

EL CARBONO: CUENTOS ORIENTALES

Autores: PEDRO BOSCH / GRACIELA PACHECO

COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores

Dr. Leopoldo García-Colín

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Guillermo Haro †

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Emilio Rosenblueth †

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías

Primera edición, 1995

La ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior; e Investigación científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1995, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16 -4733-5

Impreso en México

PRÓLOGO

De *Las mil y una noches* existen múltiples versiones: para niños y para no tan niños. De sus cuentos se han filmado películas y puesto en escena ballets y obras de teatro. Son pocos por lo tanto, quienes no saben la manera que encontró Scherezada para salvar la vida. Sin embargo, al volver a leerla, ¿quién no ha pospuesto alguna obligación, algún deseo, o sólo el sueño por descubrir el desenlace de alguno de los cuentos?

Además del buen rato y del entretenimiento que *Las mil y una noches* procuran, al cerrar el libro el lector suele haber adquirido una visión de conjunto de la sociedad islámica: el oriente de los siglos IX y X, un imperio cultural unido en lo espiritual por La Meca y, políticamente, por la señorial Bagdad.

Es en este oriente poblado de genios y de *efrits* —un mundo tan imaginativo como exótico— en el que hemos decidido enmarcar nuestra explicación, pues creemos, que la descripción de las propiedades del carbono, de su comportamiento y de su reactividad puede ser tan evocadora como las aventuras de Simbad. De *Las mil y una noches* hemos rescatado únicamente el ambiente y, quizás, el estilo, transcribiendo fragmentos de la versión original traducida al español.

En nuestro texto son muchos los conceptos que damos por conocidos y que no lo eran en el siglo X. Los anacronismos abundan, pues sería absurdo tratar de desconocer la existencia de América o tratar de explicar la estructura del átomo con los conocimientos del siglo X.

Así todo, no faltará quien, como nosotros, disfrute los absurdos resultantes al hacer convivir el mundo científico del siglo XX con la magia y los hechizos que aparecen en los relatos de Scherezada. Si muchos autores han catapultado sus cuentos al futuro para transmitirnos supuestas contradicciones existentes en las teorías científicas, ¿por qué no atreverse a viajar al pasado montados en una alfombra de... carbón? Nuestros cuentos orientales están sembrados de acertijos, de átomos que se convierten en mercaderes y de las envidias que generan los átomos de carbono, sobre todo si se encuentran en forma de diamante. Así, poco a poco, van quedando descritas las propiedades del carbono en la química inorgánica, personaje principal de este libro.

Y si el lector, por terminar alguna de nuestras extravagantes historias, se va a la cama un poco más tarde, nos daremos por satisfechos, pues ¿cuántas veces no se habrá dormido, casi de inmediato, con un libro de química en la mano? Y si además lee *Las mil y una noches*, nos sentiremos colmados.

Sería ingrato no agradecer a Dora Pedroza Freyre y a Mary de Miguel Reyes su cuidadoso trabajo de mecanografía.

I. HISTORIA DEL REY SCHAHRIAR Y DE SU HERMANO EL REY SCHAHZAMÁN

¡Aquello que quiera Alá!
En el nombre de Alá
el clemente,
el misericordioso
Que las leyendas de los antiguos sean una
lección
para los modernos, a fin de que el hombre
aprenda
de los sucesos que ocurren a otros que no son
él.
Entonces respetará y comparará con atención
las
palabras de los pueblos pasados y lo que a él
le ocurra, y se reprimirá.
Por esto, ¡gloria a quien guarda los relatos de
los
primeros como lección dedicada a los
últimos!

CUÉNTASE —pero Alá es más sabio, más prudente, más poderoso y más benéfico— que, en lo que transcurrió en la antigüedad del tiempo y en lo pasado de la edad, hubo un rey entre los reyes de Sassan, en las islas de la India y de la China. Tenía dos hijos, Schahriar y Schahzamán, ambos reyes y heroicos jinetes. Residió cada hijo en su país, y gobernaron con justicia a sus ovejas durante 20 años, y llegaron ambos hasta el límite del desarrollo y el florecimiento.

No dejaron de ser así hasta que el mayor, Schahriar, sintió vehementes deseos de ver a su hermano, así que le ordenó a su visir que partiese a buscarlo y volviese con él. El visir contestó: "Escucho y obedezco."

Partió, pues, el visir y llegó felizmente por la gracia de Alá. Entró en casa de Schahzamán, le transmitió la paz, le dijo que el rey Schahriar deseaba ardientemente verle, y que el objeto de su viaje era invitarle a visitar a su hermano. El rey Schahzamán contestó: "Escucho y obedezco." Dispuso los preparativos de la partida mandando sacar sus tiendas, sus camellos y sus mulas, junto con sus servidores y auxiliares.

Pero a media noche recordó que había olvidado algo. Volvió a su palacio secretamente y se encaminó a los aposentos de su esposa, a quien pensaba encontrar triste y llorando por su ausencia. Grande fue pues su sorpresa al hallarla departiendo con gran familiaridad, con un negro, esclavo entre los esclavos.

Desenvainó inmediatamente el alfanje, y acometiendo, a ambos, los dejó muertos sobre los tapices del lecho. Volvió a salir, sin perder una hora ni un instante, y ordenó la marcha de la comitiva hasta avistar la ciudad de su hermano.

Entonces éste se alegró de su proximidad, salió a su encuentro y, al recibirlo, le deseó la paz. Pero el rey Schahzamán recordaba la infidelidad de su esposa, y una nube de tristeza le velaba la faz. Al fin, un día, el rey Schahriar le dijo:

—Hermano, tu cuerpo enflaquece y tu cara amarillea. Quisiera que me acompañaras a cazar a pie y a caballo, pues así tal vez se esparcirá tu espíritu.

El rey Schahzamán no quiso aceptar y su hermano se fue solo a la cacería. Había en el palacio un gran número de ventanas que daban al jardín, y habiéndose asomado a una de ellas el rey Schahzamán, vio cómo se abría una puerta secreta para dar salida a veinte esclavas y veinte esclavos, entre los cuales avanzaba la mujer del rey Schahriar en todo el esplendor de su belleza. Ocultándose para observar lo que hacían, el rey Schahzamán pudo convencerse de que la misma desgracia de que él había sido víctima, la misma o mayor cubría a su hermano el sultán. A todo esto, su hermano volvió de la excursión y ambos se desearon la paz.

—Hermano, poco ha te veía amarillo de tez y ahora has recuperado los colores. Cuéntame ¿qué te pasa?

Schahzamán le dijo:

—Te contaré la causa de mi anterior palidez, pero dispénsame de referirte el motivo de haber recobrado los colores.

Cuando su hermano oyó estas palabras, le respondió:

—¡Por Alá, te conjuro a que me cuentes la causa de haber recobrado tus colores!

Entonces el rey Schahzamán le refirió cuanto había visto. El rey Schahriar mandó degollar a su esposa, así como a sus esclavos y esclavas. Persuadido de que no existía mujer alguna de cuya fidelidad pudiese estar seguro, resolvió desposarse cada noche con una y hacerla degollar apenas alborease el día siguiente. Así estuvo haciendo durante tres años, y todo eran lamentos y voces de horror, y los hombres huían con las hijas que les quedaban.

En esta situación, el rey Schahriar ordenó al visir que, como de costumbre, le trajese una joven. Este visir tenía dos hijas de gran hermosura, que poseían todos los encantos, todas las perfecciones y eran de una delicadeza exquisita. La mayor se llamaba Scherezada y el nombre de la menor era Donaziada.

El visir le contó a su hija Scherezada cuanto había ocurrido desde el principio al fin. Ella escuchó cuidadosamente y le propuso: por Alá, padre, cásame con el rey, porque si no me mata seré la causa de la salvación de las hijas de los musulmanes.

El visir, sin replicar nada, mandó que preparasen el ajuar de su hija, y se marchó a comunicarle la nueva al rey Schahriar.

Mientras tanto, Scherezada le decía a su hermana Donaziada:

—Te mandaré llamar cuando esté en el palacio y así que llegues y veas que el rey ha terminado de hablar conmigo, me dirás: "Hermana, cuenta alguna historia maravillosa que nos haga pasar la noche." Yo narraré todos los cuentos que sé sobre el carbono, cuentos que hablan de lo que es y de lo que se puede hacer con él y, si así lo quiere Alá, este elemento será la causa de la emancipación de las hijas de los musulmanes.

Fue a buscarla después el visir, y se dirigió con ella hacia la morada del rey, pero cuando el rey quiso acercarse a la joven, ésta se echó a llorar. El rey le dijo:

—¿Qué te pasa?

Y ella contestó:

—¡Oh rey poderoso! Tengo una hermana, de la cual quisiera despedirme.

El rey mandó buscar a la hermana y vino Donaziada y empezaron los tres a conversar.

Donaziada le dijo entonces a Scherezada:

—Hermana, ¡por Alá!, cuéntanos alguno de esos cuentos que te sabes sobre el carbono para que pasemos la noche.

—De buena gana y como un debido homenaje, si es que me lo permite este rey tan generoso, dotado de tan buenas maneras.

El rey, al oír estas palabras, se prestó de buen grado a escuchar la narración. Y Scherezada; aquella primera noche, empezó su relato con la historia que sigue.

II. EL ÁTOMO DE CARBONO

PRIMERA NOCHE

SCHEREZADA dijo:

He llegado a saber sobre el carbono, ¡oh rey afortunado!, no sólo lo que los sabios de tu reino cuentan hoy. He de narrarte, como a mí me lo narró un *efrit*, lo que se sabe en este nuestro siglo XX de la era cristiana. Los sabios de todos los mundos están convencidos de que cuanto ser hay, vivo o muerto, cuanto objeto, planeta o estrella, todo está constituido por pequeñísimas partículas llamadas átomos.

Según el *efrit*, es a Dalton, un químico famoso entre los infieles de Inglaterra, a quien se le atribuye lo que podríamos llamar el descubrimiento del átomo. Sin embargo, antes que él, ya los griegos, cuyos relatos se conservan en nuestras bibliotecas, hablaban de ello y tú lo sabes. Y aquí empieza, Gran Señor, mi historia.

Hubo un rajá en la isla maravillosa de Ceilán, o como ahora la llaman Sri Lanka, que coleccionaba los objetos más pequeños. Tenía granos de arroz pintados en un extremo con un paisaje, alfileres sobre cuya punta habían esculpido una bailarina y, del lejanísimo México, le habían traído pulgas vestidas. Pues ese rajá, además de coleccionista era caprichoso, así que una noche decidió que tenía que ser dueño de la canica más pequeña del mundo y, entre bromas y veras, se lo dijo a cada uno de sus tres hijos. Pensó que el que satisficiera su deseo demostraría ser el más inteligente y el que más lo quería.

"De oro, de puro oro ha de ser la pequeñísima canica", dijo el hijo mayor y salió a encargársela al mejor orfebre de Kandy. El mediano quiso superarlo y, por lo tanto, decidió conseguir una diminuta caniquita de rubí.

El más joven de los hijos del rajá dijo que la suya sería la más chica de todas y tenía que estar hecha del modesto carbón. No tuvo que viajar ni que pagar grandes fortunas: sólo tuvo que partir un trozo de carbón en dos. Obtuvo, entonces, dos trozos de carbón más pequeños que el primero. Al romper uno de esos trozos otra vez, dispuso nuevamente de otros dos trozos del mismo material. Repitió el proceso tantas veces como las caravanas han atravesado el desierto, hasta que obtuvo un trozo de carbón tan, pero tan pequeño, que si lo hubiera partido el resultado ya no hubiera sido carbón, sino electrones, neutrones y protones.

Fue a ese pequeñísimo trozo de carbón que, si se fracciona, deja de ser carbón, a lo que llamó el joven príncipe la canica más pequeña, y es lo que nosotros llamamos un átomo de carbono. Y es precisamente el número de electrones, de protones y de neutrones que lo forman lo que hace que este elemento sea diferente, por ejemplo, del oro.

El rey Schahriar se asombró tanto que dijo:

—Por Alá, ¡oh Scherezada!, tu historia es en verdad prodigiosa, por Alá, no te dejaré hasta que termines tan extraña narración. Estoy deseoso de saber qué hijo se ganó el favor del rajá.

—Rey poderoso y benéfico, mas no por eso sabio. Si fueses un poco más entendido en las cosas de la física y de la química, desde ahora sabrías quién se quedó con el reino de aquel rajá, ¡Fue el más joven de los príncipes!

El rey, impacientándose, gruñó:

—Nadie sabe lo desconocido sino Alá el altísimo, pero explícame mejor por qué la canica de carbono resultó ser más pequeña que la de oro o que la de rubí.

Un átomo es un conjunto en el cual hay un núcleo central formado por protones y neutrones, una región periférica en la que se encuentran electrones. Hay tantos electrones como protones. Los electrones se mueven alrededor del núcleo digamos que tal y como has visto que lo hace la Luna alrededor de la Tierra. Hay electrones que giran más cerca del núcleo que otros. A decir verdad, los electrones se distribuyen en capas u órbitas. Estos niveles se llenan con un cierto número de electrones y son los de la última capa, o sea, de la capa externa los que determinan el comportamiento químico del átomo. En la última capa del átomo de carbono no caben más de 8 electrones. EL átomo de carbono en esa capa sólo cuenta con 4 electrones, es decir, que para llenar esa capa debe compartirlos.

—Nadie sabe lo desconocido sino Alá el altísimo —repitió el rey.

Los átomos de oro, de carbono o de lo que sea, están constituidos por electrones, neutrones, y protones. El número de protones es lo que se llama *número atómico*. Por lo tanto, los átomos se pueden ordenar en una lista según el número atómico que los caracteriza.

Así, el hidrógeno encabeza la lista de los elementos conocidos porque sólo tiene un protón: su número atómico es 1. El oro tiene un número atómico igual a 79. En cambio, el del carbono es 6. Cada tipo de átomo; o sea cada elemento, se designa con, una o dos letras; en el caso del carbono esa letra es C. También se incluye en esta lista la *masa atómica* (igual al número de protones más el número de neutrones). Si se toma en cuenta, además, el periodo de los elementos y el grupo de los elementos, se obtiene una tabla periódica como ésta.

Scherezada desdobló un trozo de pergamino en donde estaba impresa una tabla periódica (Figura 1).

El punto de arriba a la izq:
elementos del granito

El punto de abajo a la izq:
elementos pesados, ricos en hierro y magnesio de rocas

El punto de arriba a la derecha:
elementos de la superficie de la tierra, del aire y del agua

El punto de abajo a la derecha:
elementos de filones

																1	2						
																H	He						
3	4	5	6																	7	8	9	10
Li	Be	B	C																	N	O	F	Ne
11	12	13	14																	15	16	17	18
Na	Mg	Al	Si																	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86						
Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
87	88	89	90	91	92																		
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U																		

ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS															
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	

ELEMENTOS TRANS-URANIOS															
93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104				
Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw					

Figura 1. Tabla periódica con indicaciones sobre su papel geoquímico.

Como puedes comprobar —prosiguió— el carbono forma parte del grupo IV, y tiene una masa atómica de 12.0. Mira cómo dibujo cada uno de los átomos de los elementos de los tres primeros periodos de elementos (Figura 2).

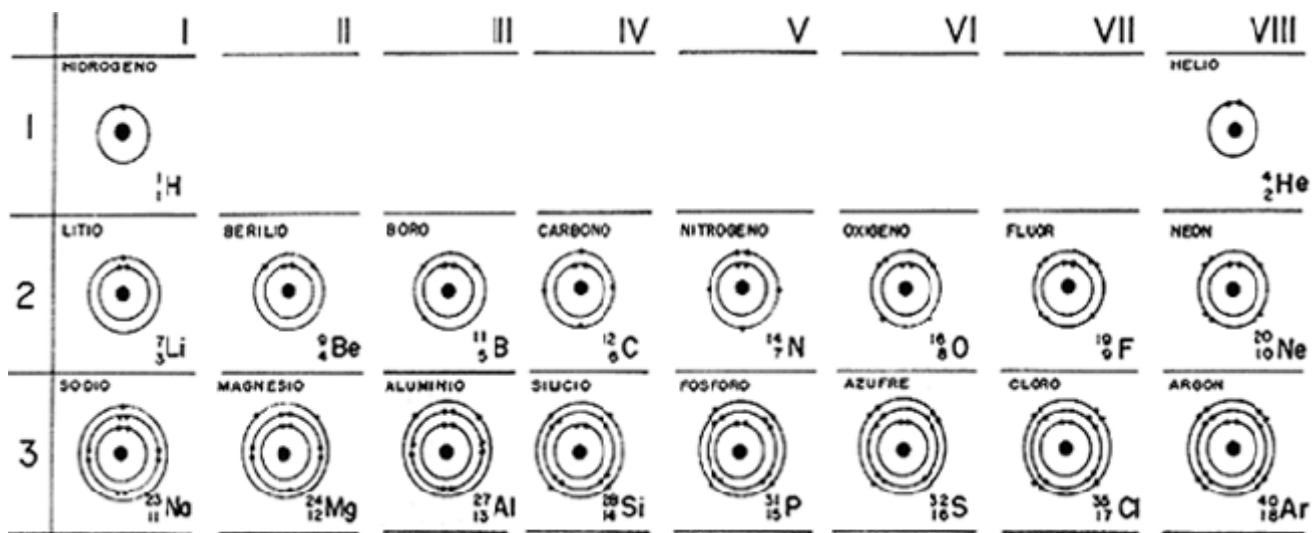


Figura 2. Esquema de los átomos de los tres primeros periodos mostrando la distribución electrónica.

Notarás que los elementos de una misma columna tienen el mismo número de electrones en la última órbita: por eso forman una familia. El carbono es de la familia del silicio, por lo tanto, con solo ver en donde está colocado el carbono en la tabla periódica, cualquier súbdito de tu reino sabría que el carbono tiene en su capa externa cuatro electrones. Deduciría entonces que el átomo de carbono intentará siempre compartir sus cuatro electrones.

Pero, volviendo a nuestra historia, el preceptor del príncipe, que había estudiado en Occidente y que mucho sabía de canicas, se acercó al joven hijo del rajá y haciendo una profunda reverencia, le dijo:

—Oh joven príncipe, muy bien has hecho prefiriendo el carbono para hacer la canica más pequeña.

El príncipe lo miró sorprendido, pues todos los cortesanos se habían reído de él. —¿Y por qué dices eso, sabio amigo?

—Ni tan sabio, ni tan amigo —le contestó el hombre que conocía los límites del conocimiento y de los sentimientos. Y, señalando una tabla periódica desafió al príncipe:

—Veamos, ¿cuál sería la canica más pequeña? Te doy la oportunidad de corregir tu elección.

Sin dudarle, el dedo cargado de sortijas y de anillos del muchacho señaló el hidrógeno.

—Un solo átomo de hidrógeno, eso es lo que le tengo que llevar a mi padre, pero ¡qué tonto he sido!

—Quizás —respondió el preceptor—, pero yo, como tú lo hiciste en un principio, escogería el carbono y no el hidrógeno porque, como puedes verlo en estas figuras (Figuras 2 y 3), si comparas los tamaños de los átomos comprobarás que tanto el hidrógeno como el helio son más pequeños que el carbono, pero son gases. ¡Anda y atrapa, aquí en donde estamos, un átomo de neón! En cambio, fraccionando un trozo de carbón, has llegado ya al átomo de carbono, que es mucho más pequeño que el de oro. Así que por muy hábil que sea el orfebre que haya contratado tu hermano mayor, en el mejor de los casos le regalará a tu padre un átomo de oro, o sea una canica mayor que la tuya. Y en cuanto a tu otro hermano, ese que pretende conseguir una canica de rubí, has de saber que el rubí es un óxido de aluminio o de magnesio, según el tipo de color de la piedra, o sea que el trozo más pequeño de rubí está formado por más de un átomo, y por consiguiente la canica que traiga ese hermano tuyo va a ser la más grande.

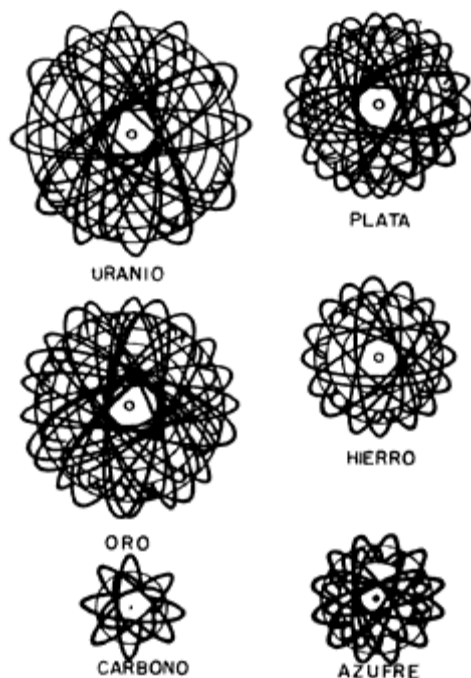


Figura 3. Comparación entre el tamaño de algunos átomos.

El preceptor, que era muy bajito y tenía manos muy grandes, se caló las gafas, pensando que él diría siempre *gafas* y no *lentes* para homenajear así al sabio que las inventó en Córdoba hace muchos siglos. Recogió sus libros y sus tablas, dio media vuelta y desapareció susurrando: —Estos príncipes atinan y cuando atinan (que no sucede muy a menudo), atinan de casualidad. No sé qué esperan para ponerse a estudiar. No sé qué esperan para ponerse a estudiar. No sé qué esperan para ponerse a estudiar. No sé...

El joven príncipe lo vio desaparecer detrás de las celosías y de los rododendros del jardín. Feliz y contento, seguro de sí mismo, gracias a la conversación con el preceptor, se presentó en las habitaciones de su padre y le entregó el átomo de carbono. El rajá lo guardó en una vitrina con el resto de su colección.

Pero sabemos, tú y yo, rey Schahriar, continuó Scherezada, que el átomo de carbono tiende a compartir sus electrones con otros átomos, de tal manera que sean ocho los electrones de su capa externa, como te lo muestro en este dibujo sobre la arena (Figura 4). El carbono comparte un electrón con cada uno de los otros átomos y esos a su vez comparten un electrón con el carbono. Así que ese diminuto átomo de carbono encerrado en la vitrina buscó con quien unirse y encontró otros átomos de carbono que, sin que el rajá se diera cuenta, estaban también allí. Venían de la grasa de los dedos, del aire sucio y del humo, así que rápidamente este átomo se puso de acuerdo con ellos y compartieron sus electrones, pues el átomo de carbono se une a otros átomos por enlaces esencialmente covalentes, orientados simétricamente en el espacio.

