



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

SALAS-BANUET, GUILLERMO; RAMÍREZ-VIEYRA, JOSÉ; RESTREPO-BAENA, OSCAR; NOGUEZ-AMAYA, MARÍA; COCKRELL, BRYAN
DEL EDITOR. LA IMPORTANCIA DE LLAMARSE AFINIDAD QUÍMICA. PARTE II: LA SEMILLA
GERMINA

Dyna, vol. 80, núm. 177, febrero, 2013, pp. 162-170

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49625661020>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

DEL EDITOR

LA IMPORTANCIA DE LLAMARSE AFINIDAD QUÍMICA. PARTE II: LA SEMILLA GERMINA

THE IMPORTANCE OF BEING CHEMICAL AFFINITY. PART II: THE SEED GERMINATES

GUILLERMO SALAS-BANUET

Universidad Nacional Autónoma de México, salasb@unam.mx

JOSÉ RAMÍREZ-VIEYRA

Universidad Nacional Autónoma de México, jgrv@unam.mx

OSCAR RESTREPO-BAENA

Universidad Nacional de Colombia, ojrestre@unal.edu.co

MARÍA NOGUEZ-AMAYA

Universidad Nacional Autónoma de México, nogueza@unam.mx

BRYAN COCKRELL

University of California, Berkeley, USA. bryan.cockrell@berkeley.edu

Recibido para revisar Septiembre 14 de 2012, aceptado Octubre 31 de 2012, versión final Noviembre 30 de 2012

RESUMEN: El concepto de afinidad química abre su desarrollo desde la protohistoria. Se alimenta del pensamiento creativo, liberándose de las creencias de la época y de posiciones de poder, nutriéndose del intercambio de ideas, absorbiendo conocimientos de Egipto y Babilonia. El pensamiento griego -representado por un grupo de jonios y atenienses- centrado en Aristóteles, lleva al inicio de la germinación del concepto de la afinidad química, con los conceptos de átomo, elemento y materia y con la noción de atracción y repulsión entre elementos, que es la precursora de la “afinidad”. Esta época, centrada en el conocimiento, pensamiento y sentido común de Aristóteles, fue la base del pensamiento occidental. La experimentación, la práctica, para responder a situaciones y necesidades que se presentaban, corrió a su ritmo desde la edad de bronce, pero independiente del desarrollo del pensamiento griego. Mediante ésta, se conocen y dominan aleaciones, procedimientos y sustancias, y se reconocen otros que intervienen o son subproductos de procesos y reacciones debidas a la afinidad química.

PALABRAS CLAVE: Afinidad química, materiales, pensamiento, sustancias, metalurgia.

ABSTRACT: The concept of chemical affinity emerges in early historical periods. It develops from creative thinking, freeing itself from the beliefs of the time and institutions of power, nurturing the exchange of ideas, absorbing knowledge from Egypt and Babylon. Greek thought -represented by a group of Ionians and Athenians centered on Aristotle, plants the germ of chemical affinity with the concepts of atom, element and substance and with the notion of attraction and repulsion between elements, which is the precursor to the concept of “affinity”. This concept, focused on knowledge, thought and common sense following Aristotle, was the basis of Western thought. Experimentation, the act of responding to situations and needs as they were presented, and practice, ran alongside each other since the Bronze Age, but were independent of the development of Greek thought. In this way, ancient people became familiar with metal alloying and other procedures and substances that are directly involved in obtaining or that are byproducts of processes and reactions owing to chemical affinity.

KEYWORDS: Chemical affinity, materials, thinking, substances, metallurgy.

1. INTRODUCCIÓN

Siguiendo la línea y el contexto históricos del desarrollo técnico y científico occidental, en la primera entrega

[1] se planteó y desarrolló la idea de que cuando los hombres prehistóricos, principalmente los de Mesopotamia (antigua Irak y noreste de Siria), Egipto y Persia (ahora Irán), obtuvieron los primeros materiales

artificiales cerámicos (terracota, loza, porcelana, vidrio y cemento) y metálicos (plomo, cobre, plata y hierro) -modificando materiales naturales usando la primera herramienta química, la pirotecnología- se sembró intuitivamente en sus mentes la semilla del concepto de afinidad química. Ésta germinaría y evolucionaría durante miles de años, para comenzar a dar sus primeros frutos científicos en el S. XVII.

Sin embargo, durante algunos pocos siglos -a partir de mediados del último milenio a.C.- se da un proceso que inicia en Jonia y finaliza en Atenas, en el que nace la imaginación científica y la idea de que la mente del hombre puede servir para entender al universo de manera diferente a la religiosa -ahora denominada mitológica- y conocerlo tal cual es, sin dejar de creer que existían las divinidades. Es durante este periodo que surgen los conceptos de elemento, átomo, materia y afinidad. El resultado de ese proceso, la filosofía y la ciencia griega, no se puede entender sin contemplar los sorprendentes avances de las primeras civilizaciones, la sumeria/acadia, la babilónica y la egipcia.

