

Metalurgia Mesoamericana

DORA M.K. DE GRINBERG

Es evidente que un pueblo que elabora objetos de metales, diferentes al oro, ha tenido que recorrer un largo camino durante el cual ha hecho acopio de suficientes conocimientos tecnológicos. Por otra parte, como este arte lo realizaban los maestros metalúrgicos, debemos pensar que existía, al menos, un incipiente desarrollo social, con tareas diferentes para los campesinos, los alfareros, los fabricantes de armas y adornos no metálicos y los maestros metalúrgicos.

El estudio de la metalurgia es una herramienta útil para conocer el nivel de desarrollo cultural de un pueblo, dado que para elaborar objetos de metal se necesita una serie de conocimientos previos, tales como la obtención de mineral a partir de sus minas (minería); la reducción del mineral para extraerle el metal (metalurgia extractiva); la obtención de aleaciones, la elaboración de objetos por algún método mecánico, (martillado en frío o en caliente); la elaboración de objetos metálicos por fusión y colado en moldes (fundición); la aplicación de técnicas de soldadura, pulido, decoración, etc.

Minería

Los minerales metálicos no se encuentran desperdigados en la superficie de la tierra, sino que forman vetas o chimeneas en las montañas. Sobre ellas el hombre moderno talla sus minas. Dado que los metales nativos no son muy abundantes y aparecen en las partes superiores de los yacimientos, es razonable pensar

que los hombres primitivos los encontraron cuando recolectaban piedras y los emplearon como tales, tratando de martillarlos; por ello los primeros objetos metálicos de casi todas las culturas son de ese metal y con ese acabado; sin embar-

go, por lógica estos metales se agotaron muy pronto.

Posteriormente se empezaron a obtener metales a partir de sus *minerales*; esto es, de compuestos químicos en los que los metales se encuentran combinados con



Dora M.K. de Grinberg: División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM

otros elementos, tales como el azufre, el cloro, el oxígeno, etc. Tales combinaciones son más estables a temperatura ambiente que los metales nativos.

Las minas modernas son *pozos* o *galerías* que permiten llegar a la zona profunda de las montañas que es en donde se encuentran los sulfuros, los que, en la actualidad, son los minerales más ricos en metal. La diferencia entre un *túnel* o *galería* y un *pozo* o *tiro* es que el primero está dirigido horizontalmente, mientras que el último lo hace verticalmente.

Sin embargo, en el comienzo de la minería no se construían túneles, sino que se exploraba la montaña, buscando la zona en que la veta llegaba a la superficie. Cuando esto sucede, por el efecto del aire y las lluvias, los sulfuros se convierten en carbonatos. Los sulfuros de cobre son de color gris, poco llamativo, mientras que los carbonatos, por ejemplo los del cobre, son de color verde (malaquita) o azul (azurita). Algunos de los óxidos de cobre que los acompañan son rojizos. Pensamos que los colores llamativos de los minerales pudieron haber inducido al hombre primitivo a recogerlos y a tratar de elaborar con ellos cosas semejantes a las que hacía con otras piedras.

Cuando Hernán Cortes preguntó a Moctezuma de qué región le traían el oro, éste respondió que de unas provincias en la costa del Mar del Sur. Cortés envió a un grupo a recorrer la zona indicada y cerca de Zacatula, en el límite entre los actuales estados de Michoacán y Guerrero, los jefes indios llevaron a su gente a un río y con jicaras recogieron la arena del fondo y la lavaron, quedando en los recipientes granos de oro nativo. Esta técnica de recoger el oro de los ríos se conocía en época de la conquista como "oro de placeres". En época muy antigua esa era una de las pocas maneras que existían para obtener oro, ya que en las minas éste se encuentra sobre rocas de cuarzo muy duras y no es fácil desprenderlo.

Nosotros descubrimos minas indígenas de cobre en una zona situada al norte de la Laguna de la Presa de Infiernillo, en el estado de Michoacán, guiados por declaraciones indígenas contenidas en el Legajo 1204 del Archivo General de Indias. Encontramos que las minas eran de tajo abierto, es decir, cuando encontraban la veta en la superficie, comenzaban a cavar para retirar el mineral.

Por la forma de las paredes, se puede decir que para desprender las piedras, no



Figura 1. Mapa Tlolin mostrando a un fundidor trabajando.

se emplearon herramientas de hierro sino que el trabajo se realizó con cuñas, posiblemente de madera o de astas de animales. Las herramientas encontradas en superficie son cajetes de piedra para moler el mineral (ticuiches) y mazos de piedra; en la proximidad de una de las minas encontramos una mesa de molienda.

Los indígenas, se dice en el Legajo, recogían piedras verdes y a partir de ellas obtenían el cobre. Esto nos hace pensar que utilizaban carbonatos de cobre, tales como malaquita, y por lo que se puede apreciar en los terreros de las minas prehispánicas que encontramos, éste es el mineral que extraían.

Los indios dicen que en Churumuco trabajaban veinte fundidores y que en un día recogían cada uno de ellos medio clemín de polvo y piedra. Después de fundirlo soplando con canutos sacaban un lingote del largo y ancho de la mano y de dos dedos de espesor. Se llama *lingote* al trozo de metal que sale de la fundición y es la manera como se manejaban y se manejan los metales brutos de fundición. En esa época recibía el nombre de *xeme*. El lingote prehispánico al que nos estamos refiriendo debía pesar alrededor de 4.5 kilogramos ya que tenía "el largo de la mano, el ancho de la misma y dos dedos de espesor".

Parecería, por lo que dicen los indios fundidores, que en cada mina trabajaban 20 fundidores, los que producían por día, una carga y todos juntos producían por mes un *montón*. Por lo tanto, la *carga* tenía 20 lingotes y pesaba alrededor de 90 kilogramos, y el *montón*, que era la producción de 20 días, dado que en el mundo prehispánico mesoamericano el mes tenía 20 días, pesaba 1800 kilogramos.