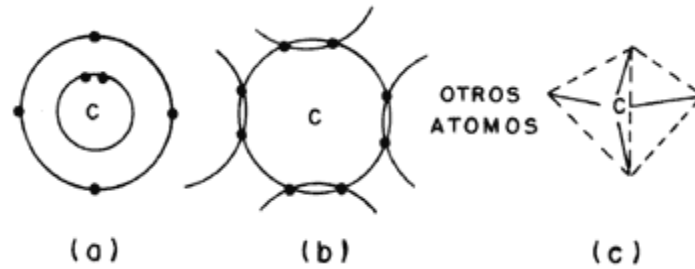


Figura 4. El átomo de carbono (a) tiende a compartir sus electrones según cuatro enlaces covalentes. (b) Los enlaces del átomo de carbono suelen estar orientados hacia el vértice de un tetraedro regular (c).

En la naturaleza, como lo saben muy bien los *efrits* y los genios, el carbono se une a otros átomos de carbono para dar compuestos de aspecto muy diferente. Algunas variedades pueden ser muy puras como el diamante o el grafito, y otras muy impuras, pues contienen otros elementos en bajo porcentaje, como las distintas formas del carbón: la hulla o la antracita, entre otras.

Aquel pequeño átomo de la vitrina pudo unirse con los átomos de carbono que por allí rondaban, y formó un diminuto trozo de diamante en vez de constituirse en vil carbón.

El rey, sobresaltado, interrumpió a Scherezada:

—¡Oh mujer!, Explícanos el sentido de tus palabras. Prodigio de prodigios ha de ser que los diamantes de mi turbante sean lo mismo que el tizne que ensucia las chozas de mis esclavos. Cuida tus palabras, pues tus explicaciones empiezan a parecerme francamente absurdas.

Y Scherezada siguió su narración no haciendo caso del amenazador comentario.

Se formó así una pequeñísima canica de diamante que, aunque fuese mayor que el átomo de carbono, le encanto al rajá.

En este momento de su narración, Scherezada vio aparecer las señales que preceden a la mañana, y calló discretamente.

Su hermana Donaziada la alabó: —¡Qué deliciosas son tus palabras!

—Nada es eso, comparado con lo que os contaré la noche próxima, si vivo todavía y el rey tiene a bien conservarme.

Y pasaron aquel amanecer en la dicha completa y en la felicidad hasta que brilló el día. Después el rey se dirigió al diván, volvió a sus habitaciones y se reunió con los suyos.

GLOSARIO

átomo. Proviene del latín *atomus* y éste a su vez de la voz griega que significa "indivisible".

electrón. Del griego *λεχτρον*. Partícula elemental que forma parte de los átomos y que contiene carga negativa.

neutrón. De neutro, partícula desprovista de carga eléctrica y cuya masa es aproximadamente igual a la del protón.

número atómico. Número de cargas elementales positivas del núcleo de un átomo. Este número es el que clasifica los elementos en el sistema periódico.

rubí. Mineral cristalizado más duro que el acero. Es rojo y su brillo es intenso. Es una de las piedras preciosas de más estima; está compuesto de alúmina, es de color más o menos subido a causa de los óxidos metálicos que contiene.

III. LA UNIÓN DE LOS ÁTOMOS DE CARBONO

Y CUANDO LLEGÓ LA SEGUNDA NOCHE

DONAZIADA dijo a su hermana Scherezada:

—¡Oh, hermana mía!, te ruego que acabes la historia del rajá de Ceilán aficionado a las miniaturas.

—De todo corazón y como debido homenaje, siempre que el rey me lo permita.

—Puedes hablar.

El átomo de carbono se une a otros átomos mediante enlaces esencialmente covalentes, orientados simétricamente en el espacio. Si unimos un átomo de carbono con otros cuatro átomos de carbono y, a su vez, cada uno de ellos se une a otros átomos de carbono, todos lograrán, compartiendo electrones, alcanzar los ocho electrones que necesitan en su capa exterior. Es más, los enlaces del átomo de carbono con otros átomos suelen encontrarse en la dirección de los vértices de un tetraedro regular.

Por ejemplo, el carbono une sus cuatro electrones con el hidrógeno, formando una serie de compuestos muy estables. El más simple es el **CH₄** que recibe el nombre de metano. Los electrones compartidos con el hidrógeno forman un enlace covalente. Con el átomo de oxígeno el carbono forma el **CO₂** (bióxido de carbono), compartiendo dos pares de electrones a la vez (Figura 5).

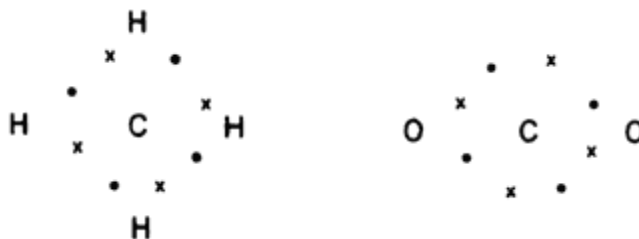


Figura 5. Estructura del CH₄ y del CO₂.

Para que el joven príncipe pudiese reinar, el rajá tuvo que mandar a sus otros hijos al exilio y lo hizo con gusto, pues estaba convencido de que su pueblo viviría bien gobernado, sobre todo si el carbón podía pasar a ser diamante. Luego se enteró de que son los diamantes los que tienden, muy despacio, a convertirse en grafito. Y esto me recuerda la historia de los mercaderes que sólo tenían cuatro esposas y querían tener ocho. Es una historia que me contó un *efrit* cuya cabeza era como una cúpula, sus manos semejaban rastrillos, sus piernas eran mástiles, su boca, una caverna, sus dientes, piedras, su nariz, una alcarraza, sus ojos, dos antorchas y su cabellera aparecía revuelta y empolvada. Dos amigos mercaderes — continuó la narradora — que poseían, cada uno, solo cuatro mujeres; descubrieron que tenían gustos parecidos.

—Querido Ahmed, sólo tengo cuatro mujeres, pero ¡cuánto más placentero sería dormir todas las noches con ocho!

—Son esos mis gustos también, Mohamed, pero tendremos que trabajar demasiado para poder adquirir otras cuatro esposas cada uno. Llovía a cántaros, y los dos hombres que, tumbados entre almohadones, tomaban té a sorbos pequeños, hablaban en voz baja.

—Y dime, Ahmed, ¿son hermosas tus mujeres?

—Tan hermosas como una noche de luna en el desierto;

—¡Alá sea alabado! —El telón de fondo de la conversación estaba dado por las voces de la gente en la calle, que gritaba porque la salpicaban de fango. Después de un corto silencio, Mohamed fue el que se animó a sugerir:

—Sabes, Ahmed, las mías también son así de hermosas. Y prosiguió como si pensara en voz alta. —Tus mujeres son equivalentes a las mías, cuatro tienes tú y cuatro tengo yo, es decir, que entre los dos tenemos ocho... Apenas si susurraba, pues la reflexión era osada. Ahmed lo interrumpió para precisar, puntilloso:

—¡Sí, Mohamed, entre los dos tenemos ocho, pero ni yo te presto mis cuatro mujeres para que tú duermas con ocho, ni tú me vas a prestar las tuyas. Lo que queremos tú y yo es que todas las noches dispongamos de ocho esposas!

Afuera, la lluvia arreciaba. De las gárgolas, caían grandes chorros bajo los cuales las muchachas estaban colocando cuanta palangana, vasija o jofaina había en sus casas. Recogían así el agua y se evitaban unos cuantos viajes al pozo.

Mohamed continuó:

—De acuerdo, Ahmed, a eso iba. Creo que lo vamos a lograr. Yo deseo dormir con ocho esposas porque como tú, quiero que una me acaricie la mano derecha y otra la mano izquierda. Necesito una tercera y una cuarta que me hagan cosquillas en cada pie. Me gustaría que la quinta me pasara el brazo por el cuello para tocarme la oreja. Una más ha de tomarme por la cintura y, desde luego, gran placer me causaría que la séptima me acariciara el pelo mientras que la octava me rascaba la espalda.

—Pero, Mohamed, eso mismo deseo yo; no necesitas repetirlo... pero sólo tenemos cuatro esposas cada uno. No adivino cuál es la artimaña que me vas a sugerir.

—Te seré franco. Cada mujer puede rascar dos espaldas a la vez, tocar dos orejas o acariciar dos manos. En fin, cada una puede ocuparse de nosotros dos simultáneamente. — Aquí, Mohamed alargó el brazo para llevarse a la boca un dátil, y calló unos cuantos segundos durante los que el estrépito de la lluvia golpeando el tejado parecía condenar las palabras, que añadió:

—Lo que me atrevo a proponerte es que durmamos todos juntos. Por las noches disfrutaríamos, tú y yo, de tus mujeres y de las mías. Compartámoslas y gocemos a las ocho al mismo tiempo.

Esa misma noche lo hicieron y quedaron tan satisfechos que continuaron la práctica noche a noche. La voz se corrió. La historia de la felicidad de Ahmed y de Mohamed provocó la envidia de otros que sólo contaban con cuatro esposas. El primero que se atrevió a acercarse a Ahmed y a Mohamed fue Birendra, venido de la legendaria India:

—Por Khali, diosa aterradora de mi país, quisiera yo también compartir mis esposas (que sólo son cuatro) con vosotros.

Ahmed y Mohamed le contestaron al unísono:

—No creas, Birendra, que por poner cuatro mujeres has de hacerte de ocho más. Son cuatro las que deseas compartir, pues sólo cuatro compartiremos contigo, así que dormirás con ocho. En efecto cada mujer atiende bien sólo a dos hombres a la vez. Birendra aceptó y quedó muy complacido.

Y vinieron, entonces, muchos más mercaderes con cuatro mujeres solicitando se les incorporara al grupo y por las noches se reunían todos. Se formaba una red en la que los hombres quedaban regularmente rodeados, cada uno, por ocho mujeres y cada mujer estaba compartida por dos hombres.

—Y, rey Schahriar, habrás entendido que de este modo es como se unen los átomos de carbono para formar redes como la del carbón amorfo, del diamante, del grafito o del futboleno.

El rey abrió muy grandes los ojos y después de pensar unos minutos dijo en tono de reproche:

—Scherezada, no veo por qué un cuento de mercaderes promiscuos ha de explicar cómo se enlazan los átomos de carbono entre sí, y aún menos, cómo se enlazan con otro tipo de átomos.

—Te equivocas una vez más, ¡oh Señor de la modestia! Permite que continúe con mi relato, pues ya te imaginas que no todos los mercaderes disponen de cuatro mujeres. Si el mercader que se presentaba ante Ahmed y Mohamed sólo contaba con una esposa, ¿qué crees que le contestaban los demás mercaderes? Pues lo aceptaban con su única mujer, pero sólo compartían con él una esposa. En efecto, repito, cada mujer sólo puede ocuparse, a lo más, de dos hombres. Por ejemplo, para poder dormir con ocho mujeres, un mercader con cuatro tenía que compartirlas con otros cuatro mercaderes de una sola mujer. Pero, mejor, concentrémonos en los mercaderes con cuatro esposas. Imagínate, oh Gran Señor, el inmenso tejido, la telaraña que se formaba, pues cuanto mercader había que tenía cuatro esposas deseaba dormir con ocho. Con el tiempo ya no había palacio ni caravanserrallo en donde cupieran tantos mercaderes sibaritas.

La narradora meditó sobre lo dicho, y continuó:

—Noche tras noche estos mercaderes empezaron a invocar a Alá en todos los tonos para que les procurara una mezquita, un establo o lo que fuera en donde se pudieran instalar con mayor comodidad. Alá, que todo lo sabe y todo lo resuelve, pero que también es impredecible, se les presentó a Mohamed, y a Ahmed en un sueño y les dijo: "Decís que sois tantos por la noche que no cabéis en el inmenso caravanserrallo que ocupáis. Yo lo resolveré."

Tan intrigados como atemorizados, Mohamed y Ahmed le contaron sus sueños a Birendra, que dijo:

—Los dioses se han puesto de acuerdo porque, a mí, Vishnú, Parvati y Shiva y hasta el mismo Krishna me vaticinaron lo mismo. Será esta noche, así que hemos de rogarle a todos nuestros compañeros que no falten.

Caído el crepúsculo y cuando apenas se estaban acomodando se produjo una especie de encantamiento y, entre rayos y centellas, quedó cada mercader con sus cuatro esposas convertido en átomo de carbono. Aunque según la disposición de estos átomos en el espacio se formen redes diferentes, cada átomo de carbono está constituido por un núcleo y cuatro electrones que comparte con los átomos de carbono vecinos.

—Si los átomos no están en posiciones ordenadas periódicamente en el espacio —siguió Scherezada—, el material es amorfo. Pero si los átomos están en posiciones ordenadas tridimensionalmente formando los hexágonos que te muestro en este dibujo (Figura 6), es grafito lo que se tiene. Si están dispuestos según un orden de simetría cúbica es diamante lo que resulta. De esta manera es como el único Dios, Alá, ¡oh gran rey!, resolvió el problema del espacio, pues el tamaño de los átomos es tan pequeño que por muchos que fuesen los mercaderes con sus esposas, transformados en coque o en grafito, ni siquiera ocupaban un rincón del caravanserrallo (Figura 7).

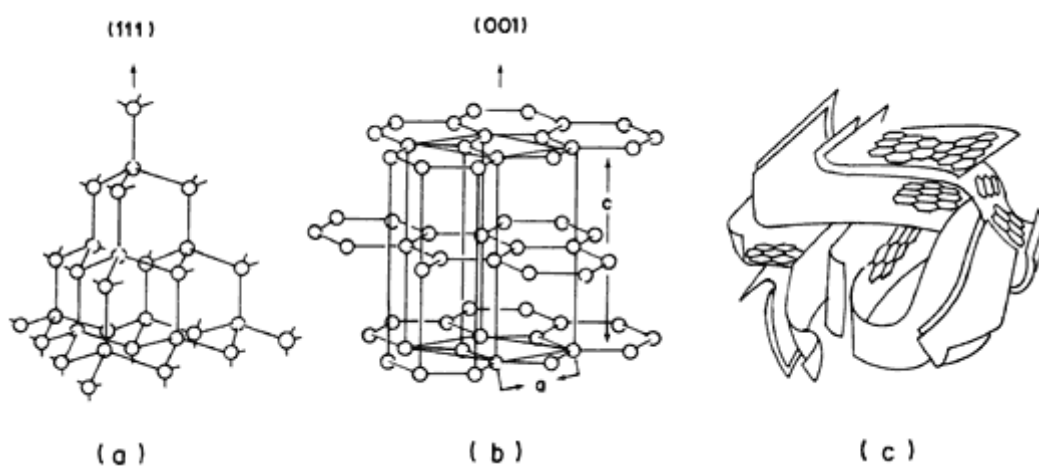


Figura 6. Red cristalina (a) del diamante (cúbica), (b) del grafito (hexagonal) y (c) del carbón activo (no cristalina).

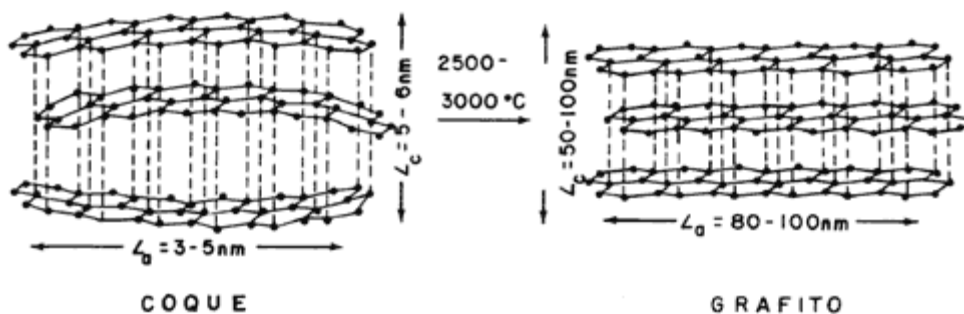
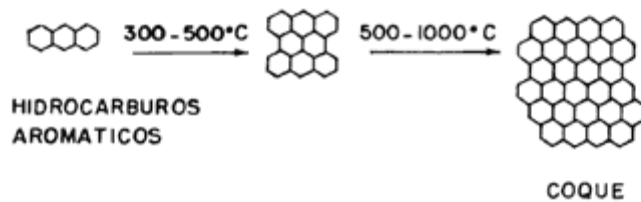


Figura 7. Esquema que representa la carbonización y la grafitización, $1\text{ nm} = 10^{-9}$ metros.

Y la narradora siguió de esta guisa:

—Tanto lloraron los mercaderes en su nueva condición, tan tristes estaban de no poderse mover, pues a lo más vibraban por agitación térmica, que Alá, siempre piadoso y defensor de las buenas costumbres, los volvió a su estado original, advirtiéndoles que compartir electrones sólo se le permite a los átomos, pero que compartir esposas es harina de otro costal. ¡Cada mercader se tenía que conformar con sus cuatro esposas si no tenía para más! Los mercaderes salieron corriendo, unos hacia el norte, otros hacia el sur, algunos hacia el oeste y muchos hacia el este, jurando no volver a compartir ni siquiera a la más fea de sus mujeres. A los cuatro puntos cardinales los mercaderes contaron su historia y se hicieron muy celosos.

Y, alisándose el cabello, Scherezada añadió:

—El átomo de carbono, sin embargo, trata siempre de adquirir cuatro electrones más de los que tiene y, al unirse con este propósito a otros carbonos, te lo repito, existe de manera desordenada (carbono amorfo), ordenada formando hexágonos (grafito) o bien toma la forma de cubos (diamante). También se ha descubierto que puede asumir una estructura globular idéntica a la de un balón de fútbol y de allí el nombre que se le da en este caso: fullereno o futboleno (Figura 8). Todas estas estructuras tienden a adoptar, con el tiempo, la estructura del grafito, que es la más estable. Y como ya te lo imaginas, gran rey, en esta historia, los mercaderes de cuatro esposas que compartían a sus mujeres con otros cuatro mercaderes pobres que sólo poseían una esposa, quedaron transformados en moléculas de metano. En este caso también el carbono comparte sus electrones con los de los cuatro átomos de hidrógeno para, una vez más, tener ocho electrones compartidos. También ellos, los mercaderes pobres, prometieron, al recobrar su estado natural, no volver a compartir a sus mujeres.

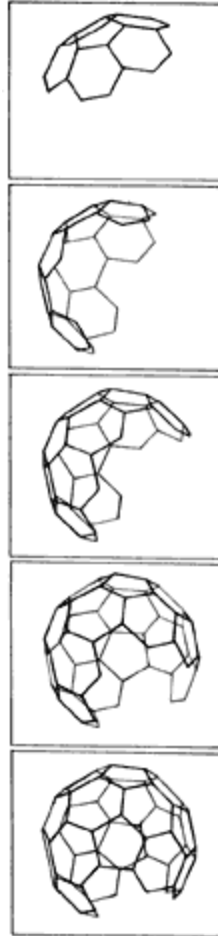


Figura 8. Esquema que representa la formación del futboleno o fullereno.

—Mucho asombro me causa, Scherezada, que, a pesar de compartir cuatro electrones en cada caso y siendo todos átomos de carbono, se ordenen en forma de grafito, de diamante o de carbón amorfo. —Dijo el rey.

—Te extraña que los átomos puedan disponerse de forma diferente cuando en tu palacio sobran los ejemplos. Observa la variedad de celosías que tus artesanos han inventado con trozos de madera, todos iguales. Mira también los dibujos geométricos que se forman según se coloquen de un modo o de otro los mismos azulejos. Y desde luego, éstos son ejemplos que sólo se refieren al plano (o sea a dos dimensiones del espacio). Imagínate cómo se multiplica esta variedad de patrones cuando se considera el espacio tridimensional.

—Si vivo todavía, mañana te hablaré del diamante y de sus propiedades. Es la historia de los príncipes y del brujo transformado en alcorneque.

GLOSARIO

agitación térmica. Movimiento de las moléculas originado por la temperatura.

alcarraza. Vasija de barro.

enlace covalente. Cuando un elemento comparte con otro sus electrones se crea una unión covalente.

metano. Hidrocarburo gaseoso e incoloro, producido por la descomposición de sustancias vegetales, y que se desprende del cieno de algunos vegetales; del fondo de las minas de carbón de piedra, etcétera.

red cristalina. Al arreglo tridimensional de los átomos en el espacio de un sólido se le conoce como red cristalina.

tetraedro. Sólido terminado por cuatro planos o caras.

IV. EL DIAMANTE

DONAZIADA dijo:

—¡Hermana mía!, te ruego que nos cuentes la historia de los tres príncipes y el brujo transformado en alcornoque.

Y Scherezada repuso:

—¡De todo corazón y como debido homenaje! Pero no sé si lo consentirá el rey.

El rey se apresuró a decir:

—Puedes contarla.

Voy a contarte ¡Oh mi señor!, lo que he llegado a saber gracias a un brujo que, mediante la observación de los astros, podía [predecir](#) el porvenir... pero que tuvo la osadía de decirle a su monarca que la hermosa gema que adornaba su turbante era simplemente un trozo de carbón.

Hace muchos años el califa de un país lejano decidió festejar, como no se había hecho nunca, los 50 años de su mandato. Era ya un hombre mayor que lucía barba blanca y larga. Para celebrar tan significativa fecha, este soberano, que había sido un señor poderoso y justo, pero que además era fatuo, quiso que sus hijos le regalaran un diamante: tan grande o más que el mayor que existiera. Quería mandar hacer con él un broche para su turbante y poder colocar allí tres plumas de pavo real. Los cortesanos supieron leer entre líneas y comprendieron que el monarca no se conformaría solamente con un diamante grande, sino que tenía que ser el diamante más grande del mundo. En efecto, a todas las castas les gustan los diamantes, pero entre más alto es el rango, mayor y más resplandeciente debe ser la gema. Siendo el califa poderoso entre los poderosos, debía poseer el diamante más grande del mundo.

La corte se dividió en grupos rivales alrededor de los tres hijos del califa. Con el hijo mayor se aliaron el gran visir y los políticos; alrededor del hijo siguiente se juntaron el eunuco mayor y todos los cortesanos; pero con el hijo menor solo se unió el brujo.

El equipo encabezado por el gran visir y el hijo mayor no perdió un segundo y salió en busca del *Cullinan*, que así se llama el diamante más grande descubierto. Pesa 621.2 gramos, o sea 3 106 quilates (1 quilate es = a 0.2 g) y fue encontrado en 1905. Además montaron el proyecto de conseguir el *Excélsior*, que pesa 194 gramos, o sea 970 quilates. "Quién quita y no nos dan el *Cullinan* o qué tal si se nos pierde en el camino de regreso. Más vale estar preparado", reflexionaba siempre el gran visir.

Para no competir con el visir en una empresa tan difícil y que les pareció fracasada desde el inicio, los cortesanos y el eunuco mayor, junto con el segundo hijo del califa, decidieron dividirse: unos organizaron una expedición a Brasil y el resto se dirigió a África. En efecto,

después de consultar la enciclopedia se enteraron de que los diamantes se conocían en la India y en Borneo, desde tiempos prehistóricos.