El resultado del pensamiento griego permanecería inmutable hasta el siglo IX, cuando los musulmanes, principalmente los de Bagdad, Damasco y Toledo, lo enriquecerían -dando origen a la alquimia, la ciencia basada en la experimentación- y lo difundirían; hacia finales del siglo XIII llegaría a gran parte de Europa, donde se asimilaría y propagaría a otras partes del mundo, a través de diferentes procesos de colonización, en diferentes tiempos. Cabe señalar que en otras regiones del mundo (en Asia, África y América), existieron sociedades que desarrollaron sus propios procesos, materiales y sustancias.

Por otro lado, para que el concepto de afinidad química dejara de ser un concepto práctico, se consolidara y comenzara a dar frutos, requirió de logros y desarrollos en muchas otras áreas, algunas que pueden parecer ajenas a la ciencias química y de materiales; el avance, estancamiento o retroceso del pensamiento en la ciencia -y su rapidez- también se ven afectados por múltiples acontecimientos, algunos más críticos que otros.

2. ANTECEDENTES

Ya iniciado el periodo de la Historia en el oriente cercano (alrededor del 2500 a.C.), se pueden distinguir

dos caminos que coadyuvarían al planteamiento del concepto de la afinidad química, miles de años después.

El primero se encuentra en el pensamiento práctico, basado en el conocimiento previo y el ciclo de prueba-error, que permitió la adquisición de experiencias, la generación de nuevas ideas y el descubrimiento y perfeccionamiento de materiales y sustancias, así como de sus procesos de obtención y manufactura; esto es, la optimización y el desarrollo de la técnica (la protoingeniería). El segundo está en la evolución del pensamiento científico, de uno religioso-mitológico, a otro filosófico, que consolidó en uno científico, permitiendo descubrimientos químicos y físicos (la protociencia).

El primer intento de explicar el universo -de hacer ciencia- se hizo a través del pensamiento religioso; se hacía con la creencia de que todo lo físico estaba animado y tenía características humanas; su destino estaba determinado por los comportamientos terrenales y poderes celestiales de los dioses. La interpretación del universo, ajena a la las creencias religiosas de la época, brota y crece entre los siglos VI y II a.C., en Jonia, el conjunto de ciudades fundadas por la colonización griega de la costa mediterránea oriental, actual Turquía. Se fundamentó en un proceso de planteamiento de preguntas y la búsqueda de ideas lógicas para contestarlas; así, se originaron, entrecruzadas como la urdimbre y la trama, la ciencia y la filosofía. El proceso logró surgir cuando se estableció la existencia de un cosmos lógico (*kosmos*, palabra griega para indicar un todo ordenado o armónico) que podía ser entendido y cuando los pensadores sintieron la necesidad de mostrar superioridad ante los poetas y dirigentes religiosos, la élite de entonces [5a].

El pensamiento griego no se generó espontáneamente, como tampoco lo hace ninguno otro, sino que se basó en el avance tecnológico y social de los pueblos más antiguos.

Se considera que los sumerios constituyeron la más antigua civilización; para el año 4000 a.C., ya habían desarrollado un avanzado sistema de metrología, el cual dio por resultado la aritmética, la geometría y el álgebra; fundaron la ingeniería agrícola, manejando el agua de los ríos para sembrar varios granos, vegetales y frutos; criaban ganado (corderos, cabras y puercos);

formaron una milicia armada e inventaron la rueda, el carruaje y la escritura cuneiforme.

Los babilonios heredaron la ingeniería agrícola sumeria; con ella, proyectaron, construyeron y mantuvieron sus sistemas de riego, generando los instrumentos y conocimientos que ello requería; diseñaron el dispositivo “notación lugar-valor”, usado para transformar el sistema sexagesimal al decimal; fueron expertos en la metalurgia del bronce; desarrollaron la industria textil con sus procesos de abatanado, blanqueo y tinte; fabricaron pigmentos, pinturas, cosméticos y perfumes; tuvieron conocimientos de cirugía y farmacopea. Pero, sobre todo, prosperaron en astronomía. Con la observación milenaria, sistemática y minuciosa y el registro de los movimientos e interacciones de los astros, lograron una interpretación que les permitió predecir las fechas de los ortos heliacos y el periodo entre ellos; saber qué pares de constelaciones aparecen o desaparecen simultáneamente en el horizonte; el camino de la luna y los planetas; el calendario solar con las fechas de sus puntos cardinales; los distintos calendarios lunares y solares; las posiciones planetarias; la longitud de la noche a lo largo del año, medida con clepsidras (relojes de agua); y calcular el ciclo de Saros, que permite predecir los eclipses solares y lunares. Toda esta información se encontró en una tablilla cerámica circular con escritura cuneiforme, fechada por el año 1100 a.C. y en otras dos rectangulares datadas entre los 600 y 500 a.C.

Los egipcios generaron matemáticas complejas, usando el sistema decimal; la astronomía, y con ella la medición del tiempo (los calendarios); el método científico; la navegación; la producción de papel, vino, cerveza, miel, joyas, embarcaciones y arte (escultura, pintura, modelado); agricultura y ganadería; las ingenierías: agrícola, topográfica, de materiales (vidrio, cerámica, metales), civil; arquitectura; medicina y cirugía, entre otras; su desarrollo durante los 3000 años anteriores a Cristo les permitió un alto perfeccionamiento tecnológico.