También se dice que los indios fundidores tenían sus sementeras al pie del cerro y que cuando el Cazonci les pedía cobre, ellos lo fabricaban. Esto hace pensar que el trabajo del fundidor no era permanente, sino que trabajaban como labriegos y, en caso que se necesitara cobre, trabajaban como fundidores. Esto explicaría por qué no hay abundancia de objetos de metal en Mesoamérica. Por otro lado, si se tiene en cuenta la gran diferencia que hay entre la temporada de sequía y la de lluvias en esa región, se pueden explicar ambas tareas: en la temporada de lluvias no es posible trabajar en la mina de tajo abierto, porque lo más probable es que estuviera continuamente inundada, mientras que la labranza de los campos no es un trabajo de época de sequía, cuando no cae una gota de agua.

En nuestro recorrido por el cerro de Mayapito para buscar minas prehispánicas

de cobre, encontramos sobre las mismas vetas talladas por los indígenas, desde el otro lado del cerro, dos minas coloniales llamadas las Guadalupe. Estas minas no son de tajo abierto sino de trabajo subterráneo y en lugar de extraer los carbonatos, como hacían los indígenas, las galerías llegan a la zona de los sulfuros. Pensamos que cuando los españoles se informaban de la existencia de minas indígenas, en lugar de seguir el trabajo a cielo abierto, cavaban un socavón o galería a un nivel más bajo.

Esta manera de trabajar las minas es la técnica europea del siglo XVI, como se describe en el libro de Agricola, "De Re Metalica", publicado en el momento del descubrimiento de América.

Se conocen otras minas prehispánicas, como por ejemplo las de Tepalcatepec, en el estado de Querétaro, que fueron explotadas por SEPANAL (Secretaría del Patrimonio Nacional). Estas no fueron explotadas por sus minerales metálicos sino para obtener un pigmento anaranjado, llamado cinabrio, que es un mineral de mercurio, bastante abundante en Mesoamérica. Las minas eran en galería, es decir, un trabajo minero subterráneo, y por la for-

ma de las paredes, en este caso sumamente blandas, y el aspecto redondeado de los túneles, se deduce que éstos se hicieron a golpe de mazo, siguiendo el trayecto las vetas, lo cual produjo túneles muy sinuosos. En el interior de la mina se encontraron herramientas, tales como morteros fijos y móviles, cuñas de madera, cucharas de cerámica y mazos de piedra, de los cuales algunos conservaban sus mangos de madera, lo que permitió conocer cómo se sujetaban y utilizaban. Por ejemplo, se supo que para amarrarlos se empleaban fibras vegetales. También se pudo verificar que el interior de las galerías se iluminaba por medio de teas, es decir, trozos de ramas con un extremo envuelto en fibras vegetales impregnadas con resina de pino. Además se encontraron bloques cuadrados de resina. Por la cerámica y por el fechamiento con carbono 14, se supo que estas minas estuvieron en explotación desde el siglo IV aC y que siguieron usándose hasta el siglo VII dC. Así también por el tipo de cerámica encontrada, se pudo saber que estas minas fueron trabajadas por pueblos teotihuacanos, huastecos, michoacanos, queretanos y colimeños.

Metalurgia extractiva

No se sabe con seguridad cómo ni cuándo comenzó la explotación de los yacimientos de minerales y la obtención, a partir de ellos, de los metales. Sin embargo, en todas las culturas, cuando comienza la obtención de metales a partir de minerales, hay una mucho mayor producción de objetos metálicos; así pues, este dato es un indicio sólido, para establecer el momento en que se comienza a trabajar la metalurgia extractiva.

Se piensa, por la facilidad con que se reducen los carbonatos y por estar en la parte superior del afloramiento mineral, que éstos deben haber sido los primeros minerales que los hombres aprendieron a reducir. Si se muelen los carbonatos, se mezclan con carbón de leña granulado, se colocan en el interior de un crisol y éste se introduce en una hoguera, por acción del calor y el carbón, los carbonatos se descomponen generando gases de carbono (monóxido y dióxido de carbono) y el cobre queda libre, fundiéndose y depositándose en el fondo del crisol en forma de un botón. Este proceso se conoce como *reducción*.

Este procedimiento es bastante sencillo cuando los minerales a tratar son carbonatos u óxidos de cobre. Pero cuando son sulfuros, el asunto ya no es tan fácil, aunque no es imposible. En este caso, y es lo que se hace en tiempos modernos, se los somete a una tostación previa. Se llama *tostación* al calentamiento de los sulfuros al aire. En este proceso el azufre de los sulfuros pasa a formar óxidos de azufre (anhídrido sulfuroso y sulfúrico) que se desprenden y el cobre también se oxida para formar óxidos de cobre (cuprita y tenorita). Entonces los óxidos pueden reducirse, mezclándolos con carbón y calentándolos. La tostación acabaría en el momento en el que ya no se desprendieran los gases de azufre, fácilmente reconocibles por su olor.

Hasta hace pocos años se sostenía que en Mesoamérica no se conocía la reducción de los sulfuros y algunos autores llegaban al extremo de decir que sólo se empleaban metales nativos. Nosotros hemos probado, por análisis de escorias prehispánicas, que también conocían y utilizaban la reducción de minerales sulfurados mixtos.

En Mesoamérica se fundían los metales en recipientes o crisoles de carbón, los que se fabricaban horadando trozos de



Figura 2. Cuadrete del Códice Florentino donde se muestra a un par de fundidores trabajando.

carbón de leña. Se puede pensar que los indígenas quizá por casualidad, al calentar en uno de estos crisoles los óxidos utilizados como pigmentos, pueden haber llegado a conocer las técnicas de reducción de los minerales.

En época antigua, la reducción de los minerales de cobre para obtener cobre metálico, se hacía en hornos o en crisoles. En las primeras épocas de la metalurgia los hornos fueron simples agujeros en la tierra, cuyos fondos se apisonaban cuidadosamente y, por efecto del mismo calor, se endurecían. Con el tiempo se le agregaron tubos de aereación, a fin de introducir aire con fuelles, con lo que se podían alcanzar altas temperaturas; más tarde se construyeron ya con chimeneas. Posteriormente se emplearon fuelles.