Sin embargo, estos diamantes nada tenían que ver con los que conocemos actualmente. Casi nunca se engarzaban o se pulían. Se les apreciaba más bien por sus poderes. Y no fue sino hasta fines del siglo XVII, cuando el lapidario italiano Vincenzo Peruzzi cortó el primero, que se conoció como piedra preciosa en todo su esplendor.

Al principio las palabras "adamas", "adamante" y "diamante" (en latín *adamantinus* significa "indomable", "duro"), se usaron para designar a los minerales transparentes y duros como el diamante, el corindón, el topacio o el cuarzo. Plinio el joven describió la forma geométrica de seis variedades de *adamas*, una de las cuales es, obviamente, el mineral que hoy conocemos como diamante.

También se enteraron de que los cristales octaédricos son los que distinguen a las mejores calidades de diamante de Sierra Leona, Ghana, Angola y la República del Congo. Los cristales en forma de dodecaedro, en cambio, son propios de Brasil. Los dodecaédricos y los octaédricos, predominando los primeros, son los más frecuentes en el Distrito de Kimberley, Australia. En el suroeste de Africa, en Tanzania, la forma de los diamantes es irregular.

Ante tanta actividad, el brujo, en cambio, se arrellanó en los almohadones del gran salón y no salió. Sólo le dijo al hijo más joven del califa, a gritos, para que todos lo oyeran:

—¡A los diamantes se les aprecia por su brillo y transparencia!. Los diamantes son de color y aspecto variables. Los hay con tonos amarillentos, pardos o grises, pero los más finos son transparentes e incoloros. ¡Cuando encontréis lo que buscáis vuestro regreso será más fácil, pues se dice que los diamantes dotan de invulnerabilidad ante el peligro a quien los porta!

Y muy en secreto, le dijo al joven príncipe:

—¡Nosotros, en vez de buscar un diamante lo vamos a hacer!

Haremos un diamante tan perfecto como la virtud misma.

El príncipe atónito y perplejo, pensó para sí:

—¡Me he quedado peor que solo, me acompaña un demente!

Pero de todas maneras se atrevió a susurrar de mal modo:

—¡Y cómo lo vas a lograr?

—Príncipe, príncipe, si estudiaras; si te interesaras más en las ciencias en vez de en las odaliscas, sabrías que cuando los átomos de carbono están muy próximos unos de otros, de tal manera que cada uno de ellos se encuentra rodeado por sólo cuatro átomos y cada uno

de éstos a su vez por otros cuatro, a lo largo, a lo ancho, y a lo alto, se crea una densidad tan alta que se forma el cuerpo conocido más duro de la naturaleza: el diamante. El diamante es la única piedra que está compuesta por un solo elemento: el carbono. Se le ha asignado el 10 en la escala de Mohs, que caracteriza la dureza —el 9 le corresponde al corindón, en seguida, después del diamante, aunque en realidad éste sea muchas veces más duro que aquél—. Ningún ácido puede destruir este sólido. Tiene una densidad muy alta, debida a su apretada estructura atómica. Su peso específico es 3.52 y los 3 700°C marcan su punto de fusión, dos veces y medio más alto que el del acero. Es decir, que semejante sólido es capaz de desgastar cualquier otro compuesto o material existente sobre la faz de la Tierra, y que solamente él se puede cortar a sí mismo: nada ni nadie puede destruirlo. Bueno, miento. Ciertos planos y ciertas direcciones cristalográficas en la superficie son más frecuentes que otros y, por lo tanto, hay una mayor concentración de ciertos enlaces. Así varía la dureza con la dirección. Los cristales de diamante sólo se pueden cortar con polvo de diamante cuando las direcciones más débiles del cristal de diamante se le presentan a las partículas de polvo. En efecto, en la distribución al azar del polvo de diamante, algunos cristallitos presentarán las direcciones más duras frente al diamante que se va a cortar.

—A una temperatura de unos 900°C en atmósfera de oxígeno —siguió diciendo el brujo— los diamantes se queman poco a poco y producen bióxido de carbono. A 1 000°C, en atmósfera inerte, el diamante se transforma lentamente en grafito, y entre 1 700-1 800°C la velocidad de transformación es muy rápida.

El brujo se ajustó el turbante y siguió:

—Bajo intenso bombardeo radiactivo los diamantes primero se vuelven verdes, luego cafés y, finalmente, negros. Si no se lleva demasiado lejos, el proceso se puede revertir calentando a blanco. Como lo mencioné antes, el diamante cristaliza en forma de octaedros, dodecaedros y cubos, las dos primeras formas son las más frecuentes. No es raro encontrar que dodecaedros o cubos han crecido sobre octaedros. Algunos cristales de Sierra Leona y de la República del Congo presentan las tres formas igualmente desarrolladas. Los cristales de mayor pureza a menudo son de forma irregular. Los de color ligeramente amarillo suelen tener las formas más perfectas. Cuando una forma crece sobre otra (fenómeno de gemelado) se asocia con pequeñas impurezas de materia oscura extraña. El gemelado es tan frecuente que los cortadores de diamante se refieren a los más comunes como "maclas". Las grandes áreas gemeladas se conocen como "bloques" y las más pequeñas como "nudos"...

En este momento de su perorata el brujo vio que el príncipe lloraba y calló discretamente, pues comprendió que el joven hijo del califa estaba desesperado.

—La verdad, brujo —dijo el príncipe que se había consolado mirando un pequeño anillo de brillantes que le había regalado una guapa cortesana— me pregunto ¿cómo es posible que un trozo negro y opaco de carbón, un trozo grisiento y gris de grafito y un reluciente y diáfano diamante sean formas distintas de un mismo elemento químico? Y, además, ¿cómo puede el carbono transformarse de sólido a gaseoso cuando se combina con el oxígeno? Eso parece magia, me parece enigmático y confuso, ¿no es verdad?

Y el sabio brujo le explicó:

—En la primera etapa de su existencia, el carbono está en los magmas fundidos en forma de aglomerados laminares o esféricos de grafito, que se encuentran a grandes profundidades y en masas derretidas. Sin embargo, en su mayor parte este carbono se combina con otros elementos formando gases volátiles que se escapan entre las fisuras de rocas solidificadas. Cuando el carbono se une al oxígeno, se forma el gas carbónico, que tiende a subir, a la superficie. —Recuerda, príncipe, que antiguamente en las regiones en donde existían volcanes, tanto en actividad como extinguidos, el gas carbónico escapaba con violencia a la atmósfera, ya fuese en forma de gas o combinándose con el agua. Así es como se forman las supuestas, aguas medicinales con burbujas.

El príncipe, intrigado, le interrogó:

—Tú, un día, me explicaste que hubo periodos en la historia de la corteza terrestre en los que se arrojaban a la atmósfera enormes cantidades de gas carbónico y que hubo periodos en los que la vegetación se desarrolló enormemente. ¿Qué significa lo anterior; en dónde quedó tanto gas carbónico?

—Calma, príncipe, tranquilo —musitó el brujo mordeándose el bigote—. El gas carbónico tiene gran afinidad por el calcio y el magnesio, dando lugar a la formación de los carbonatos que es el material que forma las conchas y los caracoles del mar.

—¡No es posible! —se levantó indignado el Príncipe—. Estás mintiendo; me estás tomando el pelo.

—Trae tu collar de conchitas de mar respondió el brujo autoritariamente, y añadió: — Ordena que traigan la cesta de limones.

Convertido rápidamente en manso cordero, el príncipe le obedeció, mientras oía cantar a los gitanos:

Jaca negra, luna grande,
y aceitunas en mi alforja.
Aunque sepa los caminos,
yo nunca llegaré a Córdoba
Por el llano, por el viento,
Jaca negra, luna roja.
La muerte me está
mirandodesde las torres de
Córdoba.

Cuando el príncipe regresó con su collar de conchas, ya el brujo había exprimido unos limones. Al ver a su alumno, el brujo le dijo:

—Separa una concha e introdúcela en el jugo y observa atentamente.

—Imagínate ¡Oh rey de mi alma! —dijo Scherezada abriendo una pausa en su narración—, el vuelco que sintió en su corazón el príncipe cuando vio una multitud de burbujas desprenderse del menjunje.

El brujo sonrió, mostrando su nacarada dentadura, y añadió:

—Estas burbujas que ves son el gas del que hablábamos. Es el anhídrido carbónico o bióxido de carbono, como también se le conoce.

Mientras todo esto ocurría, el grupo del gran visir y del hijo mayor se hundía en unas burbujas diferentes. Descubría en Londres que los joyeros ricos, cuando vendían un diamante del tamaño de un garbanzo o más, festejaban el trato, no con té como se tiene costumbre en oriente, sino con una bebida burbujeante llamada champaña. Tanto les gustó el brebaje a los integrantes de este grupo de aventureros que cualquier pretexto era bueno para comprar un diamante y así empujarse un par de copitas del burbujeante líquido. De hecho, aunque no lo supieran, por un lado estaban comprando carbono en forma de diamante, pero por otro se lo estaban bebiendo, pues en el champaña el gas que forma las burbujas es también anhídrido carbónico y contiene carbono.

Habían ido a dar a Londres; no por el champaña sino porque allí se encuentra la sede de la Organización Central de Ventas (CSO) de DeBeers Consolidated Mines, Ltd, que controla cerca de 80% de la producción universal de diamantes a través de tres grupos; dos independientes que lo producen para joyería y uso industrial y un tercero que controla los contratos de compra venta con las minas que no controla directamente. La organización De Beers fija los precios en el mercado mundial, así como las normas de control de calidad y el 20% restante de la producción, que no está en sus manos, se rige también por ellas.

En total, son unos 150 individuos y compañías quienes manejan el mercado de los diamantes., Así los precios se mantienen siempre estables, pues si la demanda disminuye la CSO guarda el excedente para tiempos mejores.

Poco a poco los integrantes de la comitiva del hermano mayor fueron adquiriendo diamantes y diamantes, supuestamente para cada una de las mujeres de su harem, aunque en realidad era para volver a probar el exquisito y espumoso vino. No se habían percatado de que el champaña se puede comprar en las tiendas y de que vale bastante menos que un diamante. Cuando lo descubrieron era ya demasiado tarde, pues, cuando finalmente uno de los enormes brillantes del mundo salió a subasta, por muchos esfuerzos que hicieron no pudieron ofrecer más de lo que pagó Richard Burton. El actor se quedó con la piedra y se la regaló a su mujer, la actriz Liz Taylor.

El hijo mayor del gran califa, que se había educado en la famosa universidad de El Cairo, al Azhar; creyó pertinente ir a felicitar a su contrincante. Así que se acercó al actor y le dijo en perfecto inglés:

—Lo felicito, señor Burton, no cualquiera me vence. Aunque quizás debiera decir que quien me venció fue el champaña. Se lleva usted una joya que hubiese hecho de mí el heredero del califato.

El actor lo miró de reojo y, al comprobar, por el séquito y las vestimentas del oriental, que realmente se trataba de un príncipe, le hizo una reverencia que había aprendido cuando actuó en *Macbeth*. Después de un incómodo silencio atinó a decir, tratando de ser amable:

—El diamante es precioso; pero al menos, ya que la fortuna le ha sido adversa, acérquese a tocarlo.

El príncipe le puso el dedo encima y, como se lo imaginaba, la superficie estaba fría. Entonces respondió a Burton:

—Frótelo usted contra su manga y observará que fosforece y que se electriza. Por eso atraerá hacia sí cuerpos cargados, eso me lo enseñó un sabio de la corte de mi padre.

El actor lo hizo y asombrado verificó que cuanto le decía el príncipe era verdad. Muy contento partió a explicarle a su mujer lo que acababa de aprender. En cambio, el príncipe, cabizbajo y derrotado, emprendió el camino de regreso a su lejano país, cargado de pequeños diamantes que representaban, para él, otras tantas copas de champaña. Sin embargo, a fuerza de convivir con los joyeros había aprendido mucho. Se enteró de que los diamantes se califican según el número de defectos que contienen, mientras menos, mejor. Los defectos pueden ser; por ejemplo, manchas de carbono no cristalizados o de carbono con forma de grafito que impidan el libre paso de la luz. Uno puede reconocer estas pequeñas fallas al mirar la piedra con una lupa de unos 10 aumentos. La presencia eventual de impurezas en la piedra le da al diamante coloraciones suaves o intensas, que pueden disminuir o aumentar su valor como gema. Recordaba bien cómo uno de los joyeros lo desconcertó al preguntarle: "¿Bueno, a qué se debe que los diamantes sean tan bellos, a qué se debe que nos gusten tanto?" El príncipe sólo atinó a responder: "A que brillan." El joyero, entonces, supo explicarle que se debe, ante todo, a su gran capacidad refractiva — cuyo índice es igual a 2.42 para la luz ordinaria— que le da su extraordinaria brillantez al cortarse y pulirse adecuadamente. "El diamante, le dijo, tiene una dispersión muy alta —su índice de refracción para la luz roja es de 2.407 y para la luz violeta de 2.66—, lo cual lo provee de su 'fuego', debido a la separación de la luz blanca en los colores del espectro, conforme atraviesa la piedra." A decir verdad —continuó—, el brillo y la belleza de los diamantes sólo se aprecian en todo su esplendor, en las piedras talladas. No fue sino hasta fines del siglo xv cuando Ludwig Van Berquem perfeccionó un método para tallar los diamantes, que aún se usa en nuestros días y que permite un labrado preciso y simétrico de las facetas. Se trata de una rueda de hierro a la que se le unta una mezcla de aceite y de polvo de diamante.

Mientras tanto, el grupo del hijo siguiente, el que encabezaban también el gran eunuco y las odaliscas de la corte, viajaba en barcas por los grandes ríos de Brasil. Iban cubiertos de lujosos damascos y sedas, así como de finos tules que les servían para protegerse de los mosquitos. Cuando se acercaban a la orilla para bajar a tierra, los indios amazónicos casi desnudos los rodeaban y se asombraban de que se pudiese andar por esos climas tan

cubierto, aunque les hubiese encantado probarse al menos por un rato tanta ropa.
"Diamantes, diamantes —repetían apenas hacían tierra los orientales—, diamantes, diamantes."

Pero invariablemente les ofrecían los diamantes llamados *bort* y otros calificados como *carbonados*, que rechazaban indignados.

El eunuco se sentía obligado a explicar todas las veces: "El diamante es una piedra de gran valor debido a su intenso brillo, un brillo que lastima los ojos y, por ende, se trata de una piedra preciosa que sólo se usa para joyas."

Hasta que un buscador de oro más atrevido que los demás lo contradijo: "Su alteza se equivoca. Hay variedades que se usan para otros fines, tomando en cuenta, no su brillo sino su alta dureza; recuerde que el diamante puede rayar cualquier otro material existente en nuestro planeta. Para ello se escogen los diamantes llamados *bort* y *carbonado*, como los que le estamos ofreciendo, con los que se puede cortar o moler el vidrio, la cerámica, etc. Son pequeños, son naturales, pero en la industria resultan muy útiles."

"Sepa su alteza que para extraer un diamante hay que mover 14 millones de veces el equivalente de su peso en rocas. Los trituradores despedazan las rocas en dos etapas, la primera, las deja como de una pulgada y media para liberar los diamantes grandes si los hay. Después en la segunda etapa, la roca se vuelve a triturar para liberar los pequeños.

"Las rocas, entonces, se lavan para librarlas de arcillas y, luego, según su tamaño, se siguen dos caminos distintos. El material grueso se hunde en un fluido denso que hace que sólo la roca más grande se vaya al fondo. Posteriormente, un tratamiento del mismo tipo, usando un fluido todavía más denso, aísla los diamantes. El material fino, en cambio —arcilla, grava y arena—, se coloca sobre un gran colador, encima de una cama de cristal de roca. Se sacude y los diamantes caen al fondo. Finalmente los diamantes se recogen a mano y se limpian para, después, seleccionar los que se destinarán a la joyería o al uso industrial.

"¡Imagínate el uso industrial!. Piedras tan preciosas y finas rebajadas a usos tan corrientes —protestó, indignado el eunuco—. ¡Bárbaros! Estoy harto de esta expedición y regreso a la corte, quien quiera que me siga."

Y quisieron todos, pues estaban agotados de viajar en condiciones tan incómodas. Así que, con las manos vacías, se presentaron en la corte del gran califa. Lo mismo hicieron los que habían ido al Africa. Ni los que fueron al Brasil, ni los que fueron al Africa podían siquiera hablar del champaña, pues aunque alguno hubiese probado la cachaza no se atrevió a contarlo.

Mientras tanto, los buscadores de oro cantan cuando mueven, a ritmo de samba, las arenas de los ríos, pues saben que para uso industrial los diamantes son muy empleados. La variedad industrial representa de 75 a 85% de la producción total en peso, pero, por su precio, solamente representa de un 25% a un 35% del valor total del mercado de diamantes.

Según su forma y tamaño, las piedras de diamantes se usan de distinta forma en la industria: para afilar cuchillos, en instrumentos de medida, en agujas de tocadiscos, en pruebas de dureza, en cortadores de vidrio o para cortar el diamante de joyería.

Los diamantes llamados *bort*, negros, sólo se usan en la industria. Son de forma y tamaño mal definidos; generalmente se rompen o se muelen para convertirlos en polvo, que se emplea para cortar, moler o pulir. El diamante *ballas* es casi redondo y, después de resquebrajarse, se usa para recubrir ruedas abrasivas. El *carbonado*, casi exclusivo de Brasil, no tiene la apariencia de un cristal como los otros.

Entre las industrias que primero hicieron uso del diamante destacan las del vidrio y de la óptica, que lo usan para pulir y cortar lentes y espejos. La industria petrolera lo emplea para perforar pozos de gas y de crudo. Los dentistas y los médicos lo usan también como instrumento para cortar y taladrar huesos o tejidos. También está presente en la industria automotriz como abrasivo. Pero volvamos al joven príncipe deseoso de entrar en acción y al verborreico brujo que por fin dijo:

—Príncipe, sigue mis instrucciones y obtendrás un diamante artificial. Coloca un trozo de grafito, ya sea en bloque o en polvo, entre unas láminas metálicas (bueno, también puedes usar grafito en polvo junto con hierro, u otro metal en polvo) y somételo a presiones y temperaturas tan elevadas como las que existen en el interior del planeta. Hacen falta aparatos altamente resistentes. Después de someter, el grafito a tan drásticas condiciones lo dejas enfriar y en lugar de encontrarte con un producto negro como el grafito debe haber pequeños diamantes incrustados en el metal fundido, tal y como lo predice el diagrama, de fases (Figura 9). Para separarlos hay que echar mano de ácidos mucho más fuertes que el jugo de los limones de tus huertos. Así se disolverán los metales. Los primeros diamantes sintéticos obtenidos fueron tan pequeños como pata de mosca.

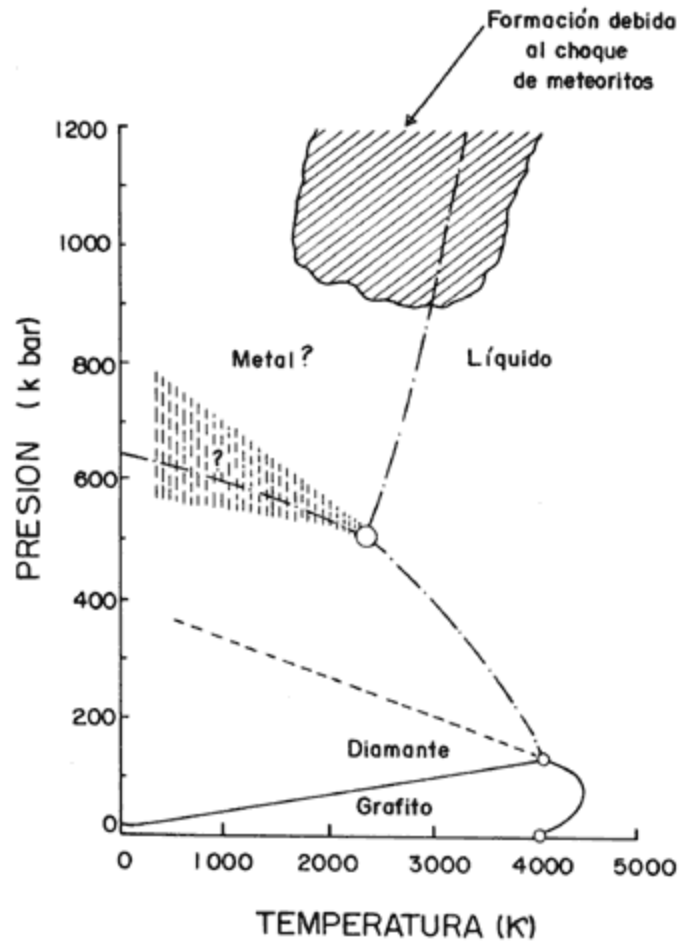


Figura 9. Diagrama de fases del carbono.

Y mientras el príncipe trabajaba construyendo los aparatos necesarios, el brujo seguía hablando:

—Veamos, príncipe. No te van a quedar muy grandes, pero algo se podrá hacer con ellos. Lo primero es tallarlos y eso se lleva a cabo según cinco pasos fundamentales: la marcación, la exfoliación, el aserrado, el desbastado y finalmente el pulido. Tiene que ser un experto el que lleve a cabo la marcación, pues en esta etapa se determina cómo debe cortarse la piedra para que rinda el valor máximo. En esta etapa se decide la forma que tendrá: de brillante (ojo: el brillante es sólo una forma de cortar el diamante), de pera, de esmeralda o de marquesa, tomando en cuenta la conformación de la piedra en bruto y el número y localización de los defectos (Figura 10). Debido a su estructura atómica, el diamante puede partirse en cuatro direcciones, siguiendo la forma del octaedro. Tomada la decisión de cómo cortar; el planeador "marca" con tinta exactamente donde se realizarán los cortes.

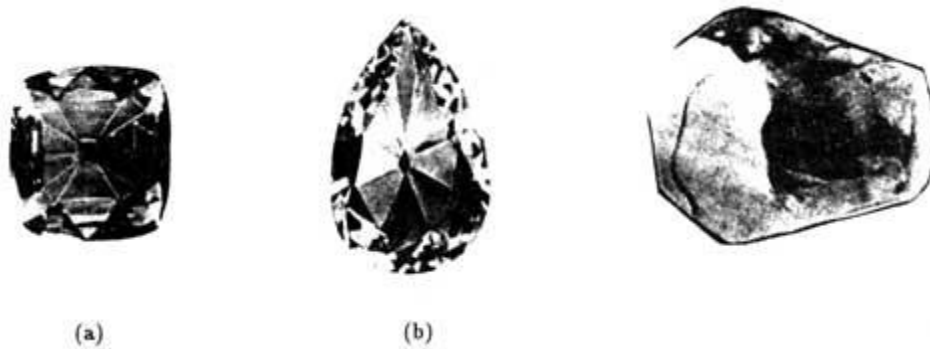


Figura 10. Cortes del diamante (a) y (b) comparados con el diamante en estado natural.