3. EL PENSAMIENTO GRIEGO

El pensamiento de un reducido grupo de jonios y atenienses que vivieron hace 2500 años, abarcó la política, la historia, la medicina, el arte, la literatura, la

arquitectura, la filosofía y la ciencia; en estas últimas se encuentra el origen de los conceptos químicos: elemento, átomo y materia, necesarios para el de afinidad, entre otros; es obvio que éstos no pudieran conceptuarse aisladamente, sino como parte del pensamiento sobre el mundo. Con el tiempo, esos conceptos quedarían obsoletos, pero mantuvieron su validez por más de un milenio y dieron la base para pensamientos más perfectos. El origen de los conceptos químicos puede notarse en el lenguaje. La palabra griega para elemento es *stoicheia*, en la cual *stoichos* significa hilera (serie de personas o cosas colocadas en línea) y *eios* pertenencia o constituyente; en latín es *elementum*: “elemento, principio básico, rudimento”. La palabra griega para átomo es *átomos* ‘indivisible’ de *a* ‘no’ + *tómos*, verbal de *témneim* ‘cortar’; en latín es *atomus*. La palabra latina *materia* viene de la palabra griega *hýlē* que evolucionó de ‘bosque’ a ‘madera’ y luego a ‘materia’ [7].

Cada principio propuesto por los griegos representa la búsqueda de explicaciones para encontrar un elemento básico constituyente del universo, el arjé -palabra derivada del griego *arché* (de *árkhein* ‘gobernar, mandar, empezar’)- el principio de algo, la esencia de todo lo existente -el antecedente del concepto átomo- y para un “movimiento creador”, que explicara la unión de muchos de esos elementos para crear lo físico (el enlace de los átomos y su porqué).

Se le reconoce a Tales de Mileto (630-545 a.C.) el registro del primer pensamiento independiente del religioso. Ha sido considerado como el primer investigador racional del universo -un científico verdadero (la palabra latina *scientia* significó conocimiento hasta el siglo XIX, cuando cambió al que ahora tiene)- porque expresó sus ideas sobre su origen y naturaleza en términos lógicos y no mitológicos [8a]. Se sabe que Tales fue mercader; viajó frecuentemente y se benefició con el conocimiento de los pueblos que visitó, como el babilonio y el egipcio. El conocimiento aprendido en Babilonia le permitió a Tales realizar la primera predicción griega de un eclipse de sol, en el año 585 a.C. -los babilonios lo hacían desde cientos de años antes- y también trabajar como ingeniero, canalizando ríos. En Egipto aprendió a calcular la altura de grandes estructuras, como las pirámides, a partir de la sombra proyectada, que sería la base para calcular el tamaño de la tierra y de otros astros, así como las distancias

entre ellos. Tales fue un líder político experimentado y respetado, que asesoraba a su gobierno. Su experiencia en el pensamiento sobre el conocimiento le llevó a visualizar y proponer la primera descripción lógica del universo conocido. Él fue quien denominó la palabra *arjé* y propuso al agua como el elemento esencial del mundo -aquel que forma todas las cosas- por sus transformaciones físicas constantes y por lo importante que son para la vida la humedad y la evaporación; ya los sumerios habían establecido la creencia de que el mundo había sido creado a partir del agua. La respuesta a la pregunta que se hizo ¿de qué está hecho el mundo? era simple, característica fundamental en la ciencia y, aunque incorrecta, infería que el universo era racional, simple y, por lo tanto, cognoscible; con esto, mostró un camino más afín a la mente del hombre, que a sus creencias [8b].

El continuador de este camino fue Anaximandro de Mileto (610-546 a.C.), discípulo de Tales. Desechó la idea del *arjé* y en su lugar propuso que todo estaba hecho de *Ápeiron* (del griego *apeihron*, ilimitado), algo indefinido, infinito y no tangible, que tenía una materia inerte, invariable, sin principio ni fin, que siempre estaba activo, aunque de manera semimoviente; del *Ápeiron* se generaban todas las cosas y era donde se destruían.

Anaxímenes de Mileto (585-524 a.C.), discípulo y compañero de Anaximandro, propuso sustituir el *arjé* por el *aer* -radical griego que significa aire, niebla, aliento- como la sustancia primigenia del mundo, un vapor, cuya densidad variaba y al hacerlo se iba transformando en todas las demás cosas. Explicaba que el *aer* se movía bajo presión y cambiaba; cuando era uniforme resultaba invisible para el ojo humano; cuando era denso, los vientos soplaban y si se volvía más denso, se formaban las nubes; con mayor densidad aún, estas se convertían en agua; el granizo era agua solidificada y la nieve también, solo que cristalizaba en condiciones de mayor humedad [9a].