En América no se han encontrado fuelles y en el Legajo al que hicimos mención antes, se dice expresamente que los indios no tenían fuelles, sino que soplaban con cañutos. En una pieza cerámica de Sudamérica se aprecia a cuatro fundidores alrededor de un horno, soplando con dicho instrumento. En el Mapa Tlotzin hay un dibujo en donde se ve a un fundidor agachado frente a un horno, soplando por medio de un cañuto y que sostiene en la otra mano un escorificador. Un *escorificador* puede ser una simple rama verde que permite retirar la escoria de la superficie del metal fundido.

En el Códice Florentino aparece otro tipo de horno, más parecido a un brasero, que utiliza el mismo sistema de aereación: los fundidores soplan por medio de cañutos.

En el Lienzo de Jucutacato se muestra, en un cuadro titulado Xiuhquilan, a dos fundidores acucillados ante un brasero soplando con sendos cañutos.

En nuestra temporada de campo en Michoacán ubicamos el Xiuquilan del Lienzo y encontramos abundantes escorias en dicho sitio. Se llaman *escorias* a los residuos que quedan de la reducción de los minerales. Estas se encontraban distribuidas al azar por efecto de la tareas agrícolas que se realizan en el terreno.

En las minas, los minerales no se encuentran puros sino que se hallan mezclados con otros minerales o con rocas inertes. En épocas modernas, luego que los minerales son quebrados y molidos, se los somete a un proceso de flotación para separar los distintos componentes, debido a que tienen distintas densidades.

En Mesoamérica, en época antigua, no existía este proceso de flotación, sino que los minerales de las minas iban mezclados con otros minerales, aunque el sistema que se empleaba para recoger el mineral, que era por pepena, reducía las cantidades de contaminantes. Hoy en día se agrega al mineral cal, óxido de hierro y arena para que se forme la escoria. En nuestro estudio de los minerales prove-

nientes de la zona sur del estado de Michoacán, el carbonato de cobre está acompañado por los componentes que actualmente se agregan y ésta puede ser la razón por la que en esta región de Mesoamérica aparece la metalurgia del cobre en épocas más tempranas.

Cuando se reduce un mineral por agregado de carbón y los formadores de escoria, ésta se forma fácilmente y sobrenada al metal fundido que se deposita en el fondo. El paso siguiente es quitar la escoria del crisol u horno, lo que puede hacerse con un escorificador, como se muestra en la figura 1, o se puede dejar sobre la superficie del metal hasta que éste solidifique y quitarlo luego por golpes. Si se está reduciendo el metal en un horno de dos agujeros, uno se encuentra en la parte inferior, por donde se deja salir el metal y otro más alto por donde se drena la escoria. Si la fundición se realiza a gran escala, este horno permite retirar el metal, a medida que se forma. Esto se muestra en la figura 4, tomada del Códice Florentino, donde se ve a un fundidor colando el metal, directamente a partir del horno, en un molde con forma de hacha.

En nuestro estudio de las escorias que encontramos en Xiuhquilan se confirmó que eran escorias primitivas y no escorias modernas o coloniales por la gran cantidad de glóbulos de metal atrapados en ellas. En algunas los glóbulos eran de cobre solo, pero en otras los glóbulos eran de cobre con arsénico, lo que indica que ya se estaban reduciendo minerales sulfurados. Los metales que sabían fundir los mesoamericanos eran: oro, plata, cobre, plomo y estaño.

Aleaciones

Largo tiempo debe haber transcurrido desde que el hombre primitivo aprendió primero a fundir los metales nativos, luego a reducir los minerales, hasta que supo que fundiéndolos mezclados o reduciendo los minerales mezclados o reduciendo minerales mixtos, se pueden obtener metales con propiedades diferentes a los metales puros. Esta mezclas de metales se llaman *aleaciones*.

Por ejemplo, para fabricar un bronce, es decir, una aleación de cobre y estaño, se debió conocer un gran número de técnicas, tales como: la molienda del mineral de cobre y la obtención de cobre metálico; la molienda del óxido de estaño (casiterita) y la obtención del estaño metálico,



Figura 3. Cuadrate del Lienzo de Jucutacato correspondiente a Xiuhquilan.



Figura 4. Lámina 796 del Códice Florentino, mostrando un fundidor.

ya que dicho metal no se encuentra como metal nativo en la naturaleza; la manera de fundirlos juntos para no perder a uno de ellos por oxidación o la reducción simultánea del mineral de cobre con mineral de estaño.

Nosotros hemos probado que en la Huasteca Potosina se elaboraba el bronce por la técnica de reducción conjunta de los minerales.

En Mesoamérica los metales, especialmente las aleaciones de cobre, fueron ampliamente utilizadas en la elaboración de herramientas como hachas, escoplos, cincelos, buriles, coas, agujas, alfileres, anzuelos, etc. En Mesoamérica hay culturas, como la purépecha, que prefirieron fabricar los objetos utilitarios en metal. En estos casos es bien diferenciado el uso del cobre para la elaboración de objetos de adorno, mientras que preferían del bronce para fabricar herramientas. Algunas pinzas de depilar de esta zona, que frecuentemente se piensa que se fabricaban en plata, son de cobre de alto estaño. También encontramos, analizando trozos de

alambre provenientes de las excavaciones en Tzin-Tzun-Tzan, que un alambre fue fabricado con una aleación de cobre-cinc, cosa que era inusual. Sin embargo, revisando los análisis disponibles de otras partes de América, encontramos otros pocos casos de empleo de latones en América del Sur.

Sin duda, los pobladores de Mesoamérica, en su conjunto, sabían elaborar una serie de aleaciones entre las que se destacan las aleaciones binarias de plata-cobre, cobre-estaño (bronces al estaño), cobre-arsénico (bronces arsenicales), cobre-antimonio (bronces al antimonio), cobre-plomo (cobre al plomo) y cobre-cinc (latón), mientras que la aleación de oro-plata es una aleación que se encuentra en estado nativo. De las aleaciones ternarias, conocían las de oro-plata-cobre (tumbagas) y de cobre-estaño-arsénico.

Fabricación de objetos

La propiedad más llamativa de los metales y que más ha contribuido al desarrollo

de la Humanidad, es la de que se les puede dar forma por alguno de los procedimientos mecánicos de uso frecuente. Esta propiedad se denomina *ductilidad*.