Y el brujo siguió su sabia disertación.

—Si el planeador o marcador decide exfoliar la piedra, se la pasa al exfoliador. Los diamantes de mayor tamaño se cortan en pedazos para, después, "aserrarlos". El exfoliador hace una ranura o surco a lo largo de la línea sobre la que la piedra será cortada, usando otro diamante como herramienta. Después la piedra se monta en un soporte y se le inserta una cuña en la acanaladura. Se golpea con un mazo la cuña y el diamante se parte exactamente donde se marcó. Cuando la piedra es muy grande y valiosa, el exfoliado se convierte en un proceso crítico. Un error del marcador o del exfoliador rompería la piedra destruyendo su valor como gema. El corte más extraordinario jamás hecho fue en 1908 cuando J. Assher cortó el *Cullinan* de 3 106 quilates, el más grande que se haya encontrado. [En la figura 11 se muestran algunos de los brillantes de mayor tamaño del mundo]. El "aserradero" es el siguiente paso. La sierra es un disco de fósforo y bronce del grueso de una hoja de papel sujeta entre dos arandelas de acero que rotan en un eje horizontal a 4 300 rpm. El borde de la sierra se carga previamente con aceite y polvo de diamante, y durante el proceso se sigue recargando con el polvo resultante. El aserrado toma entre 4 y 8 horas. Para el desbastado el diamante se monta en el soporte del torno y, mientras gira, se corta con otro diamante fijo a un instrumento de madera. Poco a poco la piedra adquiere la forma de un cono.

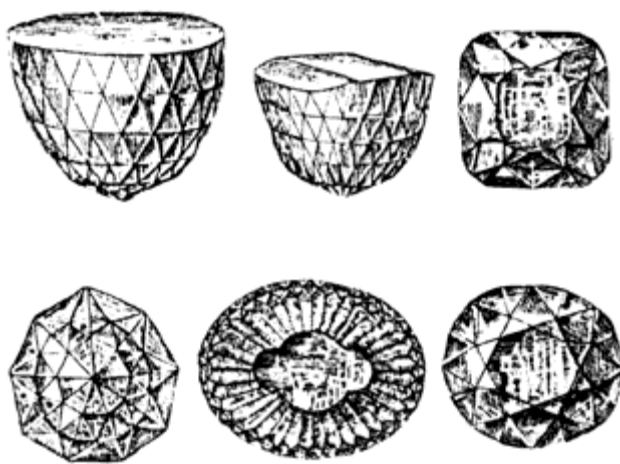


Figura 11. Entre los diamantes más famosos del mundo se encuentran: (fila superior) el *Gran mogol* que antes de tallarse pesaba 780 quilates, el *Orlov* que pesó 194 quilates, y el *Regente* de 137 quilates. En la fila inferior el *Florentino* de 140 quilates y el *Koinor* (186-106 quilates) según el tallado nuevo y el tallado antiguo.

Y remató así su perorata:

—El pulido es el último paso y es el que da al diamante su toque sublime. El primer facetador se especializa en hacer las 18 principales facetas del tallado "brillante". Después se manda el diamante al abrillantador que se encargará de las otras 40, si el diamante es el estándar de 58 facetas. La operación se realiza nuevamente con un plato giratorio de hierro fundido, cubierto de polvo de diamante. Como verás, oh príncipe y señor mío, el hombre toma los productos que la naturaleza le ofrece para transformarlos. Obtiene cosas tan valiosas como los diamantes, inventando chimeneas diamantíferas. Estoy convencido de que, algún día, el hombre logrará superar a esa misma naturaleza que tanto imita.

Y por fin llegó la celebración de los 50 años de reinado del califa. Ante toda la corte se presentaron los tres hijos con su regalo. Los políticos, los intrigantes y cuanto funcionario había aplaudió cuando el hijo mayor destapó su regalo.

—Es, padre mío, algo más sabroso que los diamantes —dijo— y sin embargo el gas que contiene también incluye átomos de carbono como el diamante.

Y, como si fuera la gran cosa, le ofreció a su padre una botella de champaña. Hubo un silencio de muerte en el gran salón y, poco a poco, los cuchicheos de "cómo se atreve, esto es un insulto", se fueron transformando en risitas. El califa, que además de califa era mago, por fin reaccionó y pronunció enfurecido tres fórmulas incomprensibles. Convirtió así a su hijo mayor en renacuajo. Exclamó después:

—¡En tu nueva condición aprenderás a apreciar los beneficios del agua!

Vino entonces el segundo hijo con su regalo. Fueron ahora los eunucos y las odaliscas así como todos los chismosos de la corte los que más aplaudieron.

—Queremos ver tu regalo, pues de seguro será el que más le guste al califa. Queremos ver tu regalo.

Después de lo sucedido con su hermano, el segundo hijo se acercó titubeante a su padre, y le enseñó lo que contenía una pequeña bolsa que llevaba atada al cinturón. El califa se puso rojo, rojo encendido, pero no pronunció palabra. Los partidarios de este príncipe no sabían si el rubor era de gusto o de ira, aunque poco tiempo duró su incertidumbre al oír a su favorito disculparse:

—Pero, padre, ¿qué te podía traer de Brasil? Sólo un trozo de, hule, pocas cosas hay más maravillosas, casi es un diamante, puesto que está compuesto de materia polimérica, son

carbonos unidos a otros carbonos formando una red elástica. Quisiera yo saber quién de los presentes no usa una vez al día, al menos, algo que contenga hule!

El califa no quiso oír más y con el mismo gesto enérgico, pero echando mano de una fórmula distinta, transformó a su hijo en mantel de hule.

— Así apreciarás mejor las ventajas del hule —dijo con los ojos muy abiertos y la boca torcida—. ¡Que venga mi tercer hijo, a ver con qué me sale! Uno pretende emborracharme, el otro quiere ponerme una pelota en el turbante, espero que el más pequeño sea más sensato

El príncipe habría hecho el recorrido hasta el diván de su padre en silencio, de no ser por los aplausos del brujo.

—Padre, he aquí unos cuantos diamantes aunque no son lo grandes que yo hubiera deseado y que vuestra nobleza merece.

El califa miró la cajita y sonrió, pues estaba seguro de que había suficientes diamantes para que el joyero de la corte le hiciera un broche precioso para sujetar las tres plumas de pavo real que quería llevar en el desfile.

—Hijo, te nombro mi heredero, eres el único capacitado para cumplir cabalmente con una tarea de importancia. Pero antes, y para que sepas lo que es, quiero que trabajes, en lo que tú quieras, pero que trabajes para entender mejor a tus súbditos futuros.

El príncipe no lo dudó y de inmediato contestó:

—Padre, quiero ser cortador de diamantes.

El brujo, al oír la respuesta, en voz baja le susurró al eunuco mayor:

—Este príncipe, además de quedarse con el reino se va a hacer rico. ¡Como si uno no supiera que el oficio de cortador de diamantes es de los mejor pagados! Es un oficio que empezó en la India y se perfeccionó en Italia. Los países bajos (Holanda, Bélgica y Luxemburgo) han sido famosos por sus "talladores" que se encuentran sobre todo en Amberes y Amsterdam. Y, en los últimos años, también los talladores de Israel, la India, Sudáfrica, Estados Unidos e Inglaterra, se han destacado. Perdona, eunuco, pero ésta es la mía, tengo que intervenir.

Fue entonces que el brujo habló en voz alta. Se acercó al príncipe y a su padre, a toda prisa, y dijo, con la esperanza de sacar provecho de la aventura:

—Antes de tomar cualquier decisión escucha lo que he de decirte, oh gran y justo señor. Corno si fuera yo también hijo tuyo te he traído un regalo. Míralo. Seguramente te gustara más que el de este joven príncipe a quien yo mismo le enseñé a sintetizar diamantes, pues has de saber que esos diamantes que tanto te han gustado son sintéticos... Acércate y mira

mi regalo, pues estoy convencido de que te va a entusiasmar. Está todo formado por átomos de carbono.

Y el brujo le entregó al califa un trozo enorme de grafito. Nada hubiera pasado si, cuando el califa soltó la carcajada, el brujo se hubiera callado. Pero no lo hizo, insistió, y trató de convencer al califa de que los brillantes del broche se volverían, con el tiempo, grafito, y de que lo uno y lo otro estaban constituidos sólo por átomos de carbono. Y pues, para eso, mejor era hacerse broches de grafito.

—Pero, y el brillo y los fuegos —rugió el califa—. Eres un alcornoque.

Y como lo hizo con sus hijos, transformó al brujo en un alcornoque, cuyas ramas salían por el salón de embajadores del palacio.

Y así termina la historia del brujo que acabó convertido en alcornoque. Pero ya despunta el alba, oh gran señor; y debo callarme antes de seguir con la historia del dibujante que se hizo rico.

GLOSARIO

carbonatos. Compuestos que resultan de la combinación del ácido carbónico H_2CO_3 con los siguientes iones, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Ba^{+2} , Fe^{+3} , Zr^{+2} , Pb^{+2} , Cu^{+2} .

gas carbónico o bióxido de carbono. Molécula de gas formada por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.

gemelado. Cristales que han crecido juntos.

refracción. Propiedad que tienen algunos cristales: cuando la luz los atraviesa, las imágenes se duplican.

V. EL GRAFITO

PERO CUANDO LLEGÓ LA CUARTA NOCHE

—¡VERDADERAMENTE, Scherezada, tu relato sobre los diamantes es prodigioso! —dijo el rey Schahriar— ¡Pero quiero que me cuentes esta noche un relato aún más prodigioso! Quiero oír una historia más asombrosa todavía, porque siento el pecho más oprimido que de costumbre.

Scherezada contestó:

—¡Sí puedo! —y al punto comenzó.

—En la antigüedad del tiempo y el pasado de las edades y de los momentos, en una ciudad de entre las ciudades de la China, y de cuyo nombre no me acuerdo en este instante, había —pero Alá es más sabio— un hombre que era dibujante de oficio y pobre de condición.

Y este hombre tenía una mujer llamada Zenobia que era muy avara y desde su infancia resultó una galopina muy enfadada. Y he aquí que esta esposa acosaba a su marido el dibujante para que ganara dinero y pudiera comprarse anchos mantos de tela de Mussul. Quería sedas sembradas de lentejuelas de oro y forro de brocado. Necesitaba anillos, aretes y pulseras. Noche tras noche se lamentaba:

—Claro, eso me pasa por casarme con un pobre. Será muy dibujante, pero es más pobre que un mendigo.

El dibujante, cansado de oír tantos lamentos, cansado también de ser mal dibujante, decidió hacerse rico. Se quedó mirando el trozo de carbón con el que trazaba las líneas de sus desmañados cuadros y se dijo:

—¡Ah! Si yo fuera un gran dibujante desearía tener las manos limpias. Desearía que el carbón se encontrara en una funda de madera y sobre todo que su trazo fuese nítido y limpio.

Se fue entonces al mercado con la espuerta en la mano derecha. Se detuvo a la entrada de una casa. Llamó y salió un musraní, que por un dinar le dio una medida de carbón que puso en la espuerta. Y he aquí que se paró otra vez cuando encontró un vendedor de hechizos y también le compró carbón. Y en casa del curandero compró más. Cuando la espuerta estaba bien llena, volvió a casa y probó cada uno de los carbones. Sólo uno de ellos le procuraba el trazo delgado que deseaba. Eran rayas de un gris claro que manchaban el papel. Entusiasmado salió a buscar al vendedor de hechizos para que le diera el nombre de ese carbón y le explicase por que era diferente de los otros.

El vendedor de hechizos, que vivía sumido en la meditación, y que tenía pocas ocasiones de conversar, le explicó al dibujante.

—¡Pero dibujante!, sólo es grafito y lo que has observado es lo mismo que los griegos. *Grafos*, en griego, quiere decir escribir y por eso este material se llama grafito. También los griegos, en la antigüedad, decían que son átomos lo que forma cuanto nos rodea. Pues si eso es cierto, que sí lo es, los átomos del grafito están dispuestos de tal modo que forman hexágonos, como los adoquines de los pisos de algunas mezquitas. Estas capas formadas de hexágonos se superponen unas sobre otras tal y como te lo voy a dibujar. Es como si fuera una pasta de hojaldre. (Figuras 6, 7 y 12.) Observa, oh dibujante, que cada átomo de carbono tiene tres átomos vecinos y que debe ser fácil exfoliarlo. El color es siempre negro o gris acero. Como las capas de átomos se separan fácilmente unas de otras y resbalan entre sí, el grafito es graso al tacto. Mira cómo mancha los dedos y el papel.



Figura 12. Trozo de grafito natural.

El dibujante seguía cada una de las instrucciones del vendedor de hechizos. Haciendo presión con la uña se dio cuenta de que el grafito se abría fácilmente en una dirección seguramente paralela a las capas de carbonos, pero en otra no, seguramente perpendicular a las capas de carbonos. Comprobó al sobarlo entre el pulgar y el índice, que era graso y manchaba. Mudo ante lo que parecía un material mágico siguió escuchando.

—El yacimiento más grande de grafito se encuentra en un país que se conoce como Sri Lanka, el mismo que muchos seguimos llamando Ceilán.

El viejo vendedor de hechizos, de entre sus bártulos, sacó una bola de cristal y se dispuso a revelarle al dibujante cuanto secreto tenía el grafito. Movié las manos y en la bola aparecieron signos que el viejo fue descifrando:

—Lo veo, sí lo veo —dijo—. Al grafito, en su forma natural, se le llama plombagina o lápiz plomo. Desde luego, dependiendo de su historia geológica, varía su forma física y su pureza. Químicamente es casi inerte y en el mejor de los casos arde con gran lentitud. Es flexible. ¡Caramba!, se ha nublado, no veo bien lo que me dice la bola. ¡Ya!, ya lo tengo, dice que es buen conductor del calor y de la electricidad. Dibujante, no pongas esa cara, que tú y yo, en este país y en esta época no sabemos lo que es la electricidad, no quiere

decir que la bola de cristal esté equivocada. Recuerda que nos está hablando con la verdad. Mira, dice que se usa solo o combinado, ya sea en los lubricantes, en la fabricación de artículos refractarios, de productos eléctricos y de pinturas.

—Vendedor de hechizos, por Alá, no pierdas más el tiempo. Pregúntale cómo puedo hacerme rico. Mi mujer me lo exige. ¿Cómo ganar dinero en el dibujo sin ser buen dibujante?

El viejo pronunció unas palabras incomprensibles y le preguntó a la bola:

—Mi amigo, un buen hombre, desea enriquecerse para que la paz conyugal vuelva a su hogar. Bola de cristal, por favor, propónle una manera de hacerlo. Él cree que a partir del grafito algo se debe de poder lograr.

La bola de cristal se puso roja y en su interior volvieron a aparecer nubes y torbellinos que el vendedor interpretó de la manera siguiente:

—Ya está hablando la bola otra vez. Me ha oído y dice que tú, siendo dibujante, deberías fabricar lápices. Son barritas de madera en cuyo centro se encuentra un cilindro de grafito y que se usan por el resto del mundo.

—Pero ¿cómo? ¿Tengo entonces que tallar los trozos de grafito para obtener ese cilindro?. Pregúntale, pregúntale.

—No me interrumpas —dijo el viejo—, la bola está hablando y dice que el material utilizado para elaborar lápices es el grafito natural seleccionado en función del tamaño de las partículas que lo componen. Se le agrega entonces arcilla grasa lavada, es decir un tipo de barro, y estos minerales se mezclan con mucha agua, de 15 a 20%, hasta que se forma una pasta. Quizás sea necesario facilitar las cosas añadiendo algún agente dispersivo. La pasta se debe trabajar en molinos de muelas o de rodillos o bien en prensas de extrusión por cribas e hileras; según el propósito del fabricante. La preparación de las barritas de grafito se efectuará entonces, por extrusión. Su diámetro varía de 1 a 12 mm en promedio. Los cilindros de grafito, recién formados por extrusión, son húmedos, correosos y se pueden enderezar o cortar a mano o con máquina. Se dejan entonces secar al aire hasta que su contenido de humedad sea de sólo 1% y se cuecen en hornos a temperaturas de 800°C a 1 000°C. Finalmente para que el lápiz deje una marca continua en el papel, las barritas, ya cocidas, se impregnan con ácidos grasos o cera.

Y la bola de cristal siguió revelando:

—Estas barritas enceradas se pegan entre dos tablitas de madera que tienen un surco en el centro. Se cortan en trozos, se alisan y barnizan. El grado de dureza de los lápices se regula con la cantidad de arcilla que se pone en la mezcla; si el porcentaje de arcilla es alto, el lápiz es más resistente al desgaste y deposita en el papel menos grafito.

El dibujante no escuchó más y dando saltos de gusto se fue a su taller. Allí, cantando:

Del grafito al lápiz
son sólo unos cuantos los
pasos.
Son sólo unos cuantos los
pasos,
del grafito al lápiz.

El dibujante fabricó lápices para estudiantes, para carpinteros, para mecánicos y hasta para pintarse las cejas y darse sombra a los ojos. A su tienda acudían en gran número los clientes y no lograba satisfacer la demanda que siempre era mayor que su producción. Desde luego las ganancias eran jugosas. El dibujante, acordándose de su tiempo de pobreza ahorraba tanto como podía y a su mujer le entregaba un pequeño porcentaje de lo que le pagaban.

Zenobia, que ya se compraba aretes y pulseras, quería aún más, así que, ni corta ni perezosa, se fue a ver al vendedor de hechizos.

—Sabio entre los sabios, yo también, como mi marido, deseo ser rica. Indícame qué he de hacer con el grafito para lograrlo.

El hombre, sin saludarla siquiera, sacó su bola de cristal y leyó:

—Las tres variedades del grafito que se conocen difieren en su forma física: 1) El grafito existe como escamas diseminadas, 2) el grafito puede estar en vetas (a esta variedad pertenece el grafito cristalino o plumbagino), que se presenta en forma de terrones, arcillas o agujas y, finalmente, 3) hay un grafito que quizás en un pasado muy remoto fue hulla. Quiero que sepas, Zenobia —dijo el viejo— que la bola de cristal te va a revelar una utilización del grafito que no te sospechas y que va a ser muy importante en el futuro. Para este propósito son los grafitos de escama los que se introducen en la mezcla. Hace falta, en general, 85% de grafito en la mezcla.

Aquí Zenobia interrumpió el discurso del hombre:

—Habla ya, viejo de mala muerte. Esto parece una adivinanza. ¿De qué se trata? ¿Para qué es la mezcla con 85% de grafito en escamas? ¿Será eso lo que me haga rica?

Y el vendedor de hechizos pacientemente, como si no la hubiera oído, prosiguió:

—Para este uso el grafito tiene la desventaja de quemarse en atmósfera oxidante y si fueras menos burra, Zenobia, te habrías dado cuenta de que estoy hablando de lo que en Occidente se llama "material refractario". Es decir, el que tiene las propiedades siguientes: a) Excelente conductividad térmica. Es un material, por lo tanto, que transmite el calor fácilmente. b) Excelente conductividad eléctrica. No sabes lo que es la electricidad, pero sólo se trata de que los electrones se puedan mover en una dirección. c) Poca dilatación con el calor. A diferencia de otros materiales los refractarios se dilatan poco con el calor. d) Muy buena refractabilidad. e) Excelente resistencia contra el ataque de los metales y los

fundentes. f) Termoplasticidad a altas temperaturas. Son materiales que se vuelven plásticos con la temperatura, esto quiere decir que a una cierta temperatura se pueden moldear.

Zenobia arrugó la nariz tratando de descifrar lo que esto significa y cuál era la aplicación de estos conocimientos que a ella la harían rica. El vendedor de hechizos seguía, impertérrito, con su discurso, leído de la bola de cristal.

—Los refractarios que llevan arcilla como agente cohesivo del grafito se preparan mezclando en seco o mediante agua estos dos componentes. Hay que seleccionar muy bien el mezclador para evitar que rompa el grafito. Por lo general, el material se deja varios días y solo entonces se les da forma a los artículos refractarios, ya sea por presión en un torno o en un molde. Hay quien lo hace por extrusión o moldeándolo a mano. También hay quien fabrica refractarios con brea como aglutinante.

—Muy bien, muy bien —volvió a Interrumpir Zenobia—, ya sé preparar; con lo que me has dicho, una pasta refractaria pero, insisto, ¿para qué me sirve yo quiero ser rica. Y además, todo esto se va complicando demasiado.

El vendedor de hechizos, que empezaba a hartarse de Zenobia, le contestó de mal modo:

—Pues se pueden fabricar crisoles, tapones y cucharones para acero, retortas para la destilación del cinc, tubos, varillas y agitadores, ladrillos, losas y cementos. —Pero antes de finalizar el vendedor de hechizos dijo: —y recuerda, Zenobia, que a la muerte llegaría en su esperanza vana quien quisiera alcanzar la gloria sin esfuerzo.

Zenobia se levantó muy seria creyendo haber perdido el tiempo. No se dio cuenta de que los materiales refractarios usados como ladrillos en los hornos para fabricar acero o simplemente en los laboratorios para un compuesto nuevo son de uso común. Tampoco de que la bola de cristal seguía revelando secretos.

Mas Zenobia, al contrario de su marido, no sabía escuchar, y aún menos creía en los descubrimientos. A eso se debe que el anuncio de fibras gráficas o de recubrimientos de grafito la hubiese dejado indiferente. Llegó a su casa y nunca más volvió a interesarse en hacerse rica. Le pareció más fácil y menos cansado administrar el dinero que su marido ganaba con esos conocimientos que tan poco entusiasmo le provocaban.

En este momento de su narración Scherezada vio aproximarse, la mañana y calló discretamente.

GLOSARIO

agente cohesivo. Sustancia que se utiliza para unir las moléculas de un material.

agente dispersor. Sustancia que se utiliza para separar y diseminar lo que suele estar unido.

atmósfera oxidante. Fluido gaseoso con propiedades para transformar o modificar un material por medio de una reacción con el oxígeno.

crisol. Recipiente más ancho de arriba que de abajo, a veces con tres o cuatro picos en la boca, de material refractario, porcelana, grafito, hierro, plata o platino y que se emplea para fundir materiales a altas temperaturas.

molino de muelas. Equipo utilizado en la preparación de minerales para triturarlos y reducirlos a partículas pequeñas.

prensa de extrusión por cribas e hileras. Equipo que se utiliza para pasar una pasta plástica a través de cribas e hileras.

refractabilidad. Propiedad que tienen algunos materiales para resistir altas temperaturas sin cambiar su composición.

retorta. Vasija con cuello largo encorvado, apta para diversas operaciones químicas.

