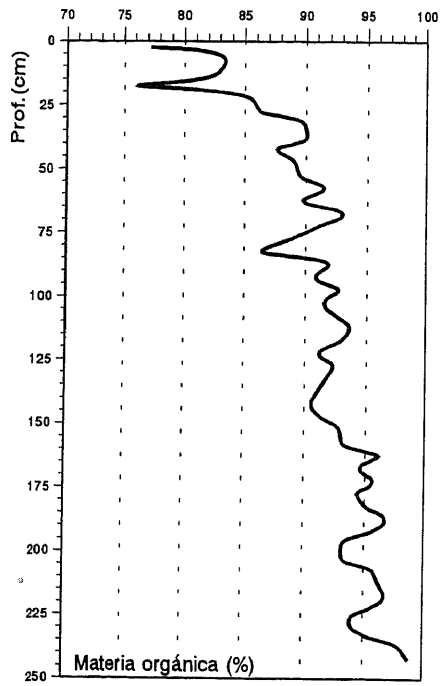
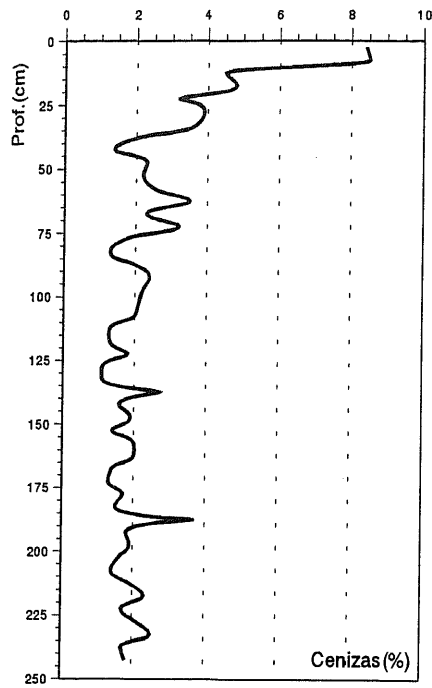
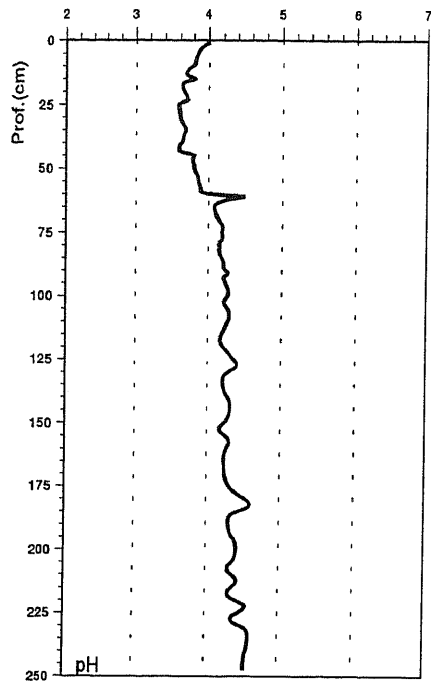


FIGURA 1. Perfiles de variación de algunas propiedades físicas y químicas de la turbera de Penido Vello (pH, Cc= contenido en cenizas, MO= porcentaje de materia orgánica, Da= densidad aparente).

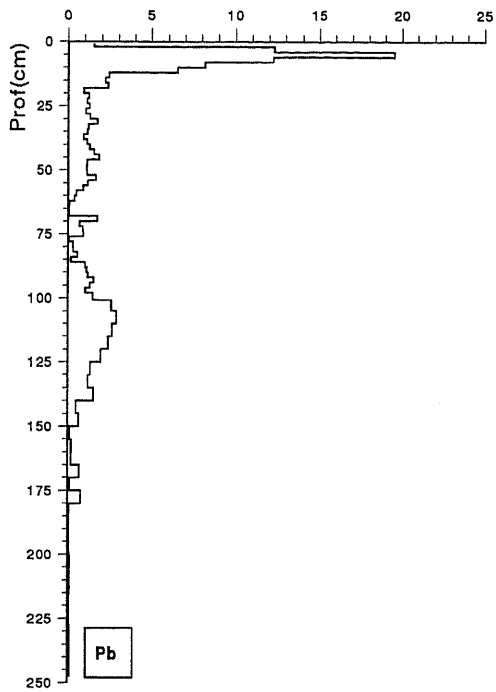
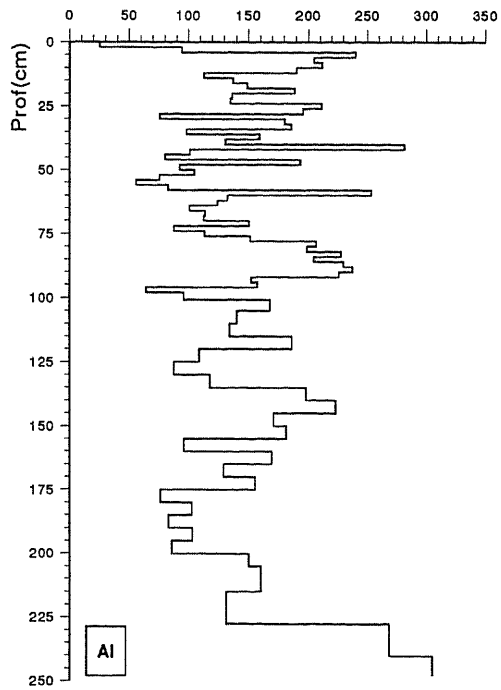