Parece que el martillado, por ser una técnica que se conoció antes de que se emplearan los metales, fue utilizada antes que la fundición. Sin embargo, los objetos que se pueden hacer por martillado no son muchos. Por él se puede convertir una pepita de oro o un trozo de cobre nativo en una lámina. En el caso del oro, nos encontramos con que no hay necesidad de fundir varias pepitas juntas para fabricar una lámina grande, sino que basta con martillarlas juntas para que se "suelden". Esto también sucede con el platino, pero no con la plata y el cobre. Pensamos que ésta fue una de las razones por las que el oro fue el primer metal trabajado por el hombre.

Se puede pensar en varios procedimientos distintos para dar forma a los metales: un metal puede ser extrudado si se introduce en un tubo y se le aplica una presión suficiente que lo haga pasar a través de un agujero de salida que le dé una forma determinada, de manera similar a como se fabrican los churros. Sin embargo, pese a lo simple del método, no hay pruebas de que existiera la extrusión, y ésta es una técnica mucho más moderna; posiblemente esto se deba a que aplicar grandes presiones presenta ciertas dificultades.

Existe otra manera de cambiar la forma de un metal y es hacerlo pasar a través de agujeros. Los agujeros individuales, de diámetro cada vez menor, se encuentran distribuidos, actualmente, sobre una misma placa. Así, tanto el agujero como la placa reciben el nombre de *trefila*. Para trefilar se parte de una barra que tenga un diámetro aproximadamente igual al tamaño del agujero más grande; el extremo de esta barra se afina y se pasa a través del agujero; una vez hecho esto se jala por el otro lado para obligar al metal a pasar por él y reducir su diámetro. Como el volumen se mantiene constante, dicha disminución de sección irá acompañada por un aumento en la longitud. Esto nos permite convertir la barra en un alambre.

También es posible obtener alambres por martillado, golpeando el metal con un mazo y girándolo después de varios golpes, pero, si el alambre es largo, la sección no se mantiene constante. La fabricación de alambres metálicos que tengan sección uniforme se

obtiene más fácilmente empleando trefilas. Pese a que no esté confirmada la existencia de trefilas en América, creemos que una vez adquiridas las técnicas de oradar y afilar piedras en el periodo neolítico, no debe haber sido difícil para aquellos hombres perforar una piedra dura, formando una trefila. Quizás algunas de las cuentas de piedra horadadas que se encuentran en los museos podrían haber sido empleadas para fabricar alambres. Sin embargo, nuestros estudios de alambres de plata-cobre provenientes de Tzin-Tzun-Tzan, prueban que éstos fueron fabricados por martillado.

Desde luego, disponiendo de alambres obtenidos por martillado o por trefilación, el hombre primitivo pudo fabricar anzuelos, alfileres, agujas, etc.

Otra propiedad importante que tienen los metales y que fue utilizada desde el comienzo de la metalurgia, es que los metales endurecen por martillado en frío. Si en la elaboración de una hacha partimos de una barra rectangular obtenida por fundición y se le martilla un extremo para producir el filo, se puede comprobar que el metal, en particular si es cobre, endurece. Esto produce un filo agudo y resistente al desgaste. En cambio, si tratamos de aplicar el mismo procedimiento al oro, veremos que este metal no se endurece por martillado en frío. Quizá por esta razón los indígenas colombianos agregaron cobre al oro, cuando fabricaron sus armas y herramientas, como fue descrito ampliamente por los conquistadores.

La propiedad de endurecer por martillado puede ser eliminada por un calentamiento a bajas temperaturas que recibe el nombre de recocido.

Es importante señalar que cuando se martilla un metal en frío, éste se vuelve más duro y entonces pueden suceder dos cosas: la fuerza del orfebre que martilla el metal en frío no es suficiente para seguir deformando la lámina o la lámina comienza a romperse, formando fisuras a partir de los bordes.

Sin embargo cualquiera de ambas circunstancias tienen varias soluciones: en lugar de martillar el metal en frío, es conveniente calentarlo y comenzar a golpear hasta que se enfríe y sea necesario calentarlo nuevamente. Este proceso, llamado deformación en caliente, lo emplea la industria moderna y fue conocido por los antiguos habitantes de Mesoamérica, como hemos probado en varios alambres tarascos que estudiamos. También se puede martillar en frío y, antes de que se for-