VI. LOS CARBONES NATURALES

PERO CUANDO LLEGÓ LA QUINTA NOCHE

ELLA DIJO:, voy a contarte, oh mi señor; lo que le acaeció al pintor Hassan y al califa Abdalmalek. Y empezó:

En uno de los reinos más lejanos de la India, allí donde las montañas tocan el cielo, hubo un artista, Hassan de nombre, que reproducía los paisajes que lo rodeaban con tanto arte y destreza que su fama llegó a oídos del califa Abdalmalek. Este poderoso gobernante quiso poner a prueba el talento del famoso pintor y en público, le lanzó este desafío:

—Mucho he oído de tus habilidades, pero, después de contemplar tus obras, pocos son tantos halagos para lo que en realidad mereces. Muy variados son los colores que utilizas y los materiales que te sirven: el azul de tus mares es más hermoso y líquido que el del océano entero, usas lapislázuli para eso. Tus soles son tan amarillos que queman aún más que todos los del desierto. Usas polvo de oro para lograrlo. Ahora quiero verte componer un paisaje, pero rompiendo las que han sido hasta ahora tus reglas. Sólo te estará permitido un elemento y sólo con él has de ejecutar el trabajo. Escoge tú mismo el que más te guste.

Hassan no lo dudó y rápidamente contestó: —el carbono. Escojo el carbono, señor.

—Me parece que tu elección no ha sido acertada, pero te la concedo contestó el poderoso califa.

Hassan no tuvo dificultad en pintar un cielo. Tomó un trozo de grafito, el más gris que encontró y le incrustó pequeños diamantes. Allí aparecieron la Osa Mayor y la Vía, Láctea. Noche más hermosa no la había creado ni Alá —y que él perdone esta frase—. A medida que Hassan colocaba los pequeños fragmentos de grafito procuraba recordar el lugar de donde lo habían traído. Y mientras trabajaba hablaba en voz alta como si un aprendiz lo oyera. Hablaba solo, a sus anchas, porque no sabía que el califa, a quien la curiosidad no dejaba dormir; espiaba mirando y oyendo por un agujerito que al respecto había en una de las paredes. El califa pensó que el cielo estrellado era hermoso pero que, utilizando sólo compuestos de carbón, Hassan no podría simular montes, valles y ríos.

En voz alta, el pintor recordaba que provenía de un país donde el carbono no sólo se halla como grafito o como diamante, sino que se encuentra en grandes cantidades en forma de carbón natural en las minas. Lo hay brillante y también opaco, otras variedades son duras. La mayor parte del carbono se encuentra como material macizo sólido que se puede inflamar. Según se dice, los restos orgánicos, es decir, los de animales y plantas muertos, van cubriéndose de una espesa capa de arena y arcilla. Después, bajo la influencia del calor; de la presión y de complicados procesos químicos se va formando la hulla o el petróleo, según sea la naturaleza de estos restos y las condiciones de conservación. El carbono orgánico sólido, originado durante el proceso de descomposición de las plantas, se encuentra en la naturaleza en tres formas: antracita, hulla y lignito. En son de juego, Hassan canturreó:

Son tres, son tres, son
tres,
las formas del carbón
orgánico
y tres veces,
tres veces
tres veces
lo repetiré:
son tres, son tres, son
tres
las formas del carbón
orgánico
antracita, hulla y
lignito,
antracita, hulla y
lignito,
antracita, hulla y
lignito.

El califa repitió para sí una vez más "antracita, hulla y lignito" y pegó la oreja a la puerta.

—Su estructura —siguió Hassan tras el intermedio— confirma la naturaleza y el origen vegetal de la antracita, de la hulla y de los lignitos. Estos carbones son de estructura estratiforme (o sea en forma de capas) y a menudo pueden descubrirse, incluso a simple vista, las huellas de hojas, esporas y semillas en el carbón.

Y Hassan, con trocitos de hulla y antracita fue delineando los horizontes. Los lignitos menos brillantes, y hasta pardos, le sirvieron para hacer los bosques, semejantes a manchones colgados de las laderas o amontonados, en los valles.

El califa, deseoso de ver y oír mejor; cambió de postura y al hacerlo frotó sin querer una lámpara que allí había. Como era de esperarse, de inmediato, se formó una nube que tomó la forma de un genio, un genio erudito que sin perder tiempo le susurró al califa.

—Si hubieses leído un poco más sabrías que la madera es un tejido vegetal muy especializado, que su misión principal es transportar el agua en las plantas superiores (helechos y plantas con flores) y que, debido a su dureza y resistencia, les proporciona a las plantas un soporte más o menos rígido que forma la base para que algunas alcancen alturas asombrosas.

—Y añadió—: Las plantas inferiores (algas, hongos y musgos) carecen de madera; en realidad no poseen ningún tejido especializado en transportar agua o sea que su sistema

circulatorio es muy primitivo. El agua que se absorbe en la superficie de la planta circula, en general, muy lentamente de célula a célula.

—El genio continuó exaltado—: El tejido leñoso, llamado también *xilema*, está formado por millares de pequeñas células con paredes para su resistencia y dureza. La celulosa blanda y elástica esta reforzada por una sustancia dura llamada lignina. Todas las células leñosas maduras están muertas, pues una vez que la lignina se ha depositado desaparece su contenido vivo, dejando tras de sí una estructura correosa y hueca.

El genio entonces hizo aparecer un tronco de árbol (Figura 13) y, a medida que, señalaba, le decía al atónito califa:

—La médula central, coloreada por gomas y taninos, ha dejado de ser conductora, es una función que lleva a cabo la madera blanca o *albura*. Es más, las células del *floema*, que conducen los alimentos, se encuentran en la capa interna de la corteza y por eso, si le arrancamos la corteza a un árbol el árbol puede morir. El espesor de los rayos medulares de las maderas sencillas es de una sola célula, pero, en las más complicadas, como la del roble, lo forman decenas de capas de células. La madera, como tú bien lo sabes, califa, es un material de construcción importante. Además es un combustible útil para la cocina y la calefacción domésticas. Al destilarla se obtienen sustancias como el metano, la acetona, las breas y diferentes tipos de aceites y gases. Las resinas, los colorantes y los taninos se extraen de la médula, y la ceniza de la madera es rica en potasio, valioso fertilizante. De la pulpa de la madera se puede obtener, transformándola, una masa de la que se separan las fibras para hacer un *fieltro*. En la fabricación del papel tienen particular importancia el abeto rojo, el álamo y ciertos tipos de pinos. La celulosa de la pulpa de madera puede extraerse, purificarse y transformarse en celofán y en rayón.

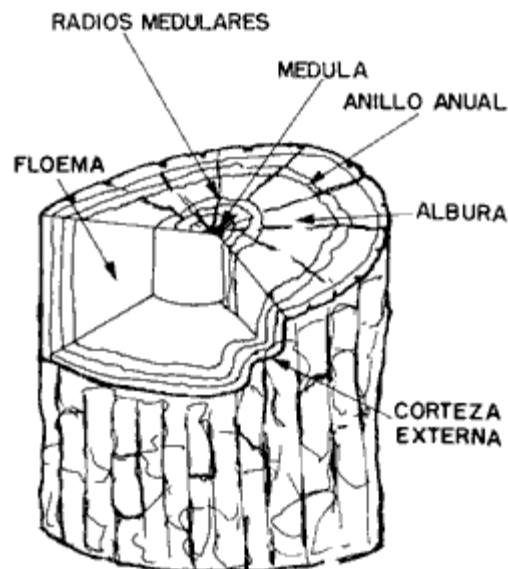


Figura 13. Tronco de un árbol, se indican las partes que lo constituyen.

—¿Celofán? ¿Rayón? ¿Células? —preguntó el califa—. ¿Pero, de qué me hablas?

—De lo que deberías saber para conseguir el bienestar de tu pueblo, de lo que es moderno, gran califa.

—Ya mí qué me importa lo moderno, qué me importa el bienestar de mi pueblo. Háblame mejor del carbón natural, del que no es ni grafito ni diamante, del que está usando Hassan en su cuadro para simular valles y bosques en su paisaje nocturno.

Y el genio, picado en su amor propio prosiguió con su discurso:

—Has de saber; gran califa, que las bacterias atacan rápidamente las hojas y las ramas caídas en los bosques y que las reducen a compuestos químicos sencillos, aptos para ser absorbidos por otras plantas. Pero este proceso de descomposición bacteriana requiere disponer de oxígeno en abundancia, condición que no se da en los suelos anegados donde la descomposición es limitada. Los ácidos orgánicos producidos impiden la acción bacteriana y los restos de las plantas, leñosas o no, crecen, capa tras capa, dando lugar a una *turbera*. La turba es un material fibroso o leñoso en el que son todavía evidentes los restos de plantas, ya que se conservan las paredes de celulosa y lignina. A medida que se acumula la turba, las capas inferiores se comprimen más y más, perdiendo parte del agua. Una vez seco, este material se puede emplear como combustible de baja calidad. Los depósitos de turba, enterrados durante millones de años, dieron lugar a la formación del carbón de piedra. Los efectos combinados de la presión y el calor fueron eliminando gradualmente el hidrógeno y el oxígeno (en forma de agua, bióxido de carbono, metano, etc.), aumentando el porcentaje de carbono y transformando la turba en carbón de piedra. El carbón que posee mayor poder calorífico es aquel que tiene un contenido más alto de carbono. —Y añadió el genio, ahora he de hablarte de las distintas calidades de carbón. —Y sin darle tiempo al califa de protestar; encadenó a toda velocidad—: La turba, cuya composición es análoga a la de las plantas actuales, constituye la calidad inferior, y su contenido de carbono es el más bajo (Figura14). El lignito es ligeramente superior a la turba aunque con frecuencia se pueden reconocer en él las estructuras vegetales que indican que su origen principal se encuentra en las turbas de los bosques (esto es, que está formado, en esencia, de fragmentos leñosos.) A los lignitos se les llama con frecuencia *carbones pardos*, en especial cuando la estructura vegetal no es claramente visible. Sus depósitos son comunes en las rocas terciarias y mesozoicas, formadas hace menos de 200 millones de años. Los carbones pardos se emplean como combustible, pero no tienen importancia comercial. Se encuentran en abundancia en los continentes más lejanos: América y Australia.

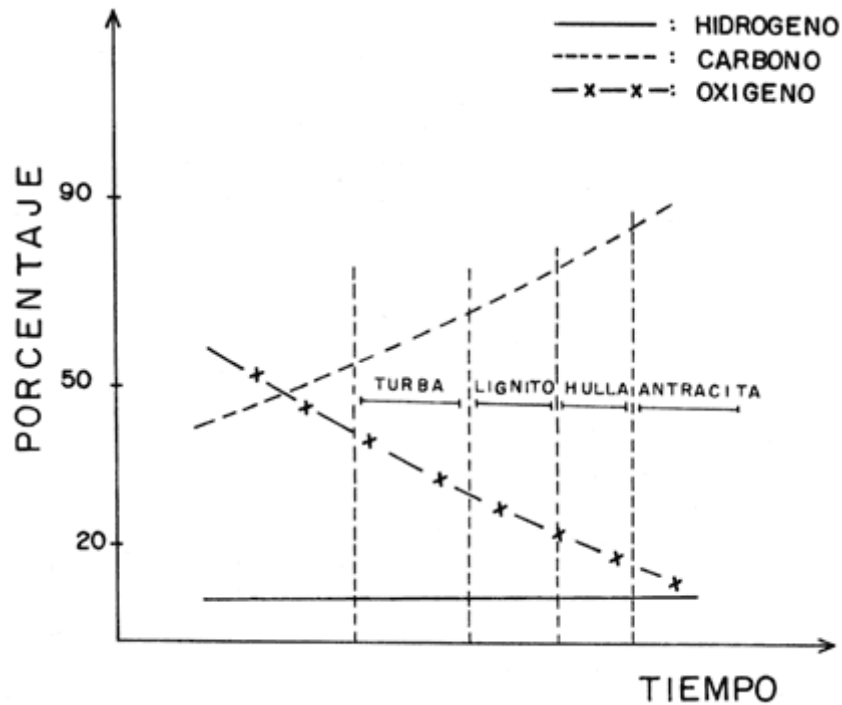


Figura 14. Variación de los porcentajes de carbono, oxígeno e hidrógeno durante la formación de los distintos carbones naturales.

El genio hizo una pausa para que el califa entendiera lo que había dicho, luego continuó:

—El carbón más usado es la *hulla*, procedente de los depósitos de carbón bituminoso del periodo carbonífero (hace unos 250 millones de años) que han abastecido la mayor parte del consumo mundial. Dicho carbón bituminoso suele tener color negro brillante y presenta estructura laminar. En él no son visibles a simple vista los restos de las plantas.

—¡Basta, basta y basta! —exclamó indignado el califa—, no te das cuenta de que ni a mí ni a ninguno de mis cortesanos nos han explicado lo que es una bacteria, o lo que son las rocas terciarias. Todo esto me huele a herejía...

—Califa, escucha y no metas religiones en lo que sólo es ciencia. Tus semejantes, en otros reinos o en otros países, usan enciclopedias y diccionarios en los que sin dificultad encuentran el significado de estos términos. Tú puedes hacer lo mismo. Si te los explico no acabaremos jamás —dijo el genio malhumorado y siguió—: El carbón de mejor calidad es la *antracita* formada, según parece, en lugares donde los depósitos han estado sometidos a presiones elevadas; es un carbón negro y quebradizo que contiene cerca de 95% de carbono y constituye un combustible muy apreciado, pues su llama es caliente y sin humo, y eso lo hace un combustible adecuado y buscado.

Y sacudiendo las manos, como si se hubiera quemado en el brasero, añadió:

—En general, cuanto más viejo es un depósito mejor es la calidad del carbón, lo cual se debe a que el proceso de carbonización se ha desarrollado durante un periodo más grande. Sin embargo, en las regiones volcánicas, donde los movimientos de la Tierra han creado condiciones inusitadas de calor o presión, se han encontrado carbones bituminosos en depósitos terciarios y mesozoicos. Por su importancia económica, la hulla fue estudiada en los siglos XIX y XX con más detalle que cualquier otro carbón. Contiene de 70 a 90% de carbono y de 8 a 15% de oxígeno y 4% de hidrógeno. También contiene pequeñas cantidades de azufre y nitrógeno —elementos presentes, desde luego, en la materia que constituye las plantas vivas—. Todos los carbones contienen cierta cantidad de materia mineral derivada en parte de las plantas de origen, pero sobre todo del agua filtrada a través de los depósitos durante su periodo de formación. Esta materia mineral produce las cenizas cuando el carbón se quema.

El califa, a estas alturas francamente enfurecido, se quitó una babucha y se la lanzó al genio:

—Nada, no quiero saber nada de lo que dicen tus libros y tus enciclopedias. ¡No te das cuenta de que no lo entiendo! —gritó el califa.

Hassan se sobresaltó y pregunto:

—¿Quién está allí?

Al califa no le quedó más remedio que abrir la puerta y salir de su guarida. Le explicó al pintor lo sucedido y le rogó que lo perdonara. Hassan sonrió y le mostró al califa cómo había dibujado ríos con la hulla brillante, y con lignitos logró hacer bosques. Cuando le dijo al califa: "Oh gran señor, califa entre los califas, mira cómo todo es carbón", se vio venir una nube de humo negro que rápidamente tomó la forma del genio erudito mientras retumbaba su voz:

—Mucha razón tienes, pintor entre los pintores. Has de saber que ya ha quedado establecido lo que se llama el ciclo del carbono, ciclo complejo que se desarrolla entre el suelo, el aire y los organismos vegetales y animales, para los cuales el carbono constituye el elemento fundamental de su estructura y metabolismo.

El califa sólo alcanzó a decir:

—Oh, no... — y se quedó profundamente dormido.

El genio siguió al ver que el pintor Hassan abría muy grandes los ojos y escuchaba con mucho interés.

—Los organismos animales eliminan anhídrido carbónico, es decir, partículas constituidas por carbono y oxígeno. Además, los desechos y los cadáveres de los animales, junto con las partes muertas de los vegetales, enriquecen la concentración de carbono en el suelo donde, por acción de una gran cantidad de bacterias y hongos, y a través de una compleja serie de

descomposiciones anaerobias y aerobias —es decir, sin o con presencia de aire—, se forma anhídrido carbónico, parte del cual pasa a la atmósfera. En el terreno permanece el carbono de los carbonatos o bicarbonatos. En ciertas condiciones, como se lo expliqué al sultán, los restos vegetales pueden perder los demás elementos conservando el carbono y dar lugar así a la formación de los carbones fósiles.

—Alto —dijo el pintor—, si lo que dices es cierto, con el tiempo el aire se enriquecerá de anhídrido carbónico y el suelo acabará compuesto por una cantidad creciente de carbonatos. Desde luego, eso sucedería si las plantas en general no se encargaran de restablecer el equilibrio: las plantas absorben los carbonatos del suelo por medio de las raíces o, sobre todo, descomponiendo el anhídrido carbónico del aire mediante el proceso de la fotosíntesis. Quizás con este dibujo lo entiendas mejor.

Y el genio dibujó con humo el ciclo del carbono (Figura 15). Todavía le quedaban cosas por decir.

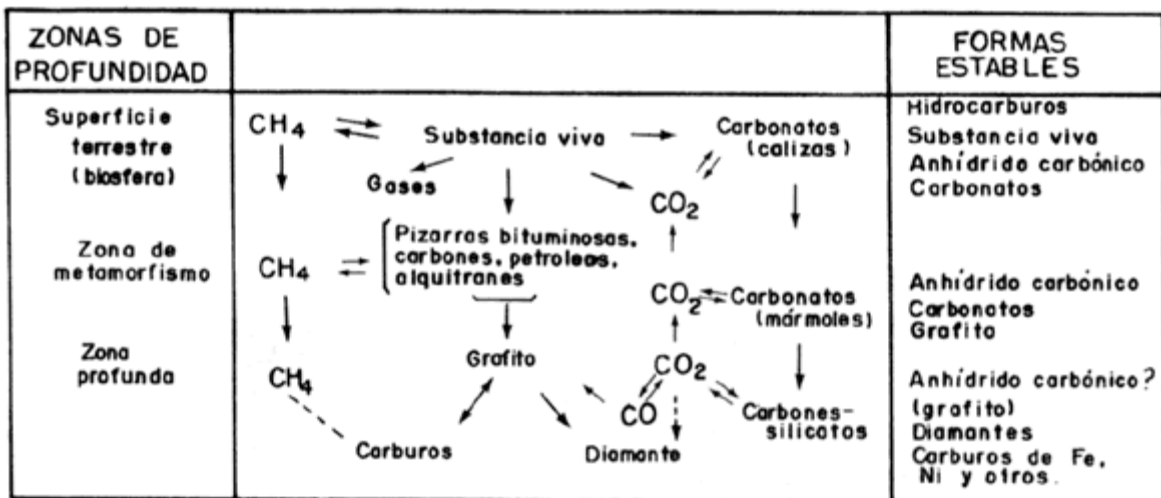


Figura 15. Ciclo geoquímico del carbono.

—Hoy, debido al uso excesivo de los combustibles, se han acumulado más de 6 000 000 000 de toneladas de carbón en la atmósfera. De 1850 a 1990 se incrementó 25% el carbón en el medio ambiente, de ese porcentaje la mitad se produjo entre 1960 y 1990. Las condiciones del clima han cambiado en 0.2% y se espera que para el año 2050 la temperatura de la Tierra se modifique en 0.5%. Aunque estos porcentajes parecen ínfimos, quieren decir que el nivel del mar se elevará de 30 a 50 cm. Si los hombres no entienden los daños irreversibles que ocasionan las emisiones de gases de carbono, bióxido de carbono, metano y clorofluorocarburos, entre otras, el cambio climático global será inevitable.

El pintor Hassan se quedó mirando su cuadro y suspiró.

—No, no puede alterarse todo esto, no debe alterarse.

Fue entonces que el sultán despertó y, dibujando una sonrisa en sus labios, invitó al pintor y al genio a sentarse junto a él en el diván, y dijo:

—Sabed ¡Oh amigos míos!, lo que en los sueños me ha sido revelado sobre el carbono.

En ese momento de su narración Scherezada vio que venía la mañana y calló discretamente.

GLOSARIO

acetona. Líquido de olor característico que se obtiene por destilación seca de la madera o por la fermentación de hidratos de carbono con diversos microorganismos. Se emplea como disolvente de grasas, resinas y otros compuestos orgánicos.

bacteria. Organismo vegetal unicelular, microscópico, sin clorofila ni núcleo, pero con gránulos de crematina dispersos en el protoplasma y provistos a veces de flagelos o cilios, mediante los cuales se mueve en un medio líquido.

brea. Sustancia viscosa de color rojo oscuro que se obtiene haciendo destilar, al fuego, la madera de varios árboles de la familia de las coníferas. Se emplea en medicina como pectoral y antiséptico.

celulosa. Cuerpo sólido insoluble en el agua, el alcohol y el éter; perteneciente al grupo químico de los hidratos de carbono, que forma casi totalmente la membrana envolvente de las células vegetales. Casi por completo constituye el papel blanco.

lignina. Sustancia orgánica que impregna los tejidos o los elementos de la madera.

metanol. Alcohol monovalente saturado.

resinas. Sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en alcohol y en los aceites esenciales y capaz de arder en contacto con el aire.

rocas terciarias. Piedras, o vena de ellas, muy duras, formadas hace 40 o 60 millones de años. Sus componentes son minerales en su mayoría.

tanino. Sustancia astringente contenida en la nuez de agallas, en la corteza de la encina y otros árboles y en la raspa y hollejo de la uva y otros frutos.

teñido leñoso. Parte de los arbustos, plantas y frutos que tienen dureza y consistencia semejante a la madera.

VII. EL FUTBOLENO

PERO CUANDO LLEGÓ LA SEXTA NOCHE

ELLA dijo:

He llegado a saber ¡Oh rey afortunado!, que el sultán contó su sueño del modo siguiente:

—Mi sueño empieza en una fecha aún muy cercana, hacia 1985 de la era cristiana, cuando un profesor del infiel occidente hizo experimentos acerca de la vaporización del carbono. Uno consistía en vaporizar con un láser una pastilla de grafito en una corriente de helio. Fue el 4 de septiembre de ese año cuando se dieron, según mis sueños, las condiciones experimentales que permitieron descubrir dos agregados notables: ¡contenían 60 y 70 átomos de carbono!

Pero no todo era descubrirlos. Había que explicar por qué su número era sesenta y cuál era su estructura.