El famoso matemático Pitágoras de Samos (582-507 a.C.) descubrió una correlación entre la matemática y la física: los intervalos musicales son expresables en simples relaciones numéricas entre los primeros enteros; así, al detener la cuerda de una lira en los tres cuartos, dos tercios o la mitad de su longitud, obtenía un cuarto, un quinto, y un octavo de su nota, respectivamente. Con ello, propuso una analogía en la que el cosmos

era un conjunto ordenado de cuerpos celestes, los cuales guardaban una disposición armónica, esto es, sus distancias tenían, entre sí, proporciones iguales a los intervalos de la escala musical. Estaba convencido de que los números guardaban el secreto del universo y que el número era el elemento básico que formaba todo lo demás, indicando, con ello, que no era una abstracción, sino un concepto real [9b].

Para Heráclito de Éfeso (535-484), como para los demás pensadores, el fundamento de todo estaba en el cambio constante; por ello determinó que el elemento del universo era el fuego; explicó que sólo se mantiene si consume y destruye, con lo que permite la regeneración. Con Heráclito se origina la física de los contrarios: frío y caliente, húmedo y seco, los cuales forman una unidad armónica [10a].

Un discípulo de Pitágoras, Leucipo de Mileto (460-370 a.C.), y su alumno Demócrito de Abdera (460-370 a.C.), son considerados los fundadores de las teorías atomísticas. Afirmaron que el mundo estaba compuesto de una miríada de diminutas partículas de materia inerte, invisibles e indivisibles (los átomos) -con formas y arreglos variados y transitorios- moviéndose, colisionando y tomando posiciones aleatorias en un vacío infinito, necesario para el movimiento; una especie de maquinaria sin vida en la que todo lo que ocurre es el resultado de la naturaleza del movimiento de las partículas [11a]. Se infiere que durante las colisiones, los átomos podían rebotar, unirse o separarse, formando o destruyendo las cosas, en un proceso infinito.

Anaxágoras de Clazomene (500-428 a.C.), primer jonio que se trasladó a Atenas, lugar que se convertiría en el centro del pensamiento de esa época, sugirió que el sol y demás estrellas eran masas inmensas de hierro candente; que la luna procedía de la tierra y que reflejaba la luz del sol [9c], por lo cual fue perseguido por impiedad y exilado a la colonia griega de Lámpsaco. La pregunta que estableció era ¿cómo puede el pelo surgir de lo que no es pelo y la carne de lo que no es carne? Para responderla, estableció que la materia era una mezcla de partículas que contenían porciones muy pequeñas de todas las cosas existentes en el universo visible, no susceptibles de creación ni destrucción, a las que denominó gérmenes (los átomos); éstas eran diferentes para cada cosa, con lo que las que

tenían más pelo formaban el pelo y las que tenían más carne formaban la carne, etc. [9d, 10b].

Empédocles de Agrigento (484-424 a.C.) Además de que probó físicamente que el aire era materia, pensó que había cuatro raíces (elementos), en todas las cosas materiales, que al unirse asumían distintas formas. También caviló que faltaba algo que explicara el movimiento y el cambio; así, introdujo un par de contrarios: el amor y el conflicto, la atracción y la repulsión, los cuales inducían a las partículas (los átomos) de las cuatro raíces a unirse o separarse [10b, 11b]; esta idea es la precursora del concepto de afinidad química.

Platón (429-347 a.C.), discípulo de Sócrates y maestro de Aristóteles, utilizó, por primera vez, la palabra elemento, tal como se definió en el punto 3. Él asumió que las cosas se producían a partir de un material primario sin forma, contenido en el espacio, que podía tomar formas. Matematizó la naturaleza cuando le asignó una forma a cada una de las diminutas partículas de los cuatro elementos: al fuego un tetraedro, al aire un octaedro, al agua un icosaedro y a la tierra un cubo, todos cuerpos geométricos regulares que están formados por combinaciones de triángulos; entonces, los cuatro elementos podían reducirse a triángulos y mutar unos en otros -en relaciones definidas- por descomposición y reasociación; así, el triángulo era el elemento del universo. Cabe notar que cada uno de estos cuatro átomos geométricos era sólido y que al ser nombrados como fuego, agua, aire y tierra, solamente se establecía una metáfora de sus características [12a]. Platón sabía que sólo existen cinco cuerpos geométricos regulares: tres formados por veinte triángulos equiláteros, el tetraedro, el octaedro y el icosaedro y dos formados por doce pentágonos, reducibles a triángulos, el cubo y el dodecaedro; como tenía cuatro elementos y cinco cuerpos geométricos, se le ocurrió que el dodecaedro se identificaba con el cosmos en su conjunto. La propuesta de que cada uno de los cuerpos podía descomponerse en triángulos y “resucitar” de distintas maneras para producir diferentes sustancias, desarrolla la idea de que, pese a las apariencias, el universo está hecho de un material básico [10c, 11c].

Es Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) quien resume las teorías de sus predecesores para desarrollar su visión: todas las sustancias y los individuos estaban hechos

de dos elementos primarios, uno, al que llamó *hylè*, ‘materia’; con la unión de varios podían materializarse las diferentes cosas, como lo hace un escultor que modela en barro una estatua y le da la forma, llamada *eidos*, que era el otro elemento primario. Las formas podían ser removidas y remplazadas por unas nuevas, con lo que se originó la idea de la transmutación, fundamental en la alquimia. Retomó la idea de las cuatro raíces -elementos, los llamó- de la materia: tierra, aire, agua y fuego, la definición de elemento era el concepto de átomo; estableció que sus propiedades fundamentales eran: calidez, frialdad, humedad y sequedad; así, el agua era húmeda y fría, el aire húmedo y caliente, el fuego caliente y seco y la tierra fría y seca. A los cuatro materiales agregó un quinto, inmaterial, el éter [12a].