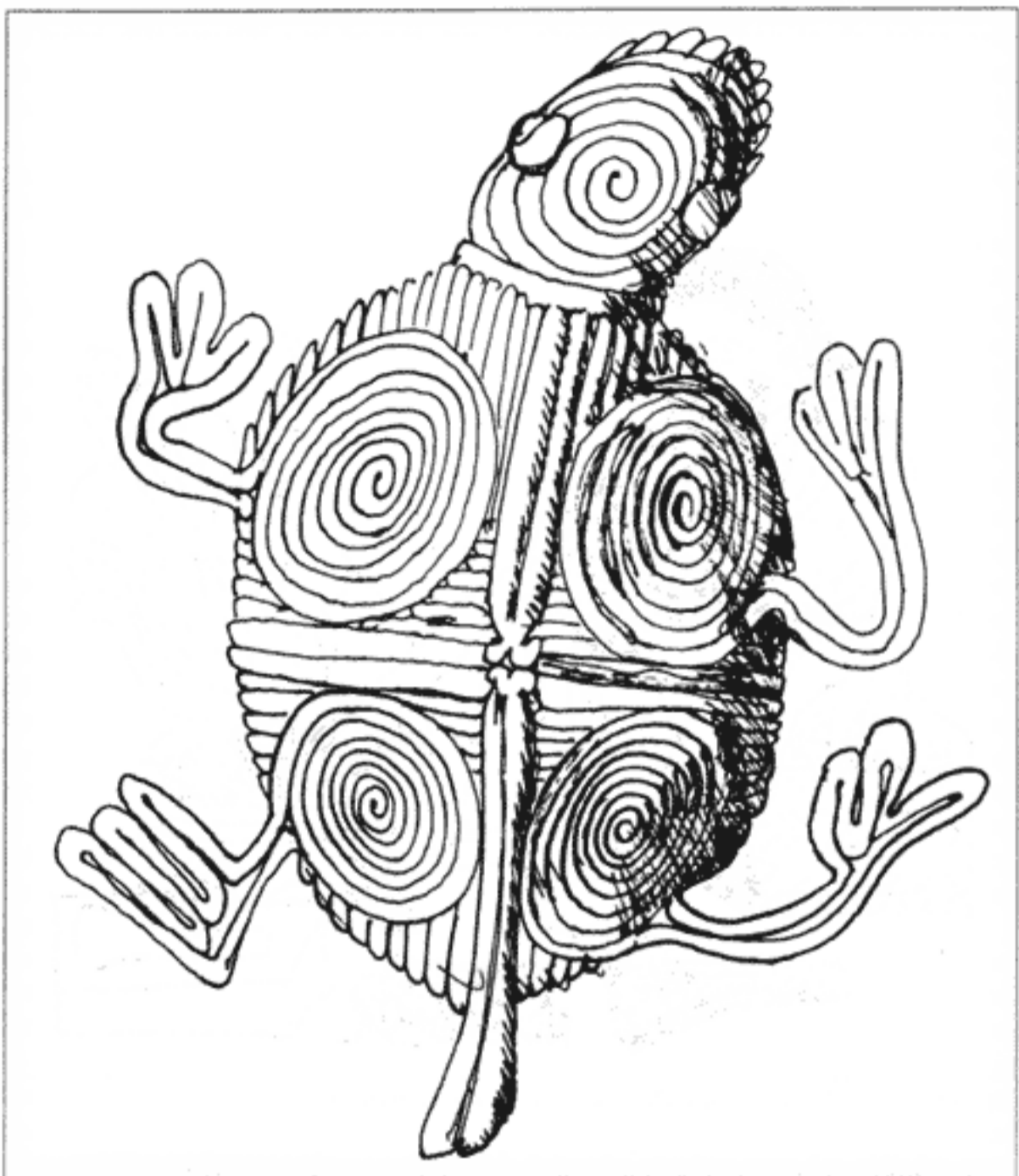


Figura 5. Ranita de falsa filigrana de plata, proveniente de las excavaciones de Tzin-Tzun-Tzan, Michoacán.

men las fisuras en los bordes, se calienta el metal. Luego se puede seguir martillando en frío otro poco y cuando el metal endurezca, se vuelve a calentar. Este procedimiento, llamado recocido intermedio, también lo utiliza la metalurgia moderna cuando se trefila alambre. Hemos comprobado que los tarascos también lo usaban en la fabricación de alambres.

Debemos hacer la aclaración de que el oro también endurece por martillado pero su temperatura de recocido se encuentra en la proximidad de la temperatura ambiente y, tan pronto como endurece se recuece espontáneamente.

Por el método de martillado también se pueden obtener recipientes, tales como vasos o vasijas cóncavas. Para ello, se martilla la lámina sobre un tronco duro de superficie muy lisa, hasta que la lámina, luego de golpearla y rotarla repetidas veces, va tomando la forma que se desea.

Hemos estudiado algunas pequeñas vasijas de cobre y anillos sencillos planos, provenientes de Toniná, Chiapas, que están fabricados no por la técnica de martillado como sería de esperar, debido a lo simple de sus formas, sino por fundición. Lo anterior nos hace pensar que no todas las culturas de Mesoamérica dominaban el martillado de los metales con recocidos intermedios.

Cuando los españoles llegaron a Tenochtitlan les llamó la atención que Moctezuma usara vasos, platos y cajetes de oro, lo que los llevó a una idea equivocada de la cantidad de oro que había en México. Si hubieran sabido metalurgia, se habrían dado cuenta de que los vasos se hacían de oro porque éste es muy fácil de deformar y no requiere de recocidos intermedios de ablandamiento que permitan seguir deformándolo y así poderlo convertir en un vaso. En cambio, si hubieran usado cobre, se les habrían

Ignacio Pérez-Duarte

presentado problemas en cuando a la infinidad de recocidos intermedios y, como además el cobre se oxida durante el calentamiento, el resultado final habría sido desastroso: los vasos se destruirían durante su fabricación.

Las láminas, especialmente las de oro, fueron ampliamente empleadas en Mesoamérica para recubrir objetos de madera y de cerámica, con una técnica muy similar a la que emplearon los egipcios: para ello adelgazaban las láminas de oro hasta convertirlas en hojas y aplicaban un pegamento sobre la superficie a recubrir, ya que disponían de numerosos tipos de pegamentos vegetales para hacerlo, y luego extendían con cuidado la lámina y la pegaban. Los españoles relatan que los estandartes que acompañaron a Moctezuma en su encuentro con Cortés, en las afueras de Tenochtitlan, eran de lámina de oro y que las andas en que lo llevaban estaban recubiertas de hojas de oro.

Fundición

Si se calienta un metal en el interior de un recipiente muy parecido a un vaso, llamado crisol, cuando se alcanza una cierta temperatura, que difiere según el metal en cuestión, éste se vuelve líquido. La temperatura a la que esto sucede se llama temperatura de fusión del metal.

En los procesos de fundición se requiere otro tipo de herramientas que las empleadas en la deformación; por ejemplo es indispensable disponer de un crisol para fundir el metal, ya sea éste nativo u obtenido por reducción de los minerales o varios metales juntos.

Ya hemos visto que en Mesoamérica se empleaban crisoles fabricados con carbón de leña y quizá por eso no han aparecido crisoles durante las excavaciones, ya que éstos se irían destruyendo después de repetidos usos. En Sudamérica, en cambio, los crisoles eran de cerámica y su forma era tronco-cónica.

Una vez que se fundía el metal era necesario colarlo (verterlo) en un molde. Esto fue, sin lugar a dudas, un problema para los fundidores, ya que había que encontrar la manera de inclinar el crisol o de cogerlo para verter su contenido en el molde. Es evidente que tal operación no podían hacerla con las manos, pero no existe evidencia de que utilizaran pinzas de metal, como se hace actualmente.