—La estructura propuesta, después de múltiples discusiones y de construir cientos de modelos, era análoga a la de un balón de fútbol, con 12 pentágonos negros y 20 hexágonos blancos, cuyas costuras convergen en 60 puntos. Es más, en esos puntos convergen siempre tres costuras. En este modelo, si se coloca un átomo de carbono en esas intersecciones, sólo hay que proponer enlaces simples y dobles alternados para explicar tan extraños aglomerados de carbono. Este resultado apareció en la revista *Nature* el 13 de septiembre de 1985. Tú, genio, lo debes saber mejor que yo y que mis sueños. El primer nombre de estos nuevos agregados fue *buckminsterfullerenos*, inspirado en el apellido de un arquitecto constructor de domos geodésicos como esta estructura (Figura 16).

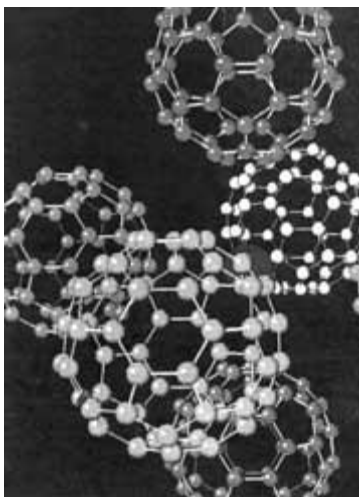


Figura 16. Futbolenos.

Y el genio completó:

—Gracias a este descubrimiento se pudo afirmar que al lado del grafito y del diamante existe una tercera variedad alotrópica del carbón. El hallazgo es notable porque materializa la imaginación de algunos químicos que habían previsto la existencia del C_{60} y porque abre una línea original de investigación. Así la revista Science, en su número del 20 de diciembre de 1991, consideró que el C_{60} fue la molécula del año. En marzo de 1991 se descubrió, según, mi sueño, el carácter superconductor a $18\text{ }^{\circ}\text{K}$ y a $28\text{ }^{\circ}\text{K}$ (esto es a -255°C y -245°C) de compuestos a base de carbono como el K_8C_{60} y el Rb_8C_{60} , cuya estructura no guarda relación alguna con los óxidos superconductores conocidos (Figura 17) .Con este resultado se probó que hay varias clases de superconductores de alta temperatura crítica.

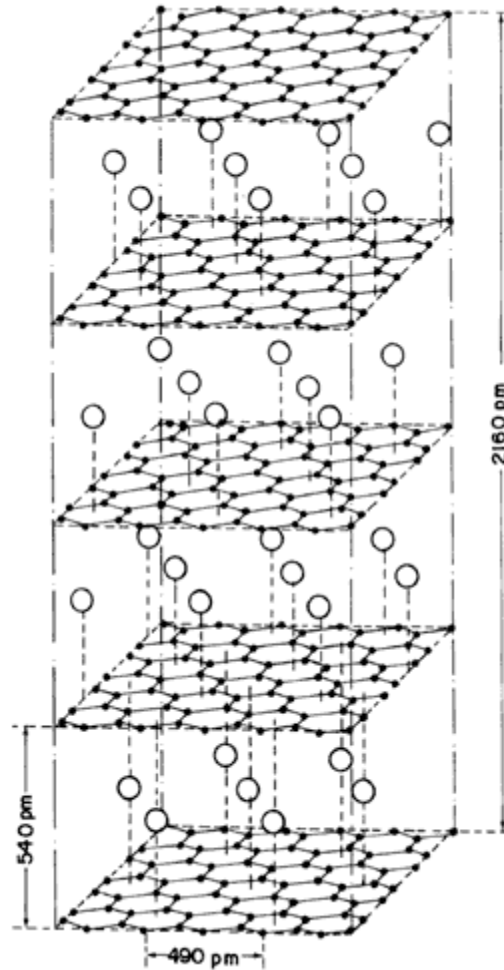


Figura 17. Estructura de los compuestos C_8K y $C_{16}K$,

\bigcirc = átomos de K

\cdot = átomos de C.

$1\text{ pm} = 10^{-12}$ metros.

Aquí, el califa lo interrumpió.

—Para entender la zozobra que semejante sueño me causó, hay que saber que la superconductividad a alta temperatura significa que existen materiales capaces de conducir perfectamente la electricidad, por debajo de una temperatura relativamente elevada (superior a 20 °K o sea -253°C). La superconductividad, tal como la descubrió H.K.Onnes, es la propiedad que tienen ciertos metales de conducir la corriente eléctrica sin disipación, o sea que la resistencia medida es estrictamente nula. En ese sueño yo no sabía lo que es la electricidad, ni los electrones y menos la superconductividad. Los investigadores, situados a mi alrededor, gritaban muy exaltados, discutían, redactaban y publicaban los pormenores de este descubrimiento en un idioma bárbaro que escribían con faltas de ortografía y pronunciaban mal. Se trataba de un mundo enloquecido en el que se entendían el negro del Sudán, el chino de Cantón y el blanco de Finlandia; un mundo del cual lo poco que me quedó claro, fue que los fulerenos o futboleos también podían ser superconductores. Agregados de esferas huecas, formados por centenares de átomos, han sido descubiertos. Existe la posibilidad de obtener agregados dentro de los agregados, por ejemplo, un C₆₀ dentro de un C₂₅₀. Poco a poco, con ayuda de la imaginación, vi en el sueño una molécula dentro de otra, creciendo y creciendo. Me pareció una pesadilla y fue entonces que me desperté.

Tanto el genio erudito como el pintor se rieron mucho.

—Ríanse; ríanse tanto cuanto quieran pero los fulerenos o futboleos o lo que sea van a ser un tema de investigación en el futuro, así me lo han revelado los sueños —gruñó el califa.

El genio, que ya era buen amigo del pintor; trató de favorecerlo.

—Oh gran señor; si de sueños hemos de hablar, ¿no es para ti un sueño este maravilloso cuadro que Hassan ha hecho?

—Así es, así es —replicó el califa.

—¿No es verdad, sultán poderoso, que este cuadro se hizo por orden tuya?

—Así es, así es —volvió a contestar muy orondo el califa.

—¿Y te ha gustado? —insistió el genio.

—Desde luego, y lo he demostrado. En él he visto representadas las muy variadas formas en las que se presenta el carbono en la Tierra. Felicidades, felicidades, Hassan, has rebasado mis expectativas. Guardaré con gusto tu cuadro y tú puedes irte a tus montañas que, según entiendo, es lo que más te place.

—¡Califa, califa!, no seas como tantos gobernantes del pasado y del futuro. El arte y la ciencia no sólo se apoyan con buenas palabras. Págale con dinero a Hassan para que sobreviva en sus Himalayas sin preocupaciones, pintando, y... con diamantes para que pueda ponerlos de estrellas en las noches de sus paisajes.

A regañadientes el califa dio a Hassan dos de sus sortijas y se vació los bolsillos para entregarle el dinero que llevaba. El gran señor; desde entonces, sólo habló de fulerenos y de futbolenos a quien quiso oírlo. Hassan siguió usando grafito, hulla, diamantes y lignitos en sus cuadros que pintó en las montañas. El genio erudito volvió a su lámpara en espera de que otro califa; en otra época, la frotara para poderle explicar lo que es el carbón natural.

Así termina, felizmente, ¡oh gran señor!, la historia del pintor Hassan.

—Quiero, sin embargo —continuó Scherezada—, contarte una historia muy cercana al carbón pues, aunque no trata ya de la estructura de éste elemento trata de algo que nos atañe a ti, a mí, a todos.

El rey Schahriar cantó a Scherezada en voz tan baja que le tocaba la oreja con los labios:

Quiero sorberle a una copa los
labios,
ya que no me dejas, sorbértelos a
ti.
No es un refresco el beso, sino
una brasa al rojo. ¡Ay!, nadie es
tonto hasta que se enamora.

—Lo que tú me cuentas me interesa mucho —dijo en voz alta. Y Scherezada, arrellanándose en el diván, habló:

—Tú lo acabas de decir; ¡oh gran señor!, de las brasas, del fuego y del calor habla la historia que sigue, conocida como "El cocinero que no tenía que comer". Y merece ¡oh emir de los creyentes! que la escuches mañana por la noche.

GLOSARIO

alotropía. Fenómeno debido a la estructura, en virtud del cual un cuerpo sencillo o compuesto puede presentarse de varias formas que difieren en sus propiedades físicas, manteniéndose idénticas las propiedades químicas.

alotrópico. Que presenta la propiedad de la alotropía.

superconductores. Materiales cerámicos que no oponen resistencia al paso de la corriente eléctrica.

VIII. LAS BRASAS Y LAS CENIZAS

Y CUANDO LLEGÓ LA SÉPTIMA NOCHE

SE LLAMABA Schakalik o "el tarro hendido" el cocinero de esta historia, al que casi le cortaron las manos a consecuencia de circunstancias extremadamente asombrosas. Porque Schakalik era el más pobre de sus hermanos; y no hablo de los cien dracmas de la herencia de su padre porque Schakalik, que nunca había visto tanto dinero junto, se las comió en una noche, acompañado de la gentuza más deplorable del barrio izquierdo de Bagdad.

No poseía, pues, ninguna de las vanidades de este mundo y sólo vivía de las limosnas de la gente que lo admitía en su casa por su divertida conversación y sus graciosas ocurrencias.

Un día entre los días había salido Schakalik en busca de un poco de comida para su cuerpo extremado por las privaciones. Y vagando por las calles se encontró ante una magnífica casa, a la cual daba acceso un gran pórtico con varios peldaños. Y en estos peldaños y a la entrada había un número considerable de esclavos, sirvientes, oficiales y porteros. Schakalik se aproximó a los que allí estaban y les preguntó de quién era tan maravilloso edificio y le contestaron que era propiedad de un hombre que figuraba entre los hijos de los reyes. ¿Pero de dónde sales —le dijeron también—, qué no sabes que con sólo presentarte ante nuestro amo te colmará enseguida con sus dones?

Schakalik entró y franqueó el gran pórtico, atravesó un patio espacioso y un jardín poblado de árboles hermosísimos y aves canoras. Lo rodeaba una galería calada con pavimento de mármol y toldos que daban frescura durante las horas de calor. Schakalik siguió andando y entró en la sala principal, cubierta de azulejos de colores verde, azul y oro, con flores y hojas entrelazadas.

En medio de la sala había una fuente de mármol, con un surtidor de agua fresca que caía con dulce murmullo. Una estera de colores alfombraba la mitad del suelo, que era más elevada que la otra mitad; y allí, reclinado en unos almohadones de seda con bordados de oro se hallaba muy a gusto un hermoso jeque de larga barba blanca y rostro iluminado por una benévola sonrisa.

Schakalik se acercó y el anciano de la hermosa barba le dijo:

—¿Qué deseas?

—¡Sea la paz contigo! —contestó Schakalik.

El anciano, levantándose, contestó:

—¡Y contigo la paz y la misericordia de Alá con sus bendiciones! ¡Oh tú!

—¡Oh mi señor! Sólo pedirte una limosna, pues estoy extenuado por el hambre y las privaciones.

El anciano que además de hijo de reyes era sabio, replicó:

—Dinero no he de darte, pues está bien claro que no sabrás administrarlo. ¿Cómo aprender a administrar dinero sin tenerlo? Sería como saber nadar sin conocer el agua, o hablar del gusto del faisán sin haberlo probado. En cambio te voy a mandar a mi cocina para que te den de comer hasta que te hartes y para que cocines cuanto quieras.

Apenas oyó esta última frase, Schakalik salió corriendo preguntando dónde estaban las cocinas de aquel palacio. Después de cruzar innumerables salones y patios, asombrándose ante tanto lujo y belleza llegó a las despensas, a los comedores y a las cocinas pues había varias. Sin preguntarle a lo que venía, de inmediato un esclavo negro altísimo, negro como el carbón, duro como el diamante, azulado como el grafito, le puso delante varios platos unos hondos y otros redondos, pero todos de finísima porcelana. Allí humeaban los más exquisitos manjares: cordero y aves asadas, sopas de pistache y de piñón, verduras de todos los colores y arroz, arroz en todas sus formas.

—¡Oh maravilla! —gimió el hambriento echando mano del té.

—Y todo, absolutamente todo, gracias al negro —dijo el esclavo.

—¿El negro?, ¿sólo hay uno?, debe trabajar como... (iba a decir negro pero prefirió, en el último momento, cambiar) chino en lavandería.

La carcajada del esclavo fue tan sonora, tan estruendosa, que Schakalik se sintió obligado a pedir una explicación para poderse reír con él.

—No, Schakalik. Además de miserable eres ignorante. Cuando hablé del negro quise decir ese material que llamamos carbón. Gracias a él tenemos porcelanas, tenemos comidas humeantes, o carnes asadas.

Schakalik, que era muy despierto, resumió el problema de la siguiente forma:

—Me dices que algo tienen en común la porcelana, el arroz humeante y las carnes asadas y luego me contestas que el carbón. No veo por qué. Déjame comer y no me tomes el pelo. Yo sólo soy un animal más que necesita rellenar las tripas antes de seguir su camino. Mira qué bien lo ha entendido tu amo que me ha mandado aquí.

—No Schakalik, no. Tú no eres un animal y la diferencia precisamente la da el carbón.

Schakalik, que estaba a punto de meterse en la boca un trozo de zanahoria, se quedó perplejo primero, y luego soltando una gran risotada exclamó:

—¡Que la diferencia entre un animal y un hombre es el carbón! ¡Un esclavo filósofo! No entiendo nada de lo que me dices. Vete, vete de aquí o te echo los tizones del brasero.

Menos enigmático y más amable, el esclavo se acercó a Schakalik

—Hombre hambriento —le dijo—, cocinero de mala muerte, mientras comes y disfrutas estos manjares voy a explicarte el porqué de mis afirmaciones, a las que añadió una que de seguro no te asombrara: sin carbón no habría tizones.

—Menos mal, eso si lo se, "sin carbón no hay tizones". Eso cualquiera lo sabe y más un cocinero especializado en el carnero asado.

—Pues todo lo que antes te dije es igual de evidente. Acomódate y escucha.

Schakalik se tumbó entre los cojines de seda con bordes dorados para comer aún más cómodamente y tratar de descifrar enigmas planteados por el esclavo. Que si el hombre difiere del animal por el carbón; que si la porcelana, la comida caliente y las carnes asadas tienen en común el carbón o que si para tener tizones hay que partir del carbón.

—¡Oh Schakalik, pobre entre los pobres, ignorante entre los ignorantes, pero simpático al fin y al cabo! Has de saber que el hombre, en los tiempos más remotos, se hizo dueño del fuego. Hay pueblos que cuentan que los hombres se lo quitaron a los dioses. Sin embargo lo más probable es que, casualmente algunos pueblos hayan descubierto cómo manejar el fuego (por ejemplo se han encontrado restos que indican que el hombre manejaba fuego en las cuevas donde se encontró al hombre de Pekín. Esto quiere decir 400 000 años a. C. El descubrimiento se propagó a todo el género humano y sólo al género humano, pues no hay animal capaz de manejar el fuego, de encender una fogata para calentarse o de algo que a ti te parece tan sencillo como comer platillos calientes. Aquí, en estos parajes, donde los bosques son escasos, como muy bien sabes, nos calentamos y cocinamos con carbón.

Y el cocinero continuó su lección gratuita:

—El carbón se quema y proporciona calor, el resultado final no es más que un montón de cenizas. Por lo tanto el enigma de que los hombres difieren de los animales por el carbón queda aclarado. En efecto, el carbón, en estas latitudes es el combustible que le proporciona al hombre la posibilidad de hacer fuego, cosa que a los animales les resulta imposible.

Schakalik tuvo que reconocer que el esclavo tenía razón y cuando se inclinó para beberse una sopa cocinada con grasa de cordero vio en la superficie lisa como espejo una cara que le hablaba.

—Soy el genio de la sopa —le dijo— y desde esta superficie te revelaré el futuro de lo que dice el esclavo. Es cierto que con el carbón los hombres se calientan y cocinan y lo han podido hacer porque en el pasado eran tan pocos que los efectos de quemar carbón no se notaban. Pero, en estos siglos, con tantos humanos, todos ellos cocinando y calentándose y muchas otras cosas, el humo, estas partículas que salen al aire, es tanto que la atmósfera, los mares y el espacio se están ensuciando. Y aquí viene la solución a otro de los enigmas del esclavo: sin carbón no hay tizones. Mucha razón tiene el negro, pues tú que eres cocinero sabes que si quemas alcohol, por ejemplo, no se forman ni tizones ni brasas. Por lo tanto hay que saber primero lo que es el carbón natural, lo que es el fuego y lo que son las cenizas.

Schakalik, con la boca llena, interrumpió al genio:

—Detente, no me expliques lo que es el carbón, ya me lo sé. Un amigo pintor solía cantar:

Son tres, son tres, son
tres,
las formas del carbón
orgánico
y tres veces,
tres veces
tres veces
lo repetiré:
son tres, son tres, son
tres
las formas del carbón
orgánico
Son tres, antracita,
hulla y lignito,
antracita, hulla y
lignito,
antracita, hulla y
lignito.

En cambio, estoy ansioso por entender de qué está hecho el fuego y por qué brillan las brasas. ¡Cuántas veces no me habré quemado en mi cocina por culpa de ellos!

—El fuego, ese resplandor que vemos cuando arde el carbón o simplemente cuando se enciende una vela es luz y calor. Sí, es la luz y el calor debidos a la combustión del carbón o de la parafina. Esta combustión es el conjunto de reacciones que se originan cuando el carbón o la parafina, en este caso, se combinan con el oxígeno. Así se explica, también, lo que, por ejemplo, tú mismo, aterrado, contemplaste ayer: una llama débil, errática a ras del suelo, cuando te despertaste después de la fiesta que dieron cerca del cementerio. Creíste que era sobrenatural y, una vez más, te equivocaste. Los *fuegos fatuos*, porque así se llaman esos resplandores, se observan frecuentemente en los parajes pantanosos y en los cementerios. Se producen al ras del suelo al reaccionar el oxígeno del aire con la parafina desprendida por las materias orgánicas en descomposición, es decir; que la fosfina se inflama. Si la acción de quemar el carbón se controla ahogando el fuego (por ejemplo limitando la cantidad de oxígeno, que reacciona), entonces se consigue una combustión incompleta y arde sólo la superficie del trozo del carbón. La temperatura resulta entonces menor que si la combustión fuese total, pero el carbón dura más.

—Me lo vas a decir a mí, genio —comentó Schakalik—. Cuando tengo que cocer garbanzos son brasas lo que necesito, duran más y su temperatura es constante. En cambio, si quiero hornear pan o dorar un conejo, será carbón ardiendo con llama viva lo que use. Y en invierno no hay como las tibias brasas del brasero.

—Pues todo ello no son más que reacciones entre el oxígeno y el carbón más o menos controladas —interrumpió el genio—. El calor y la luz que se observan se deben a la liberación de energía, hasta que sólo quedan cenizas.

—Cenizas, cenizas, ¡ja, ja!, así se llamaba el gato de mi tía. —¿Adivina por qué?

—Sólo puede ser, por dos motivos —dijo el genio—. El más evidente es por el color, pues las cenizas son grises, casi blancas. Los tonos varían dependiendo de su origen. Pueden ser el residuo de la combustión de la madera o del papel o del carbón mal quemado o de huesos. Hay también cenizas volcánicas. Las cenizas suelen contener gran cantidad de carbonatos (de potasio, sodio, etc.) y es su composición lo que determina el color. Son azuladas si contienen cobre, vidriadas si contienen carbonato de cobre, o negras, si contienen lignitos. Hay poetas que hablan de "las cenizas azuladas del crepúsculo,". El otro motivo, aunque más rebuscado —prosiguió el genio— puede deberse a que las cenizas son lo último que queda después de una destrucción por el fuego. Quizás el gato de tu tía se llamaba Cenizas para indicar que permanece aun después del fuego, como el Ave Fénix.

—No, no, el gato se llamaba Cenizas por el color —repuso Schakalik—. Aunque mucho de lo que has dicho no me queda claro, sí entiendo que sin carbón no hay brasas, pues ese rojo intenso no es más que la manifestación de la reacción del carbono con el oxígeno, reacción que libera mucho calor. Las cenizas es lo que queda después de la combustión o sea que ya no contienen suficiente carbono para que se dé la reacción del carbono con el oxígeno. Por lo tanto: "¡Sin carbón no hay tizones!" ¿Está entendido?

No había acabado de hablar Schakalik cuando la imagen del genio de la sopa se había diluido y otra vez la superficie del líquido humeante reflejaba la luz.

—Debe estar deliciosa —dijo Schakalik— y se bebió todo el líquido. Ni una gota dejó. Miró el arroz humeante y comprendió que, gracias al calor que procura el carbón de las cocinas, el arroz puede cocerse y cuando se enfría irradia calor y vapor. Ese humo blanco que se eleva no es más que vapor de agua, como el que tan deliciosamente acaricia el cuerpo de los ricos en los baños turcos. ¡Otro de los misterios aclarados!

Cuando Schakalik acabó con toda la comida, que alabó mucho, se quedó mirando los platos y los cuencos de porcelana. Muchos de ellos venían de China y se planteó el último enigma del esclavo: "Sin carbón no tendríamos porcelana." Pues claro, se dijo; no hace falta ser genio para saber que estos platos se obtienen horneando las piezas de arcilla que producen los alfareros y Schakalik, después de eructar sonoramente, se dispuso a echarse una siesta.

Los genios, y el mismo esclavo, se sintieron ofendidos por lo simple y lo poco curioso que resultó ser Schakalik. Decidieron entonces no hablar con él, no explicarle que la porcelana

se fabrica en China, quizás, desde el siglo VI de nuestra era. Y sobre todo que hacia principios del siglo XVIII en el centro de fabricación más importante de China, ¡más de 180 000 familias trabajaban en la producción de porcelana y que se empleaban 3 000 hornos!, que funcionaban día y noche. O sea, que para fabricar porcelana no sólo hacen falta minas de caolín (arcilla a partir de la cual se hace la porcelana), sino excelentes artesanos y muchos, muchos hornos que, desde luego, funcionen con combustible, generalmente el carbón, ya que hacen falta temperaturas hasta de 500 a 900°C.

Y para castigar al ignorante cocinero, uno de los genios repitió lo que había leído en el *Libro de los engaños y de los atrevimientos de las mujeres*.

Cuatro cosas hay que el hombre docto no debe alabar hasta que vea su final: lo primero, el comer, hasta ver como termina y que lo haya expulsado del estómago; el que va a lidiar hasta que vuelva de la lidia; la mies hasta que sea segada, y la mujer hasta que esté preñada.

El esclavo al ver que Schakalik no se despertaba se encolerizó mucho, lo miró de una manera temible, y lo increpó:

—Pero, ¡desdichado! Así has menospreciado los conocimientos que deseábamos inculcarte.