Según Epicuro de Samos (341-270 a.C.), todas las cosas del mundo están formadas por dos elementos: los átomos -con forma geométrica, tamaño y peso- y el vacío, el espacio en donde los átomos se mueven al azar e interaccionan uniéndose y separándose en un proceso sin fin; las diferentes cosas que hay en el mundo serían el fruto de las distintas combinaciones (enlaces) de esos átomos. El cuerpo y el alma del hombre no escapaban a esta concepción, sólo que el alma, proponía, estaba formada por átomos más sutiles, que no habían tenido un principio ni tendrían final [13].

El pensamiento físico de estos griegos se basaba en la observación del mundo, no en la experimentación; por esta razón, varias de las conclusiones eran simples generalizaciones, poco afortunadas a veces. La falta de experimentación se atribuye a la bonanza de la Grecia antigua; ésta trajo consigo un gran número de esclavos, identificados con la manipulación, necesaria en la experimentación, que la ponía al nivel de la esclavitud, innoble a los ojos del grupo de griegos privilegiados. De cualquier modo, muchas de las ideas parecen exitosas porque concuerdan con el pensamiento científico de hoy. La teoría de los cuatro elementos materiales persistió hasta casi el final del siglo XVIII [12b].

Existieron otros dos filósofos griegos que contribuyeron con algo más que su pensamiento al conocimiento de la materia. Teofrasto de Éfeso (371-287 a.C.), discípulo de Platón y Aristóteles, quien heredó los escritos y la dirección de la academia del último. Uno de sus

productos importantes fue *De las piedras*, trabajo corto de clasificación, fechado alrededor del año 300 a.C., en el cual establece, basado en el pensamiento de sus predecesores, que algunas de las sustancias que se forman en la tierra están constituidas de agua y otras [14a]. Teofrasto entendió que el fuego no era un elemento en sí mismo, sino que existía debido a la reacción de otros elementos que ardían, y que no podía existir sin un “sustrato”, le llamó. El segundo fue Estratón de Lámpsaco (340-268 a.C.), quien fue sucesor de Teofrasto en la dirección de la academia de Aristóteles. Dedujo, con un experimento, que el aire era un elemento, formado por partículas materiales; así, se convirtió en el primer científico experimental, aunque su experimento haya sido más bien una experiencia.

Con las conquistas guerreras de Alejandro Magno (356-323 a.C.), Grecia se convierte en un gran imperio, situación que coincide con la finalización del periodo de oro del pensamiento griego. Es razonable pensar que las condiciones que habían propiciado el pensamiento libre -que fundamentaron el conocimiento y la ciencia de la materia- cambiaron. Sin embargo, la nueva situación ayudó a la emergencia de otro tipo de actividad intelectual, “una industria del conocimiento” [15], que inicia con la creación de una biblioteca en la ciudad de Alejandría, cuya construcción inicia cerca del año 300 a.C.

Poco antes del año 300 d.C., la biblioteca de Alejandría fue destruida y, en el año 529 d.C, Justiniano, emperador bizantino, clausura la academia de Platón y el liceo de Aristóteles, junto con las demás escuelas griegas sobrevivientes, después de poco más de 900 años de actividad, cuando decide dar prioridad los estudios cristianos sobre los paganos. En el mismo siglo, como muestra del fin del pensamiento clásico y del avance del cristianismo, Hipatia es asesinada por una turba de cristianos, por ser mujer, pensante y pagana. Los pensadores que iban quedando se refugiaron en el imperio Sasánida (2° imperio persa) -llevándose consigo obras de gran valor- específicamente en la ciudad de Gondeshapur, en el suroeste del actual Irán, la cual había establecido una academia multicultural -refugio de estudiosos, políticos y religiosos de diversos credos y lugares, como la misma Persia, India, Palestina, África, Roma y Grecia-, considerada el fundamento del modelo intelectual musulmán, que dominaría durante casi un milenio.

4. LA PRÁCTICA

Todavía en la Prehistoria, alrededor del año 3000 a.C., se inicia la edad del bronce; en ese entonces se fabricaban aleaciones de composición química muy variada -porque estaba en función de los elementos que se encontraban en el mineral, o mezcla de ellos, usado para la extracción del cobre- por lo que también lo era la gama de propiedades obtenidas. La falta de un conocimiento preciso de las materias primas y de los parámetros de los procesos impedía su control. Ya en el periodo de la Historia, en plena edad del hierro y al final de la edad del bronce, por el año 1200 a.C., la fabricación de los bronce al estaño se distingue por la alta precisión en su composición química, debida, en gran parte, al desarrollo del método de la extracción del Sn, desde la casiterita, SnO_2 , que se añadía al Cu de manera precisa. Usando el SnO_2 de los depósitos aluviales, su extracción con carbón era simple; al tener que extraerse de las menas, se requirió de una tostación oxidante previa, entre 600-700°C, para quitar los sulfuros de hierro, cobre y arsénico, y luego reduciendo la casiterita con carbón. Los romanos lograron obtenerlo 99.9% puro, sacrificando mucho del contenido en el mineral.