Las civilizaciones metalúrgicas del mundo emplearon en sus inicios distintos

procedimientos, fruto de su ingenio: los egipcios cogían el crisol, que tenía forma de vasija cóncava, entre dos fundidores por medio de dos ramas verdes, una por encima y otra por debajo, y de esa manera lo transportaban por encima de los moldes y vertían el metal fundido, inclinandolo sobre ellos. En otras regiones de Asia, el crisol tenía un tipo de manguillo agujereado que permitía introducir en él un palo y moverlo de la misma manera que se hace con una sartén. Otra demostración del ingenio europeo fue hacer los crisoles con su base semi-esférica, de manera que, empleando un palo en forma de mango de paraguas, se inclinara el crisol para verter su contenido.

La mayoría de los crisoles sudamericanos son tronco-cónicos pero no se han encontrado dibujos, ni hay descripciones coloniales, de cómo los manejaban. En el caso de Mesoamérica pensamos que es posible que los crisoles hayan tenido un mango, como los saumerios, aunque no se han hallado ejemplos durante las excavaciones y estamos esperando que los arqueólogos nos den respuestas a estas incógnitas.

Si vertemos el metal líquido o fundido en un molde, dicho metal tiene la propiedad de llenar el molde y tomar como forma exterior, la forma interior del molde. En definitiva, un molde no es otra cosa que un recipiente

fabricado de un material que no sea fácilmente destruido por el calor.

En algunos lugares de Sudamérica se encontraron moldes de cerámica separables en varias partes, mientras que en Mesoamérica no han aparecido moldes ni fragmentos de ellos, lo que es muy entendible de acuerdo a lo que dice Sahagún de la manera en que se elaboraban los moldes. Él relata que cuando se quería hacer un molde, se mezclaba carbón de leña molido con el barro que se utilizaba para fabricar ollas. La pasta se amasaba y se dejaba secar al sol durante varios días. Cuando ya estaba seca, se esculpía la forma del objeto que se quería fabricar. Luego se fundía cera de Campeche y se le agregaba copal molido para purificar la cera, la que era filtrada a través de un lienzo y se dejaba endurecer. Se tomaban pequeñas porciones de cera y se extendían sobre una piedra muy lisa por medio de un rodillo de madera pulida. A continuación se colocaban las hojas de cera sobre el objeto tallado, haciendo presión para que la cera se adhiriera a la superficie y se introdujera en el interior de las cavidades si estas existían; en ese momento se podían adherir detalles tales como flores o trenzas hechas de hilo encerado, sobre la capa de cera ya existente. También en ese momento se dibujaba sobre la capa de cera los detalles finales del objeto a realizar. Luego

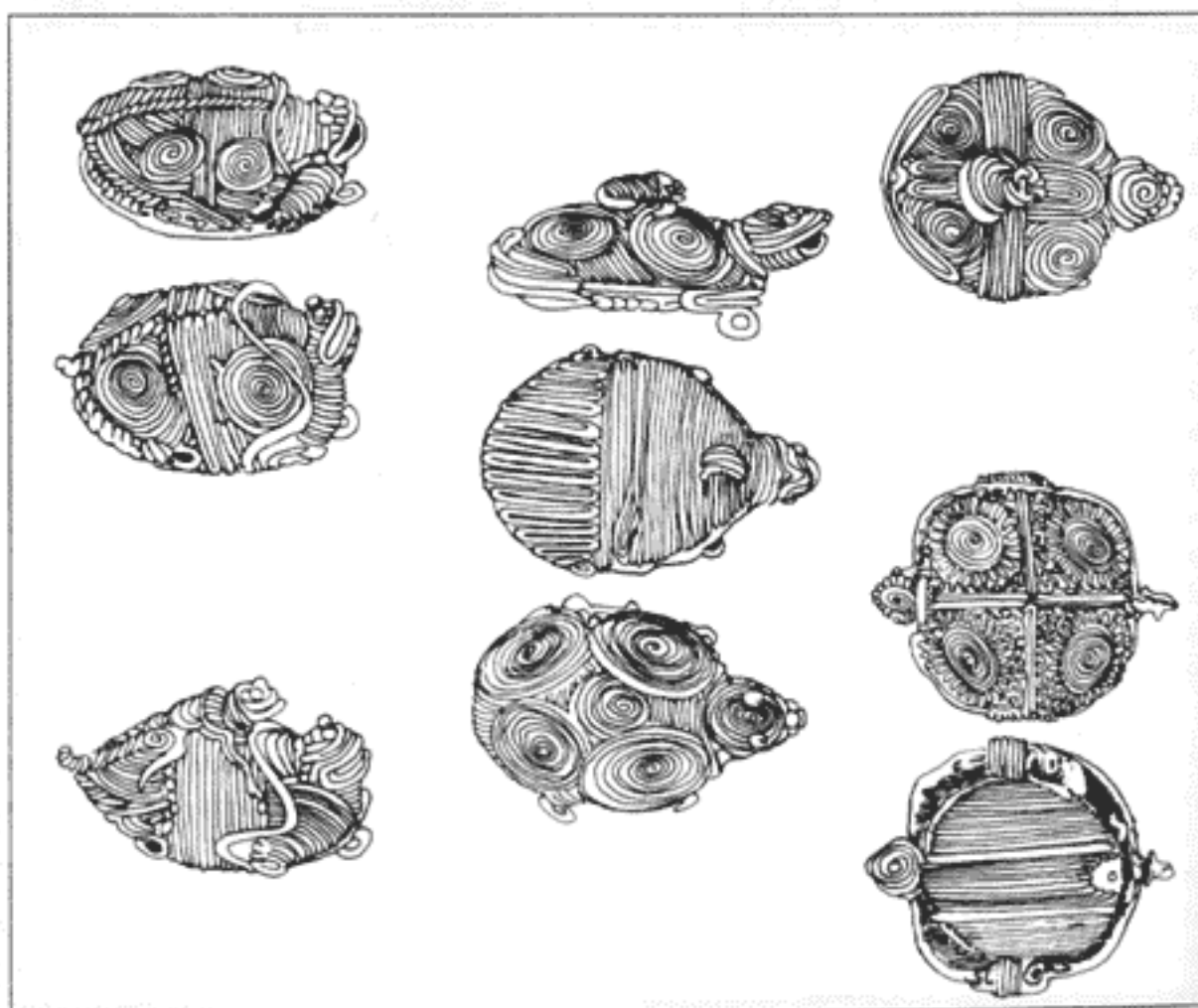


Figura 6. Falsa filigrana, tortugas de Michoacán, Colima, Puebla y Guerrero.