No había acabado de decir tan tremendas palabras y ya sentía Schakalik un dolor indescriptible en el bajo vientre. La barriga se le infló rápidamente hasta convertirlo en un globo que, de no ser porque Schakalik se agarró de la rama de un limonero, se hubiera elevado hasta perderse entre las estrellas. El esclavo, entonces, regocijado, se alejó con los otros genios y *efrits*, abandonándolo en tan incómoda postura.

—¡Auxilio! —gritó Schakalik—. ¡Auxilio!

No tardó en acudir una hermosa princesa que, después de la sorpresa de verlo convertido en burbuja, le preguntó:

—¿Qué deseas? ¿En que puedo yo ayudar a quien ha conseguido elevarse en el cielo como si fuera un ave?

Y Schakalik contestó: —He comido demasiado y mis tripas están llenas de gases. ¿Qué hago?

La princesa no lo dudó y al instante le recomendó.

—Come carbón.

—¿Que coma qué?

—Carbón, sí, come carbón. Desde hace siglos el hombre sabe que cuando tiene gases en el estómago, el mejor remedio es comer carbón. Parece ser que el carbón actúa como "adsorbente" (con, ad y no con ab), o sea que retiene los gases en su superficie.

—¡No, no!, esta mujer me quiere envenenar.

—Mira Schakalik, te lo voy a explicar con calma —dijo la princesa—, sujétate bien del limonero y escucha. Espero que al final de mi narración entiendas lo que va a pasar en tu estómago y te comas, contento y feliz, los gramos de carbón que te voy a dar. —Imagínate, Schakalik, que fueses un átomo de carbono, sí, precisamente una de esas entidades pequeñísimas de las que los griegos decían está constituida la materia. Si estuvieses en pleno centro de un trozo de carbón tendrías vecinos a la derecha, a la izquierda, al frente y detrás, arriba y abajo.

La princesa avanzó en su explicación.

—Estarías, por lo tanto, además de bien acompañado, protegido, así que tratarías por todos los medios de encontrarte siempre en tan buena situación. Pero, si fueses un átomo de una esquina del trozo de carbón tendrías vecinos debajo de ti y a la derecha, pero te faltarían los de la izquierda y de arriba. Egoísta, como eres, atraerías a quien pasara por allí. Para protegerte te cubrirías con lo que fuera, así adsorberías cualquier molécula más o menos libre. ¿Entiendes ahora por qué, si te comes un poco de carbón, de ese carbón formado por partículas pequeñas en las que hay muchos átomos ansiosos de adsorber, te desinflarías?

—Ahora lo entiendo dijo Schakalik—, el gas se va a quedar pegado al carbón y por lo tanto su volumen disminuirá. Eso es justo lo que deseo. Así, además, será fácil digerirlo. Date prisa, princesa, y dame un buen plato de carbón.

La princesa mandó al bazar a una de sus esclavas a conseguir el carbón que necesitaba Schakalik.

—Quizás con Ahmed, allí donde venden tantos productos medicinales —ordenó.

Y mientras volvía la esclava con la compra, la princesa, para entretener al enfermo, le habló de los usos del carbón, para retener otras cosas. El carbón con propiedades adsorptivas se consigue tratando carbón a altas temperaturas. Se le conoce como carbón activo. Desde hace muchos años se utiliza, por ejemplo, para decolorar aceite. La manera de hacerlo es muy sencilla. El aceite negro se mezcla con un poco de carbón y se pone a hervir la mezcla. Después se deja enfriar y se filtra. Por un lado queda el aceite limpio y por el otro el carbón impregnado de la suciedad que se encontraba en el aceite.

La princesa no pudo continuar porque Schakalik, desde las alturas en las que se encontraba, empezó a gritar: —¡Ya está aquí, ya está aquí. Viene con un paquetito. Rápido que me lo den o estallaré!

Y en efecto, la esclava venía corriendo a entregarle a su ama el encargo. La princesa vació parte del contenido en una preciosa cucharilla de plata y oro y, tirando del cocinero por el brazo, consiguió hacerle tragar el carbón. De inmediato los gases se adsorbieron sobre la enorme superficie específica del carbón, que es de muchos cientos de metros cuadrados por gramo. Es decir; que el área de un gramo de material es de cientos de metros cuadrados. A medida que las moléculas de gas quedaban sujetas en la superficie del medicamento, el volumen de la panza de Schakalik disminuía y por consiguiente flotaba menos en el aire hasta que tocó tierra. Apresuradamente le besó las manos a la princesa, le sacó la lengua al esclavo negro que le había servido la cena y huyó del palacio a contarle a sus amigos lo sucedido. Ninguno se lo creyó y lo tildaron de borracho y de soñador. Schakalik quiso entonces por amor de la verdad y, quizás por hambre, volver al mismo sitio, pero nunca encontró aquel pórtico con varios peldaños, en donde había un número considerable de esclavos, sirvientes, oficiales y porteros.

Salió el Sol, Scherezada calló e inmediatamente el rey Schahriar fue a la sala de sus justicias y se instaló en el diván con una multitud de visires, guardias y gente de palacio y el rey juzgó y dispuso nombramientos y gobernó y despachó los asuntos pendientes hasta que hubo acabado el día.

Luego se levantó del diván, regresó a palacio y, cuando llegó la noche, fue a buscar a Scherezada, la hija del visir. Y la joven Donaziada se apresuró a levantarse y dijo: —¡Oh hermana mía!, te suplico nos cuentes otra historia.

Scherezada, sonriéndole a su hermana, repuso: —Lo haré de todo corazón y buena voluntad, pero no sin que este rey tan bien educado me lo permita.

El rey, que aguardaba impaciente, le dijo: —Puedes continuar.

GLOSARIO

absorción. La atracción de un sólido para retener las moléculas de un líquido o gas con el que se encuentra en contacto.

adsorción. Retención de una sustancia sobre la superficie de un sólido o alrededor de las partículas de un coloide en suspensión.

brasero. Recipiente redondo de metal en el que se pone carbón en trozos menudos, y que sirve como medio de calefacción. Hogar, fogón para guisar.

caolín. Compuesto mineral, del tipo de las arcillas, de color blanco, muy duro, compuesto a base de óxidos de silicio, óxido de aluminio y agua. Se emplea en la fabricación de la porcelana y el papel.

porcelana. Producto cerámico hecho de masa vitrificada, muy compacta blanca y translúcida, por lo general revestida con un esmalte fino, incoloro y transparente.

superficie específica. Área por unidad de masa que presentan las sustancias porosas.

IX. EL GRAFITO INTERCALADO

Y CUANDO LLEGÓ LA OCTAVA NOCHE

QUIERO que sepas, ¡oh Rey de los siglos y del tiempo!, lo que le sucedió a Anuar; que una de estas noches estaba convidado a una comida a la cual asistieron multitud de sabios versados en el conocimiento del libro de la nobleza.

La mesa estaba sobriamente presentada con succulentos manjares y los manteles más ricos la cubrían. La perspectiva de un excelente banquete era de esperarse, lo cual, en efecto, se cumplió. Pero, lo más interesante, fue la discusión que se desarrolló entre el sabio Al Raschid y su joven asistente llamado Al Amin, ya que Al Raschid explicó algunas de las propiedades que presenta el grafito al combinarse con otras sustancias. Eso suscitó la curiosidad de Al Amin que se dedicó a preguntar y acaparar, como si fuese una princesa adolescente, la atención de los comensales. Al Raschid dijo: —He encontrado en un libro científico de Occidente que el grafito tratado con ácido nítrico caliente en presencia de clorato de potasio produce un ácido amarillento, que se conoce con el nombre de *ácido grafitico*, de composición $C_nH_nO_6$ y cuya estructura se podría explicar aceptando que los átomos de oxígeno se intercalan entre los átomos de carbono.

Al Amin preguntó: — Y qué sucede si el grafito se sumerge en el potasio líquido?,

—En ese caso, los átomos de potasio se insertan entre los átomos de carbono de la estructura de grafito, formándose así las estructuras de los compuestos C_8K o $C_{16}K$ (Figura 17)

Al Amin se quedó pensativo un buen rato pero en seguida volvió a atacar al sabio Al Raschid, que estaba entusiasmado con el interés de su interlocutor.

—¿Y si se mezclan ácido sulfúrico y grafito, se forma algún compuesto?

—El poder energético del H_2SO_4 concentrado hace que los grupos HSO_4^- se intercalen en los cristales de grafito y que se obtenga un sulfato de grafito llamado *grafito azul*

La discusión atrajo la atención de varios jóvenes. El sabio Al Raschid estaba verdaderamente contento. Fue así como Haddar, joven asistente a la reunión, se atrevió a interrogar al sabio.

—Permite que te pregunte para que así satisfaga mis dudas. Dime ¿qué pasará si se hace reaccionar grafito con el violento y reactivo ácido fluorhídrico?

Al Raschid, sonriendo, contestó: —Me alegra que hagas esta pregunta ya que efectivamente el ácido fluorhídrico reacciona con el grafito formando *monofluoruro de grafito*, y como esta reacción se efectúa con la inserción del flúor entre las capas de átomos de carbono, se observa un aumento considerable de volumen en el cristal.

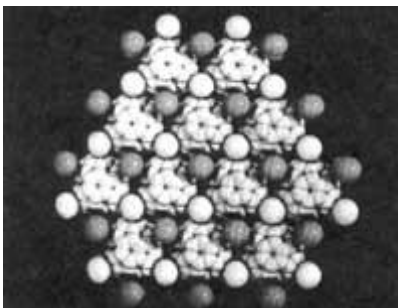
A causa de la tanda de preguntas el tiempo pasó muy rápido y cuando se dieron cuenta era hora de retirarse, sin embargo, el sabio Al Raschid mencionó que al día siguiente daría una conferencia sobre otros compuestos del grafito que presentan una propiedad muy interesante: la superconductividad.

Y al día siguiente, en una sala a reventar de jóvenes ansiosos por enterarse de las propiedades de los materiales intercalados y sobre todo de la superconductividad mencionada el día anterior en la comida en la que hubo tantas preguntas, empezó:

—Como lo mencioné ayer, el poder que tiene el grafito de intercalar ciertos elementos en su estructura ha dado lugar a que se hayan efectuado experimentos con elementos como **Rb, K, Hg** o **Tl**. Estos elementos se han intercalado en la estructura del grafito y se han publicado los siguientes compuestos y sus temperaturas de transición (**T_c**) al estado superconductor.

	<i>T_c (K)</i>
C ₈ K	0.14
C ₈ Rb	0.26
C ₄ H Hg	0.80
C ₄ Rb Hg	0.99
C ₈ K Hg	1.92
C ₈ Rb Hg	1.44

Estos compuestos presentan el fenómeno de la superconductividad, el T_c está dado en grados Kelvin. Esta propiedad se explica —dijo el conferencista— porque al intercalar estos elementos en la estructura del grafito se produce un cambio en la dimensión de las capas dando lugar a una transferencia de carga entre el elemento intercalado y el material receptor. Se puede aclarar este fenómeno con lo que aparece en la figura 18 que corresponde al compuesto **C₈ K Hg**.



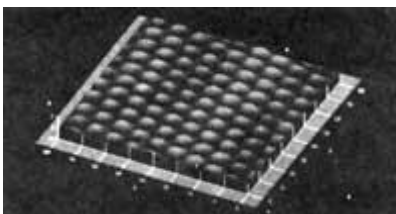


Figura 18. Estructura de los compuestos $C_{16}K$.

Una vez que mostró la ilustración, siguió: —Se ha probado que los nuevos materiales superconductores y estos compuestos de grafito intercalados con metales tienen propiedades en común, aunque todavía no existe una explicación clara de la inserción del potasio. Existe, es cierto, una serie de hipótesis para proponer un mecanismo que explique la inserción del potasio en la estructura del grafito, ya que ésta provoca una distribución de estados de energía diferente. Se han podido efectuar mediciones de resistencia en estos compuestos, observándose que la resistencia a lo largo del eje *a* disminuye unas 10 veces y a lo largo del eje *c* el factor es de 100. Estos compuestos, además, presentan el fenómeno del paramagnetismo, lo contrario del grafito que es diamagnético. Pueden llegar a presentar, un comportamiento verdaderamente metálico, es decir, que la resistividad aumenta con la temperatura. Los datos obtenidos son los siguientes:

<i>Compuesto</i>	Resistividad (Ohm cm)	
	<i>Temperatura: 90.0K</i>	<i>Temperatura: 28.5K</i>
Grafito	37.700	28.40
C_8K	0.768	1.02
$C_{12}K$	0.932	1.50

Estudiada la tabla, continuó encarrerado: —Los valores sugieren que las uniones pueden deberse a una transferencia de electrones del átomo alcalino a la banda de conducción del grafito. Los grafitos intercalados con metales alcalinos son extremadamente reactivos en contacto con el aire, y en presencia del agua pueden explotar. En general, la reactividad disminuye con la facilidad de ionización del metal en la secuencia: Li, Na, K, Rb, Cs.

En ese momento de su relato Scherezada vio aparecer el Sol por la ventana.

GLOSARIO

diamagnetismo. Propiedad de las sustancias cuya susceptibilidad magnética es negativa. Todos los cuerpos conocidos son magnéticos o diamagnéticos y entre los últimos figuran el bismuto, el antimonio, el oro, el alcohol y el agua, entre otros. Cuando estas sustancias son

imantadas por influencia, sus polos quedan invertidos y, en vez de ser atraídas por los imanes, como el hierro, son repelidas por ellos.

distribución de estados de energía. La distribución de los electrones en los elementos se efectúa según diferentes niveles de energía.

facilidad de ionización. Grado al que un material iónico tiende a descomponerse en sus iones.

ferromagnético. Son las sustancias que, como el hierro, tienen la propiedad de imantarse en un campo magnético y de conservar una imantación remanente fuera de dicho campo.

paramagnético. Sustancia que, sin ser ferromagnética, es atraída por los imanes.

resistividad. Medida que se efectúa en los materiales conductores para medir la resistencia que presenta dicho material al paso de la corriente.

X. FILAMENTOS DE GRAFITO

Y CUANDO VINO LA NOVENA NOCHE

SCHEREZADA dijo: ¡Oh Rey mío!, esta noche he de relatarte lo que le sucedió al joven Zeitún con su barbero, mientras el sabio Al Raschid daba su conferencia. Zeitún mandó llamar al barbero para que lo arreglara y lo dejara muy bien presentado, ya que tenía una cita con la joven hija del cadí, que era muy hermosa y tenía prohibido recibir visitas. En cuanto llegó el barbero, Zeitún le advirtió que no fuera parlanchín y que lo arreglara rápidamente, ya que tenía que ver a la joven antes de que terminara la conferencia de Al Raschid. En efecto, el padre de la joven era muy aficionado a las ciencias y no volvería antes de que el maestro hubiese terminado, por tarde que fuera. Pero al barbero, según parece, la recomendación le entró por un oído y le salió por el otro.

El barbero inició la conversación apenas había empezado a arreglarle la cabeza a Zeitún.

—He de relatarte, Zeitún, un fenómeno que sucede en las superficies, es muy interesante. Ocurre según una serie de reacciones elementales en las que intervienen, al menos en una de ellas, una superficie rígida e inmóvil: el catalizador.

—A mí qué me importan estas historias tuyas. Lo que necesito es que termines rápido, así que date prisa.

El barbero, como si no hubiera oído una palabra, prosiguió.

—En la reacción de descomposición del **CO** o del acetileno a altas temperaturas sobre ciertos metales, se forman partículas metálicas cónicas y filamentos de carbón, y tal parece que el carbón depositado no sólo reacciona sobre la superficie de la partícula de metal, sino que penetra por una de sus caras, se difunde y sale por el otro lado para formar filamentos grafiticos. Cabe mencionar que ciertas caras, la (111), en el caso de un metal fcc, permanecen siempre activas catalíticamente...

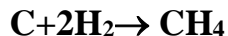
—Ya te dije que no me interesan tus historias y que te apresures, ya tengo que irme.

—Pero, ¿cómo es posible que no te interese toda esta información y que sólo te importe ir a reunirse con esa bella joven?, ¡ignorante!

—Tus historias serán muy interesantes pero yo tengo prisa.

El joven pensó que, con esta súplica, el barbero efectuaría más rápido su trabajo, pero sucedió todo lo contrario.

—Pues ahora te voy a asombrar aún más. Supón que tienes una superficie lisa de grafito con partículas pequeñas de metal depositadas encima. Si mando hidrógeno sobre este sistema se puede dar la reacción siguiente:



Y lo curioso del asunto es que al final, si pudieras mirar el sólido en un microscopio, comprobarías que la superficie del grafito se ha vuelto irregular, canales como carreteras por las que hubieran corrido las partículas metálicas habrán aparecido. Es como cuando uno hace rodar una pelota pesada sobre una superficie bien lisa de arena, se forma igual un surco. Así, también las partículas del metal se mueven cuando el grafito se hidrogena a alta temperatura para formar **CH₄**.

Zeitún estaba ya tan furioso que quiso levantarse sin que el barbero terminara su trabajo, pero, al mirarse en el espejo vio que era imposible: el barbero apenas si había efectuado la mitad de su trabajo y aún daba la impresión de persona desaseada. Francamente encolerizado gritó:

—¡Barbero endemoniado, quieres terminar de una vez!

Pero el barbero, con una pachorra infinita, empezó a afilar la navaja mientras continuaba:

—No te lo creerás, pero cuanto te he contado se ha comprobado experimentalmente. Los agregados metálicos, al cambiar de posición, cavan surcos rectos. En este caso el mecanismo que se acepta por lo general es que la reacción ocurre en la zona de contacto del metal (platino por ejemplo) con el grafito y que la etapa más lenta es el rompimiento de los enlaces C-C para separar los átomos de carbono de la red de grafito.

Entre más furioso estaba Zeitún contra el barbero parlanchín, que se había empeñado en que se enterase de lo que son los filamentos de carbono y los surcos que se forman en el grafito, mas seguía el hombre desarrollando el tema.

—Debo informarte que se han efectuado innumerables trabajos de investigación sobre la oxidación y la reducción del grafito, utilizando como catalizadores más o menos 40 metales, óxidos metálicos y sales. Se han propuesto mecanismos de reacción para explicar los efectos del níquel, del platino, del paladio, del hierro y del cobre y hasta de algunos metales de transición.

Zeitún desesperado le tomó un brazo al barbero quedando en el aire la navaja con la que lo estaba afeitando, y, así, le dijo:

—Barbero parlanchín, o te apresuras o con esta misma navaja te corto una oreja.

El barbero se asustó de momento y apresuradamente reanudó su trabajo. Pero pasado el susto y viendo que Zeitún se tranquilizaba continuó con su explicación:

—Se han utilizado como reactivos oxidantes combinaciones de oxígeno, vapor y **CO₂** y como medio reductor usualmente el hidrógeno y, como vio que Zeitún cabeceaba y que le faltaba poco para terminar, prosiguió:

—Durante la gasificación, las partículas activas catalíticamente se trasladan continuamente o bien permanecen en contacto con nuevas porciones del sustrato de carbón. Así, se forman canales pero también pueden aparecer pozos o túneles. Lo que se conoce más comúnmente son los canales. La dirección está dada por el plano del carbón; que depende del plano cristalográfico de la partícula de metal que esté en contacto con el grafito (Figura 19).



Figura 19. Micrografía de un cristal de grafito en la que se observan canales debidos a la oxidación a alta temperatura. Estos canales son el camino de las partículas metálicas que se mueven. La imagen se obtuvo en un microscopio (X250).

Y, moviendo lentamente las tijeras precisó: —Es así como, en el caso de la hidrogenación del grafito, las partículas de platino que se encuentran al final de los canales tienen generalmente la cara (110) en contacto con el grafito, mientras que las partículas que no se mueven presentan la cara (111).

—Deja ya de hablar; pon atención en lo que haces y no me vayas a cortar. Termina de una vez, barbero parlanchín.

—La energía de activación que se obtiene en la hidrogenación es de 37 k cal/mol en un intervalo de temperatura que va de 750 a 950°C y el orden de reacción es de 2.7.

Zeitún vio el reloj avanzar aceleradamente, y al barbero sin la menor intención de terminar, ya que lo había cubierto con una toalla húmeda y seguía hablando.

—Si en lugar de hidrógeno se utiliza oxígeno —dijo— las partículas de metal no cavan surcos y además no presentan ninguna estructura típica.

Fue entonces que Zeitún le tiró la toalla a la cabeza en gesto de impaciencia y se levantó con intención de retirarse. El barbero con toda calma lo tomó por los hombros y lo sentó de nuevo para continuar su trabajo y por supuesto su relato.

—Como veo que el tema de los canales en el grafito, no te apasiona, voy a volver a hablarte de los filamentos. Aunque hay gran cantidad de formas reportadas para los filamentos grafiticos y para las partículas que se encuentran en el extremo, he de decir que a mí me recuerdan la de tus cabellos, Zeitún, es decir delgados y con la punta un poco enroscada (Figura 20). Claro, en los filamentos, al final está la partícula de metal que es como un cono truncado. Debo resaltar que algunos filamentos son dobles probando que la partícula del metal que los genera está formada por dos cristalitas cónicas. Sobre la cara superior de dichos conos (la (111), para metales (fcc) sólo se observaba un capa muy delgada de carbón amorfo y en los lados es donde está adherido el grafito (Figura 20). Las energías de activación medidas, para varios metales y gases, son siempre iguales a la energía de activación necesaria para difundir carbón en el metal correspondiente.

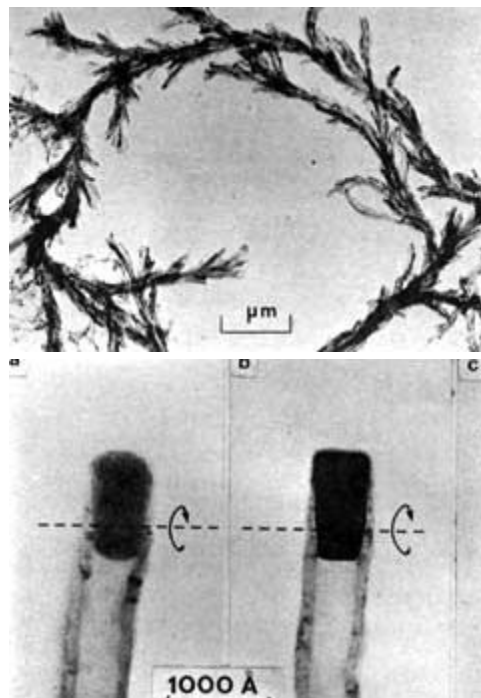
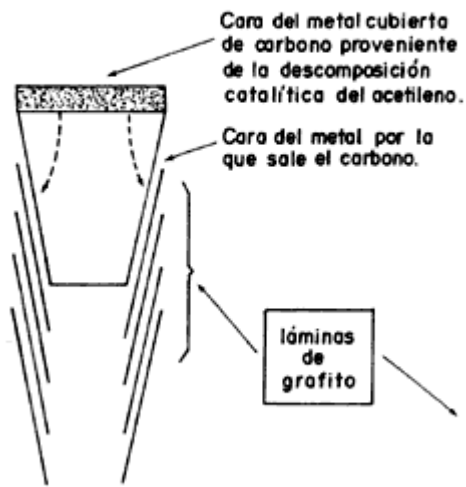


Figura 20. Filamentos observados en el microscopio.