FIGURA 2. Perfiles de acumulación de Al y Pb en la turbera de Penido Vello (en µg g⁻¹).

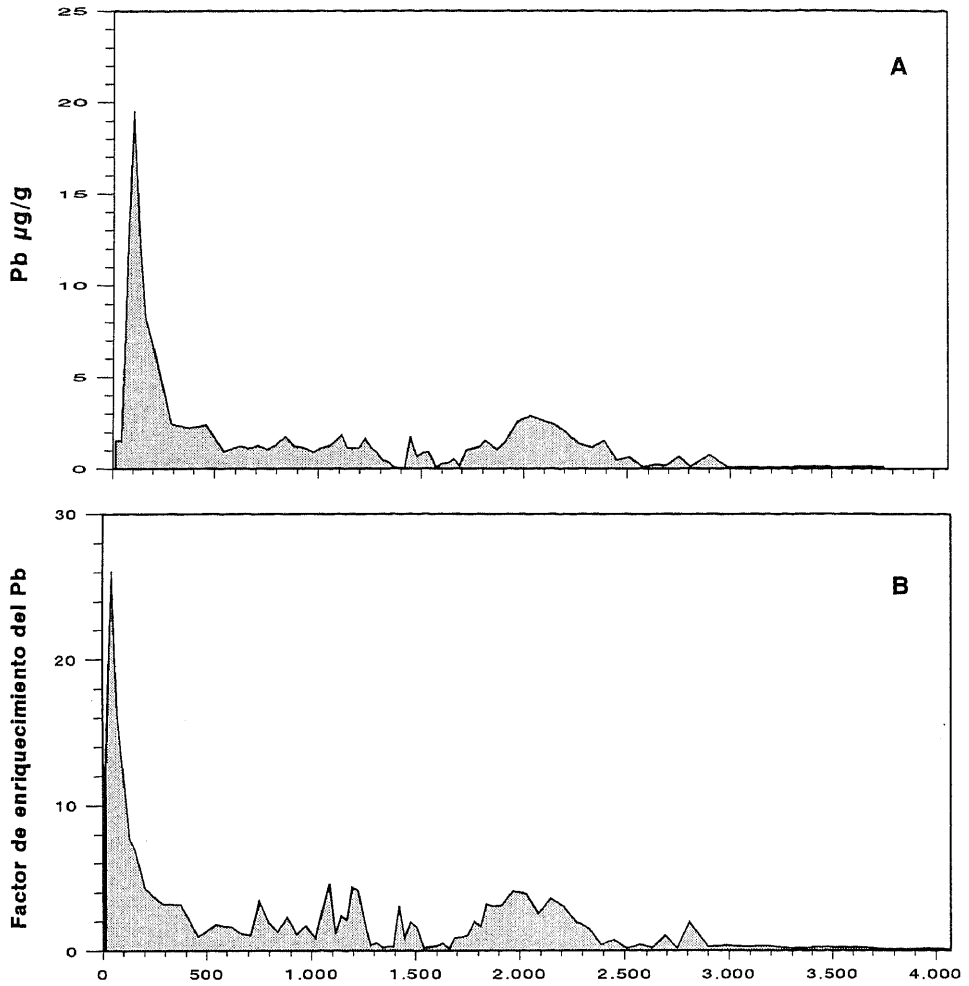


FIGURA 3. Diagramas de evolución temporal en la acumulación de Pb en la turbera de Penido Vello. A) Concentración de Pb en µg g⁻¹; B) factor de enriquecimiento en Pb.