Ignacio Pérez-Duarte

se recubría todo con una mezcla de polvo de carbón y barro de ollero y se dejaba secar nuevamente, durante varios días. Cuando se secaba se le pegaba un tubo de cera de manera que hiciera contacto con la capa interior de cera y se lo volvía a cubrir con la mezcla de carbón y barro, dejándolo secar nuevamente.

Para colar el metal, se colocaba el molde sobre las cenizas calientes del brasero para que la cera fundiese y fuera desalojada por la incorporación del metal fundido por derrame. Para obtener el objeto colado se golpeaba la cubierta exterior de barro que, al romperse, dejaba a descubierto el objeto. Para su terminación se procedía a pulirlo por medio de un trozo de cerámica, por frotación con una piedra o con arenas finas. El objeto resultante tiene el núcleo en su interior y, si hubiera un punto de acceso a dicho núcleo, éste era desalojado rascándolo con una ramita o un instrumento semejante. En caso contrario el núcleo permanecía en su sitio original.

Muchas veces se ha puesto en duda si los habitantes de Mesoamérica eran capaces de alcanzar temperaturas elevadas con

el simple método de soplar por medio de un cañuto. Pensemos que el cobre funde a 1 083°C y el oro a 1 063°C. El tipo de defecto más frecuente en los objetos mesoamericanos son porosidades, ocasionadas por temperaturas muy por encima del punto de fusión del cobre. Esto nos hace pensar que los indígenas no tenían problemas para mantener altas temperaturas donde se fundían los metales. Durante nuestro recorrido por Xiuhquilan encontramos un fragmento de tubo cerámico, que posiblemente fue parte de un cañuto. Su sección exterior, así como su agujero interior, son elípticos lo que facilitaría el soplar con la boca.

Técnicas de decoración

Una vez que se dispone de una lámina u hoja de metal obtenida por martillado, se puede recortar por medio de un instrumento cortante, sea éste de metal o de piedra. El instrumento conocido en nuestros días como cincel, permite darle una forma inicial aproximada. Luego, los bordes pueden ser mejorados por golpeado o frotándolos con un guijarro para que desaparezcan las

irregularidades. A continuación se puede grabar el anverso del objeto por medio de un buril. Este tipo de decoración fue ampliamente usado en Mesoamérica y los discos de oro del Cenote Sagrado de Chichén Itzá son muy buenos ejemplos de la técnica de grabado.

También se puede emplear otro tipo de decoración para las láminas delgadas, si se las apoya sobre un molde en donde se ha tallado el dibujo que se quiere realizar y, si las presiona por el reverso de la lámina; de esta manera es posible transferir el dibujo a la lámina. Vista desde el anverso, la decoración queda en relieve, mientras que en la técnica anterior el motivo queda dibujado por líneas de poca profundidad. Si la presión se aplica desde el anverso el motivo queda en bajo-relieve.

También se ha sugerido que los alambres planos, de los que hay numerosos ejemplos en oro y en plata en la zona tarasca, se fabricaban a partir de láminas recortándolas en forma de cintas.

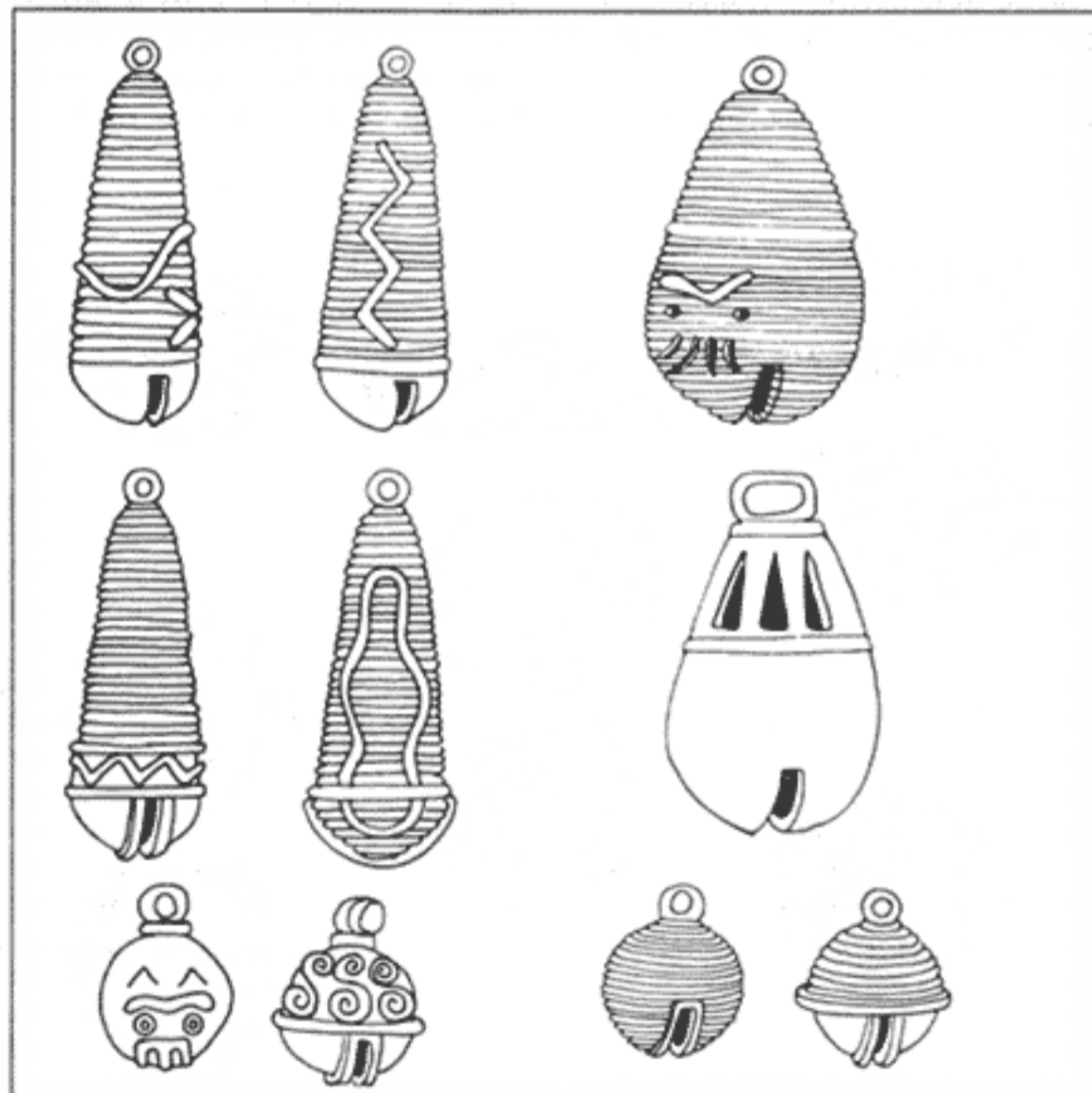
Se ha discutido mucho si los indígenas americanos sabían fabricar objetos de filigrana. Se llama filigrana a un trabajo de joyería por medio del cual se elaboran objetos calados, de gran delicadeza, empleando hilos de oro, plata y soldadura.