A lo largo de la edad del bronce, se logró conocer la casi totalidad de los tipos de fenómenos metalúrgicos, con la salvedad de los relativos al endurecimiento del acero [16].

4.1. El latón

Para alrededor del año 1000 a.C., a los materiales y sustancias comercializados durante la Prehistoria se les sumó el latón, aleación de cobre con Zn, primer producto importante de la pirotecnología del periodo de la Historia, también llamado el octavo metal. Sus desarrolladores fueron los herreros que habitaban el Ponto, un territorio ubicado al sur del mar negro, en la costa noreste de la península de Anatolia, en la actual Turquía.

El Zn metálico no existía, se logró extraer hasta el siglo XVI; por ello, el latón que se produjo a partir del año 1000 a.C. se hacía a través del proceso llamado calamina, en el cual se calentaba una mezcla de cobre, carbón de leña y polvo de calamina, término designado por los antiguos mineros para el material

que aparece con frecuencia en la parte alta de las minas de Zn, que realmente contiene tres minerales: la hemimorfita, $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, la smithsonita, ZnCO_3 y la hidrocincita, $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$. Las resistencias mecánicas de los latones útiles (hasta 40% de Zn) son parecidas a las de los bronce al Sn, pero inferiores a las de los aceros, por lo que su utilidad como armamento era poca; en cuestión de colores, el cobre es rojizo, el latón con 20% de Zn es similar al oro -de ahí su valor y uso ornamental en los templos y palacios, aunque el olor de los latones es desagradable y, por tanto, inadecuado para ser usado en utensilios para comer o beber-, con mayor cantidad de Zn se obtiene un blanco deslustroso. A la aleación con 20% Zn y a las otras de cobre que también tienen el color del oro (aleaciones Cu-Au, Cu-Ag y Cu-Au-Ag, que se enriquecen por la oxidación natural del Cu, al Cu-13% Sn y a las aleaciones de cobre con algo de Sb o de As), se les llamó *aurichalcum*, del latín, que significa oro de cobre. El latón obtenido por los habitantes del Ponto sobresalía por su brillo y blancura, lo cual habla del dominio que tenían del proceso.

4.2. Otros metales y aleaciones

Se fabricaron algunas aleaciones base Sn con plomo negro, como se le decía al plomo entonces: una para producir soldadura, y otra para manufacturar peltre, usado para hacer recipientes y otros objetos caseros. Se dice que el Pb blanco, término usado indistintamente para el Sb y el Sn, se usó para platear artículos de bronce, sumergiéndolos en algunas aleaciones con Sn, fundidas; actualmente se deposita Sn sobre Cu y Fe, para protegerlos de la oxidación. El antimonio se extrae de la estibinita, un polvo pardo negruzco, que ya usaban los egipcios para maquillarse los ojos; también se usó aleado con Cu, para que la aleación pareciera oro o para sustituir a los bronce aleados con Sn, en donde éste no existía. De igual manera, el As se usó para fabricar bronce, pero sus aleaciones son frágiles [17b]. El bismuto puede encontrarse en estado nativo; también se le confundía con el Pb. Se usó como cosmético, ya que refracta la luz, produciendo una iridiscencia nacarada.

4.3. Sustancias y materiales conocidos, producidos y/o usados.

Por miles de años, el trabajo cuidadoso de los materiales y procesos directa o indirectamente relacionados a la

pirotecnología, no sólo había permitido su perfección, sino también el conocimiento de algunos productos secundarios asociados a ellos, observados durante su extracción u obtención; por otro lado, otros materiales o sustancias fueron producidos fuera de la pirotecnología; en ocasiones los hicieron interactuar para obtener otros, utilizando intuitivamente la afinidad entre ellos. Gracias a la escritura, en tablillas y papiros, y a la evidencia arqueológica obtenida en excavaciones, es factible presentar, abajo, un listado de ellos [14b]. La fuente original de su registro está, además del libro *De las Piedras*, de Teofrasto, en las cerca de 22000 tablillas, sobre muchos y distintos temas relativos a las ciencias, las matemáticas, la astronomía, la gramática, la historia, el arte, etc., encontradas en las ruinas de la biblioteca de Assurbanipal, rey del imperio neoasirio, en la ciudad de Nínive, destruida en el 612 a.C. y en los libros *Naturalis Historiae*, de Plinio el viejo, y *De Materia Médica*, de Dioscórides, estos últimos del siglo I d.C.

1- El salitre; es nitrato de potasio, KNO_3 , una sal que se ioniza en el agua ($\text{K}^+ + \text{NO}_3^-$) y que resulta un almacén natural de nitrógeno, por lo que se usó como fertilizante; también sirvió como saborizante y conservador de alimentos. 2- El vinagre; del latín *vinum acre*, vino agrio -agua con ácido acético, CH_3COOH , en una concentración de 3 al 5 % y algo de los ácidos tartárico y cítrico- se obtiene por fermentación acética de un alcohol de vino, manzana, arroz, etc., inicialmente usado como conservador de alimentos y para aliñar las ensaladas y, posteriormente, para fabricar dos pigmentos: un acetato de cobre y otro de plomo. 3- El asfalto; del griego *ásphaltos*, betún y del latín *bitumen*, betún. Es un material bituminoso -mezcla de hidrocarburos y sustancias minerales- negro, viscoso y pegajoso, que se encuentra en el petróleo y que ha sido empleado como pegamento, aglomerante e impermeabilizante. 4- El acetato de plomo; $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, conocido como azúcar de plomo, es el producto de sumergir litargirio u óxido de plomo, PbO , en ácido acético, CH_3COOH , contenido en el vinagre y algunas plantas y frutos. Se usó como desecante de pinturas y fijador de tintes en textiles; es soluble en agua.

Los romanos usaban el Pb para fabricar tuberías para agua; si ésta era dura, el carbonato contenido en ella se unía al Pb, formando un carbonato de plomo, PbCO_3 , conocido como plomo blanco, que se depositaba en los tubos, cubriéndolos e impidiendo que el Pb contaminara

el agua; éste se usó como cosmético y como fijador de tintes. Cuando en la tubería se formaba un exceso, tapándola, los romanos acostumbraban llenarla con vino –que contiene ácido acético–, formando principalmente acetato de Pb, soluble en agua, destapándose fácilmente.

Si en el vinagre se usaba litargirio en exceso, se formaba un acetato de Pb hidratado, conocido como blanco de plomo, que era usado por los egipcios y griegos antiguos en cosmética. 5- El acetato de cobre, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$; es el componente principal del cardenillo –que contiene además óxidos e hidróxidos de Cu– la pátina verde azulada del Cu y sus aleaciones. Es tóxico, pero debido a su color, se usó como pigmento; fue el pigmento verde más “arrebataador” usado en la pintura, conocido como verdigrís. Se fabricaba a partir del óxido de cobre, CuO , con el ácido acético del vinagre. 6- El antimoniato de plomo, $\text{Sb}_2\text{Pb}_2\text{O}_7$; es el producto de la calcinación oxidante de una mezcla de Sb y Pb, apenas debajo de los 920°C . Se produjo en la ciudad de Tebas desde el 1500 a.C. El color del compuesto es amarillo brillante, se le usó como pigmento de vidrios, cerámica y pinturas y es conocido como amarillo de Nápoles o de Pb. En forma natural, existe en la bindheimita, mineral conocido desde aproximadamente el 2600 a.C., pero que no se usó como pigmento. Se producía calcinando una mezcla de litargirio (PbO) y óxido antimonioso, Sb_2O_3 , en presencia de oxígeno. 7- La argentita, Ag_2S (del latín *argentum*, plata); es en realidad acantita, un mineral sulfuroso, Ag_2S , estable a temperatura ambiente. La acantita es un polimorfo monoclinico de la argentita, cúbica; la argentita solo existe arriba de los 177°C ; si el mineral es puro, contiene 87.1% de Ag. Se comenzó a usar para extraer Ag, en vez de hacerlo a través de la galena, en donde se encuentra presente sólo entre 1 y 2%, debido a la presencia de acantita. 8- La calcopirita, CuFeS_2 ; es el mineral de Cu más importante por su abundancia y amplia distribución, así como por las ganancias económicas que aporta (cerca de un tercio del peso del mineral es Cu). Por lo general se encuentra debajo de los depósitos superficiales de malaquita. Los carbonatos y óxidos de cobre –usados anteriormente para extraerlo– tenían las ventajas de que se reducían fácilmente con carbón, sin necesidad de usar el proceso de tostación necesario en los sulfuros, y de que había que excavar poco. 9- El cinabrio, es uno de los sulfuros de mercurio, HgS , de color bermellón. Este mineral fue la principal fuente del Hg. Está relacionado a la