En Mesoamérica hay abundantes objetos que parecen ser de filigrana. Sin embargo, su estudio muestra que se obtuvieron por fundición a la cera perdida. De nuestra descripción anterior de cómo se fabricaba el molde, se puede deducir la manera de producir la pseudo-filigrana. En la figura 5 vemos la reproducción de una ranita elaborada en plata, que fue obtenida por la técnica de la cera perdida y que lo notable de ella es que todo el animalito no mide más de un centímetro.

Otro ejemplo similar lo constituyen algunas tortugas provenientes del Occidente de México, y cuya decoración se logró trabajando la cubierta de cera por medio de un hilo textil encerado, que se enrollaba sobre si mismo para formar los polígonos del carapacho de la tortuga, como se puede apreciar en la figura 6.

El empleo de la soldadura en Mesoamérica fue confirmado por nosotros. En un estudio de arillo de plata-cobre de origen tarasco, que nosotros realizamos, se confirma el empleo de la soldadura en Mesoamérica.

Este estudio se puede resumir diciendo que se empleaba mineral de cobre depositado sobre las superficies que se deseaba soldar y se recubría con barro de ollero



Diversos tipos de cascabeles.

Ignacio Pérez-Duarte



Pectoral de oro encontrado en la tumba 7 de Monte Albán, Oaxaca.

para asegurar que las mitades no se movieran. Luego el conjunto se cubría con carbón pulverizado y se introducía en un horno o brasero, donde se generaba la reducción localizada del mineral de cobre.

Los indígenas americanos habían desarrollado la técnica de coloración que hacía que una aleación de oro-plata-cobre se enriqueciera de oro en la superficie y pareciera de oro puro. Para realizar este enriquecimiento superficial, en Sudamérica se introducía la pieza en el jugo de una planta de la familia de las acederas. En Mesoamérica el objeto se introducía en un baño de alumbre caliente. Sahagún, quien meritoriamente ha descrito las técnicas metalúrgicas prehispánicas del Valle de México, llama a este baño "el remedio de oro", ya que dice que el objeto sale

refulgente del baño. La capa superficial queda empobrecida en cobre y plata. Si se sigue con la operación es la plata superficial la que se disuelve y la superficie queda constituida por oro puro solamente.

Se dice también que cuando los españoles llegaron a las costas del Golfo de México, trataron de cambiar sus vidrios por hachas de oro. Cual no sería su sorpresa cuando se dieron cuenta de que lo que habían trocado como oro puro, es decir de 24 quilates, era sólo oro pobre, de menos de 12 quilates. Su reacción lógica fue pensar que los habían timado. Esta conclusión, también errónea, se debió a su ignorancia en materia de metalurgia mesoamericana.

El procedimiento de coloración que

acabamos de describir era conocido sólo en América. Cuando en Asia, África y Europa se quería que un objeto pareciera de oro puro, se le introducía en un baño de oro fundido o se frotaba el objeto a dorar con una amalgama de mercurio y oro, luego se calentaba para que se evaporara el mercurio y quedase el oro depositado sobre la superficie. Este tipo de dorado, a diferencia del proceso americano de coloración, puede desprenderse y dejar a descubierto el metal de base, sobre todo por oxidación del metal subyacente, mientras que en el proceso americano, dado que la variación de la composición es continua, no existe la posibilidad de que la capa superficial se desprenda. De aquí que los conquistadores creyeron que los habían timado.

Cuando los españoles llegaron a la Nueva España se maravillaron de encontrar objetos fabricados en dos metales, generalmente oro y plata. Ellos cuentan que en el mercado de Tlatelolco se vendían peces de metal que tenían algunas escamas de oro y otras de plata. Pensamos que la manera de fabricarlos era colar el pez completo en una tumbaga rica en plata. Luego se cubrían las escamas que se deseaba que fueran de plata con cera o con una laca vegetal y se introducía el objeto en un baño de alumbre. Las escamas que quedaban al descubierto se coloreaban pareciendo de oro puro. Las recubiertas seguían pareciendo de plata. En el Museo Nacional de Antropología e Historia existe un pectoral en falsa filigrana con una mitad de plata y otra de oro. Pensamos que este pectoral se fabricó con la técnica descrita anteriormente; es decir, introduciendo la mitad del pectoral en el baño de coloración, la que salió del baño como si fuera de oro, mientras que el resto siguió pareciendo de plata, dado que una tumbaga rica en plata se parece más a la plata que al oro o al cobre. Cuando se observa con cuidado la zona de separación entre ambas mitades, se puede ver una serie de hoyitos, típicos de la corrosión que produce este procedimiento en la región donde hay más acceso de oxígeno en el baño, como puede ser en su superficie.

De lo dicho hasta aquí podemos decir que la metalurgia Mesoamericana Prehispánica en el momento de la conquista había alcanzado un desarrollo tecnológico que se perdió por falta de curiosidad de los invasores y que estamos tratando de reconstruir en base a estudios metalúrgicos modernos sobre material antiguo. ♦