minería de la plata; puro, aunque usualmente no lo está, contiene 86.2% de Hg; dependiendo de la ubicación de sus menas. Cuando se descubrió, se usaba para preservar huesos humanos y pigmentar. 10- El sulfuro de antimonio, Sb_2S_3 , conocido como estibinita o antimonita, es otro mineral relacionado con la minería de la plata. Los egipcios lo usaron como el principal ingrediente del kohl, empleado para maquillar los ojos y los babilonios para ornamentar vasijas. 11- La cadmia; relacionada a la minería del Cu. Se aplicó este nombre a dos minerales idénticos a la vista: un carbonato de Zinc, ZnCO_3 , conocido como smithsonita y un silicato de Zn, $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, la hemimorfita; se pudieron distinguir hasta el siglo XVIII, por análisis químico. 12- El cloruro de plata, AgCl , es una sal poco soluble. Se obtenía como un subproducto del proceso de copelación del oro; debido a su baja solubilidad, fue usada como un aditivo útil en una película iridiscente que produce un reflejo cambiante, formada por óxidos de Ag y de Cu, mezclados con ocre, que eran depositados sobre el vidrio y posteriormente sobre la cerámica, para luego calentarla. 13- Los vitriolos; así se le llamaba a las sales que por su cristalinidad parecían vidrios; son compuestos o minerales, principalmente los sulfatos de metales comunes en la superficie terrestre (Fe, Al, Cu, Zn). El vitriolo verde, el comúnmente conocido como vitriolo, llamado también caparrosa verde, es un sulfato de hierro, FeSO_4 , que hidratado, tiene forma de cristales con un color azul verdoso y que, deshidratado, constituye un polvo verde. Como es soluble en agua y ayuda a purificarla por floculación, es muy probable que se haya usado para este fin. 14- Los alumbres; son sulfatos dobles equimoleculares, uno de un metal trivalente (Al) y otro de uno monovalente. La sustancia conocida como alumbre, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, es el alumbre potásico, una sal cúbica muy soluble en agua. Es astringente y aplicada tópicamente cauteriza; mata las bacterias; aclara las aguas turbias y fija los tintes en las telas. 15- La frita; son cerámicas –una combinación de sustancias inorgánicas– de composición eutéctica, que se funden a temperaturas elevadas (arriba de 1500°C), se templean para obtener estructuras amorfas (vidrio), para granularlas por trituración; al controlar la composición química del eutéctico se evita la solubilidad de los elementos tóxicos y se reduce el punto de fusión del material. Las fritas pulverizadas, mezcladas con arcilla y con determinadas materias primas minerales, en suspensión acuosa, forman los esmaltes vidriados aplicados a

las cerámicas. 17- La sosa cáustica o lejía, NaOH; se fabricaba al tratar natrón, (carbonato de sodio hidratado) $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, con Ca(OH)_2 , hidróxido de calcio. El Ca(OH)_2 se obtenía hidratando la cal viva, CaO, óxido de calcio, producto muy cáustico, conseguido al calcinar roca caliza, CaCO_3 , en un medio oxidante. Ambos, el carbonato de sodio y el hidróxido de calcio, fueron conocidos desde miles de años a.C., por los egipcios y los sirios. [1]. La sosa cáustica fue la primera sustancia conocida que era capaz de tener una evidente, espontánea e intensa actividad química; su principal uso fue para fabricar jabón.

5. CONCLUSIÓN

La actividad intelectual griega y el proceso de mejoramiento y optimización de los métodos usados para extraer o fabricar materiales y sustancias, junto con la actividad humana circundante, permitieron que la semilla plantada en el hombre prehistórico, relativa a la afinidad química, comenzara a germinar.

6. REFERENCIAS

- [1] Salas, G., Ramírez, J., Restrepo, O., Cockrell B. y Noguez, M., La Importancia de Llamarse Afinidad Química. Parte I: La Semilla. Dyna, Año 79, pp. 135-144, 2012.
- [2] Schmandt-Besserat, D., Before Writing, Vol. 1, From Counting to Cuneiform, University of Texas Press, Austin, 1992.
- [3] Nissen, H., The early History of the ancient Near East, University of Chicago Press, Chicago, p. 138, 1988.
- [4] Saggs, H., Before Greece and Rome, B. T. Batsford, London, pp.78-84, 1989.
- [5] Lloyd, G. and Sivin, N., The Way and the World; Science and Medicine in Early China and Greece, Yale University Press, New Heaven and London, a) p. 241, b) pp. 242-248, 2002.
- [6] Schrödinger, E., Nature and the Greeks and Science and Humanism, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 55-58, 1996.
- [7] Gómez de Silva, G., Breve Diccionario Etimológico de la Lengua Española, El Colegio de México y Fondo de Cultura Económica, México D.F., 2001.
- [8] Kitto, H., The Greeks, Penguin, London, a) p. 177, b) p. 179, 1961.
- [9] Burn, A., The penguin History of Greece, Penguin, London, a) p. 86, b) p. 138, c) p. 248, d) p. 247, 1966.
- [10] Leicester, H. M., Panorama Histórico de la Química, Editorial Alambra, S. A., Madrid, a) p. 23, b) p. 25, c) p. 29, 1967.
- [11] Lindberg, C. D., Los Inicios de la Ciencia Occidental, Paidós, Barcelona, a) pp. 29-34, b) p. 31, c) pp. 40-41, 2002.
- [12] Partington, J. R., A short History of Chemistry, Dover Publications Inc., New York, a) p. 13, b) p. 14, 1989.
- [13] Webdianoia, Epicuro de Samos. Disponible en http://www.webdianoia.com/helenismo/epicuro_fil.htm [consultado el 26 de septiembre de 2012].
- [14] Multhauf, R. P., The Origins of Chemistry, Gordon and Breach Science Publishers, Langhorne, a) p. 28, b) pp. 26-32, 1993.
- [15] Empereur, J., British Museum, London, p. 3. 1998.
- [16] Smith, C., Art, Technology, and Science: Notes on their Historical Interactions, Technology and Culture, 11, pp. 493-549, 1970.
- [17] Habashi, F., A History of Metallurgy, Fathi Habashi, Quebec, a) p. 60, b) pp. 51-52, 1994.