Zeitún tenía que estar presentable para visitar a la hija del cadí antes de que terminase la conferencia de Al Raschid. Así que, decidido a irse, se levantó y se miró al espejo y ¡oh sorpresa!, tenía sólo la mitad de la cabeza arreglada. De muy mal modo se sentó y esperó a que el barbero terminara; éste, en lugar de apresurarse, empezó con lo siguiente:

—En el caso del sistema Pt/C y, por medio de medidas termodinámicas, se ha podido calcular la energía de activación para la reacción del grafito en las distintas atmósferas gaseosas. El mecanismo generalmente aceptado para el crecimiento de los filamentos de carbón sigue los siguientes pasos (Figura 21).

FILAMENTOS



CANALES

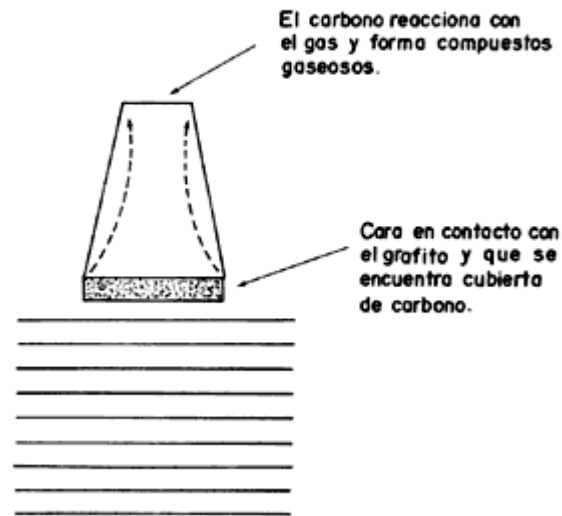


Figura 21. Mecanismos de formación de los filamentos gráfiticos y de los canales en el grafito por la presencia de partículas metálicas.

- Adsorción del gas en la superficie del metal seguido por una reacción de descomposición originando una capa de carbono químicamente adsorbida.
- Disolución y difusión de especies de carbono a través de la partícula del metal.
- Precipitación de las especies de carbono para formar el cuerpo del filamento.

Puede ser que las especies de carbono implicadas en este proceso sean químicamente diferentes. El proceso inverso explica la aparición de los canales (Figura 21).

Al terminar el barbero esta parrafada, Zeitún no pudo más, saltó, arrojó la toalla que tenía en el pecho, lanzó mil insultos al barbero y salió corriendo. En la puerta escuchó los aplausos que señalaban el final de la conferencia. Por lo tanto, ya no era hora de visitar a la hija del cadí, ya que su padre estaría a punto de regresar. El barbero, con mucha calma trató de tranquilizarlo.

—Todo pasó, no te encolerices y entérate con calma de todo lo que se sabe acerca de los filamentos de grafito. Mientras tanto terminaré de arreglarte. No sé de qué te quejas, así matarás dos pájaros de un tiro. Mucho es que te instruyas mientras quedas limpio, afeitado y peinado. No puedes pretender además visitar a la vez a la bella hija del cadí. Entiende que se debe uno dar tiempo para cada cosa.

Lo que nunca supo Zeitún es que el cadí, al tanto de los planes de Zeitún, había contratado al barbero para que lo entretuviera y le impidiera salir mientras durara la conferencia. Y así termina la triste historia de los amores contrariados de Zeitún y de la bella hija del cadí.

Pero estos asuntos de metales y carbones me recuerdan un cuento que gira alrededor de lo que es el acero y de cómo se obtiene.

GLOSARIO

acetileno. Hidrocarburo gaseoso que se obtiene por la acción de agua sobre el carburo de calcio y se emplea para el alumbrado.

cara cristalina. Espacio o superficie que da la forma de un cristal.

catalizador. Cuerpo cuya presencia basta para modificar la velocidad con que reaccionan otros dos cuerpos.

índices de Miller. La posición de un plano en el espacio puede ser representada por tres puntos en un sistema de coordenadas X, Y y Z. Los índices de Miller son el recíproco de la intersección del plano con los ejes de dicho sistema de coordenadas.

medio reductor. Ambiente por medio del cual se le quita oxígeno a un cuerpo que lo contiene.

metalfcc. Aquel que tiene una estructura cúbica centrada en las caras.

orden de reacción. Los pasos intermedios que controlan la cinética de una reacción son el orden de la reacción. Está en relación con el número de moléculas que intervienen en la reacción.

oxidar. Combinar el oxígeno con otro cuerpo, convertirlo en óxido.

reactivo oxidante. Sustancia química que oxida o sirve para oxidar.

XI. LOS ACEROS DE DAMASCO

Y CUANDO VINO LA DÉCIMA NOCHE

SCHEREZADA dijo: cuentan que en el trono de los califas Omniadas, en Damasco, se sentó un rey —¡Sólo Alá es rey!—, que se llamaba Abdalmalek ben-Merwan. A este rey le gustaba departir a menudo con los sabios de su reino acerca de nuestro señor Saladino— ¡con él la plegaria y la paz!— de sus virtudes, de su influencia y de su poder ilimitado sobre las tierras de las soledades, de los *efrits* que pueblan el aire y de los genios marítimos y subterráneos.

Fueron estos sabios quienes narraron al rey Abdalmalek ben-Merwan que, cuando Ricardo Corazón de León se encontró en las cruzadas con el gran, el inmenso Saladino, el rey cristiano creyó necesario ensalzar las virtudes de su espada. Para demostrar la fuerza de su pesadísimo mandoble, cortó una barra de hierro. En respuesta, Saladino tomó un cojín de seda y lo partió en dos con su cimitarra sin la sombra de un esfuerzo, al grado de que el cojín pareció abrirse por sí mismo.

Los cruzados no podían creer a sus ojos y sospecharon que se trataba de un truco. Saladino entonces lanzó un veló al aire y con su arma lo desgarró. Era ésta una lámina curva y delgada que brillaba no como las espadas de los francos sino con un color azulado marcado por una miriada de líneas curvas distribuidas al azar. Los europeos comprobaron entonces que éstas eran, precisamente, las características, ¡oh gran señor!, de todas las láminas usadas en el Islam en tiempos de Saladino (Figura 22).

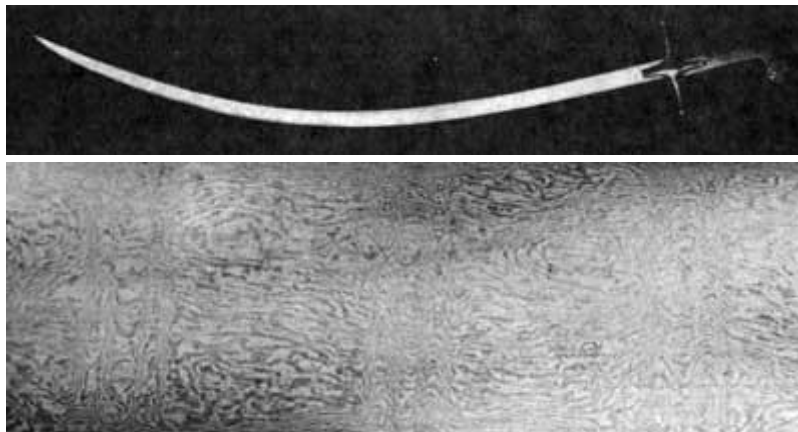


Figura 22. Una cimitarra de Damasco. Las zonas más claras que se aprecian en el acercamiento están formadas por cementita y las más oscuras por hierro con un contenido de carbono mucho menor

Las hojas eran —insistían los sabios alrededor del rey Abdalmalek ben-Merwan— excepcionalmente fuertes si se las doblaba, también eran lo suficientemente duras como para conservar el filo, es decir, que podían absorber los golpes en el combate sin romperse.

Sus virtudes mecánicas, así como sus preciosas marcas onduladas en la superficie, se debían al material con que estaban hechas: el acero de Damasco.

Así, en tiempos de los cruzados, las espadas de Damasco se convirtieron en legendarias. Durante siglos fueron fascinación y frustración de los herreros de toda la Europa occidental que trataron en vano de reproducirlas. Nunca creyeron que tanto su fuerza como su belleza provenían del alto contenido de carbono. El contenido de carbono en las espadas de Damasco está entre 1.5 y 2.0 por ciento.

Se dice que las primeras descripciones de las hojas de Damasco se remontan al año 540, pero que se usan desde tiempos de Alejandro el Grande (ca. 323 a. C.). El nombre *aceros de Damasco* les viene no de su lugar de origen sino del lugar donde los europeos las descubrieron en las cruzadas.

El acero, porque eso es el hierro con carbono, se preparaba en la India en donde se le llamaba *pasta*. Se vendía en forma de lingotes o de redondeles del tamaño de una medalla grande. Se cree que las mejores hojas se forjaron en Persia a partir de esas pastas, para hacer también escudos o armaduras. Aunque el acero de Damasco se conocía en todo el Islam, también se conocía en la Rusia medieval, donde se le llamaba *bulat*

Debe explicarse que, como en todos los procesos de fabricación de los aceros, la manufactura de la pasta consiste en la eliminación del oxígeno contenido en el mineral de hierro (que es por cierto un óxido).

Al añadirle carbono al hierro reducido, el resultado es un material más duro. En general se mezclaba el mineral con carbón y se calentaba todo hasta unos 1 200°C. El oxígeno quedaba eliminado del mineral por las reacciones con el carbono. Dependiendo de la cantidad de carbón en la mezcla, el resultado era un simple hierro con un muy bajo contenido de carbono o un acero con más de 4% de carbono. En la India, los herreros manufacturaban la pasta añadiéndole carbono al hierro.

Los sabios que rodeaban al califa Abdalmalek dejaron que uno de ellos, el mago de la corte contara al califa lo que sigue.

—Callad, callad todos. Cierto muy cierto es todo lo que los sabios han contado, pero ellos ignoran el gran secreto que, como mago que soy, he de revelarte, oh gran rey.

El palacio entero enmudeció, hasta los pájaros y las fuentes se callaron para oír lo que este hechicero sabía.

—Hay muchos que insisten en que las espadas —dijo— se deben templar en la orina de un muchacho pelirrojo o en la de una cabra que se haya alimentado sólo con heleichos durante tres años. Pues se equivocan. El verdadero secreto es éste y viene del templo de Balgala en Asia Menor:

El *bulat* o pasta se debe calentar hasta que no brille, así como el Sol se pone en el desierto. Y después hay que enfriarlo hasta que se vuelva púrpura real. Sólo entonces se debe gotear sobre el cuerpo de un esclavo musculoso, pues el vigor del esclavo se transferirá al metal y eso es lo que le da la fuerza al acero. Estas son las verdaderas instrucciones, oh gran señor.

Acto seguido, el mago hizo una reverencia, besó el suelo y salió envuelto en el remolino que el viento hacía con las finas sedas de su albornoz.

—Es decir... —pronunció el rey anonadado interrogando a sus tres sabios que permanecían en silencio hasta que el más viejo tronó.

—Patrañas, señor; son cuentos de hechicero.

El más joven entre los sabios corrigió:

—Oh venerable y sabio anciano, en primera instancia tienes razón, patrañas parecen, pero la sabiduría viene, precisamente, del análisis y de la interpretación de lo que en principio nos parece inverosímil!. Creo, si me lo permites gran señor, que sé lo que el hechicero ha querido decir. Estas instrucciones se deben interpretar como sigue: el metal se tiene que calentar hasta una temperatura muy alta, seguramente a más de 1 000°C (el Sol se pone en el desierto) y después enfriarse al aire a una temperatura de 800°C (púrpura real) para finalmente templarse en un medio salado y tibio, digamos 37°C (esclavo musculoso)

El segundo sabio intervino entonces para recordar un antiguo refrán ruso:

—"Lo mejor de lo nuevo es a menudo revivir el pasado olvidado por mucho tiempo."

Y aquí Scherezada quiso mencionar lo que sigue antes de seguir con su cuento.

—Antes de proseguir he de recordarte, ¡oh gran señor!, que cuando el Profeta subió junto con Gabriel a las puertas de lo que es el primer cielo, Gabriel le dijo al Profeta que ese cielo es de hierro y tiene de ancho lo que un hombre puede andar en 500 años. El hierro se halla bajo la influencia de Marte. Sin embargo, ninguno de los cielos es de carbón por muy negra que sea la noche. Quizás el Profeta nunca supo lo que sucedió con los sabios de la corte del rey Abdalmalek ben-Merwan y por eso no supo sugerirle a Alá que ese cielo, el primero, debió construirse con acero de Damasco y no con hierro.

Donaziada interrumpió a, Scherezada:

—Hermana, no te pierdas en disquisiciones religiosas, por favor, y continúa tu historia.

—Tienes que saber; oh hermana, que dependiendo del contenido de carbono así como de la temperatura será el tipo de acero que se obtenga. Y eso puesto en el papel se llama un diagrama de fases. —La narradora dio dos palmadas y un esclavo rubio le trajo un papel (Figura 23)—. Sabrás, oh, rey, que el diagrama que te muestro, así como la explicación que te daré, me fueron revelados por un asno que según algunos había sido un gran sabio. Se

llamaba Acerina y fue quien me explicó lo que son la austenita, la ferrita y la martensita. Los cristales de hierro en los aceros de alto contenido de carbono pueden existir en tres formas. A temperaturas por debajo de 727°C, la configuración más estable es una red cúbica con átomos de hierro en el centro de cada cara. Este arreglo cúbico centrado en las caras puede acomodar átomos de carbono entre los átomos de hierro.

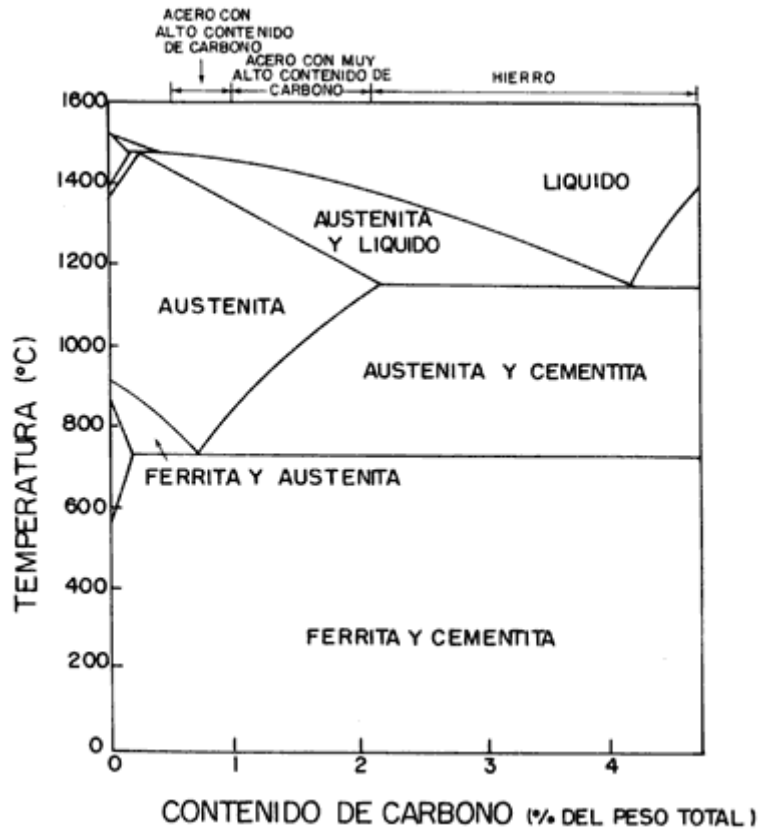


Figura 23. Diagrama de fases del sistema hierro-carbono.

—Y Scherezada dibujó un cubo en el cual, mediante esferas oscuras, represento al átomo de carbono colocado entre los átomos de hierro. O sea que a alta temperatura el carbono se disuelve en el hierro y esta solución se llama austenita. Si el acero se enfría entonces lentamente, hasta alcanzar la temperatura de la habitación, los cristales de hierro se convierten en un cubo centrado en el cuerpo en el cual hay poco espacio para el carbono. E hizo otro dibujo, esta vez de un cristal cúbico centrado en el cuerpo; esta fase se llama ferrita, dijo. Pero, insistió, si el acero se enfría repentinamente, es decir; si se temple, los átomos de carbono quedan atrapados en cristales tetragonales distorsionados centrados en el cuerpo, este material se llama martensita y es más duro que la ferrita (Figura 24). Estos datos, proporcionados por el asno Acerina, son indispensables para entender lo que le sucedió al sabio más joven de los que rodeaban al rey Abdalmalek ben-Merwan.

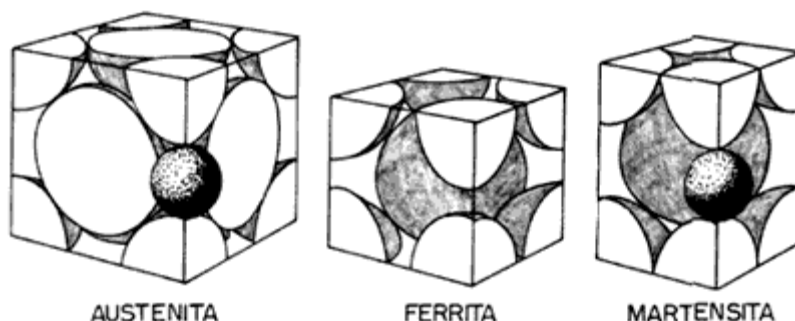


Figura 24. Los aceros con alto contenido de carbono pueden asumir tres estructuras. El arreglo centrado en las caras tiene átomos de carbono (esferas oscuras) entre los de hierro. A altas temperaturas el carbono se disuelve en el hierro (austenita). Si el material se enfría lentamente, los carbonos ya no caben y los cristales cambian una estructura cúbica centrada en el cuerpo (ferrita), en cambio, si se enfría rápidamente (templado), los átomos de carbono quedan atrapados en los intersticios y los cristales resultan ser tetragonales centrados en el cuerpo (martensita) que son más duros que la ferrita.

Tan bien impresionado quedó el rey con los conocimientos de tan joven sabio que quiso casarlo con su hija, pues era un muchacho de porte gentil y estaba bien formado. Además iba vestido a la moda de Bagdad. Y era todo lo hermoso, que se podía desear.

Así y todo, cuando el rey le propuso que se casara con la princesa súbitamente se le vio cambiar de color y disponerse a salir huyendo, pues de ningún modo quería aceptar la proposición de Abdalmalek ben-Merwan. Los demás sabios insistieron mucho.

—En verdad, no entendemos nada. Te rogamos que nos digas qué motivo te impulsa a dejarnos.

—Por Alá, os suplico, oh amigos míos, que no insistáis en retenerme.

Estas palabras los sorprendieron extraordinariamente e insistieron hasta que el joven sabio dijo:

—Una noche me acerqué a la ventana de la princesa ya que, como vosotros, sólo la he oído cantar. Nunca nadie la ha visto. Apareció entonces, en aquella ventana, una mujer de cara de alquitrán y alma de betún. Fea, muy fea, creo que es la princesa. En cambio, un día paseando por una calleja sin salida se abrió frente a mí una celosía y en ella se dibujó la silueta de una joven con una regadera en la mano, que se puso a arreglar las flores de unas macetas que había en el alféizar de la ventana. ¡Ojalá, fuera ella la princesa! ¡Oh mis Señores! He de deciros que al ver a esta joven sentí nacer en mí algo que en mi vida había sentido. Así es que en aquel instante mi corazón quedó hechizado y completamente cautivo, mi cabeza y mis pensamientos sólo se ocuparon de ella.

El mayor entre los sabios propuso al instante la solución.

—Al rey le propondré que haga un concurso y que el ganador sea el que se case con la princesa, pues ni aquí ni en ninguna parte es justo que se designe un esposo, un funcionario o un peluquero por capricho real. Así habló aunque su experiencia desmentía sus palabras.

—Se hizo el concurso, pero el rey, para que ganara el joven sabio, convocó a todos los súbditos de su reino a que forjasen una espada, y dijo que tendría la mano de la princesa el que forjara la mejor espada. Pero no sólo eso, sino el que además supiera lo que sucede en cada una de las etapas de la forja.

Fueron muchos los que respondieron a la convocatoria, muchas las espadas que se forjaron, algunas de gran calidad, pero en todos los casos era el joven sabio el que ganaba. Le gustaba tanto la ciencia que siempre opinaba y daba la razón de ser de tal o cual procedimiento hasta que quedaron sólo él y un experimentado herrero. Éste, a medida que trabajaba, explicaba los procesos ante toda la corte compadecida de que la hija del rey Abdalmalek ben-Merwan se casara con un hombre tan ordinario que además era cojo y malvado. Y cuando aquel hombre decía:

—Hay que mezclar el mineral de hierro con el carbón a 1 200° C. Le preguntaron:

—¿Y eso para qué?

El herrero no supo contestar, pero de inmediato el joven, repuso:

—Para que se forme lo que conocemos como hierro esponja, ese mismo hierro se debe calentar con más carbón después de haberlo martillado bien otra vez a 1 200° C. Si se enfría lentamente se habrá formado la pasta.

La corte aplaudió esta aclaración con gran entusiasmo.

—Así es, así es. Asintió el herrero que, entonces, calentó la pasta entre 650°C y 850°C, insistiendo en que los herreros europeos, aun partiendo de pasta importada jamás reproducirían las hojas de Damasco, porque estaban acostumbrados a trabajar con aceros de bajo contenido de carbón o sea que se funden a una temperatura más alta. Por eso tratan siempre de trabajar la pasta cuando se pone blanca o sea cuando está parcialmente fundida, y a esa temperatura la pasta se rompe con los golpes del martillo.

—¡Bravo, bravo!— gritaron enloquecidos, los partidarios del herrero.

El hombre se dedicó, con toda la parsimonia de la que era capaz, a forjar la pasta calentándola sólo a 650° C y 850° C. Para endurecer más la hoja la recalentó y entonces la templó metiéndola en una garrafa de agua.

El joven sabio hizo lo mismo que el herrero (figura 25), y obtuvo una cimitarra tan fuerte como la del herrero. Sin embargo, esta vez, supo retenerse y no explicó nada, pues recordó que no deseaba ganar. Ante su silencio los apostadores, que habían comprometido grandes

fortunas por él, corrieron a las mezquitas a pedir perdón por haber jugado. También trataron de retirar sus apuestas para recuperar al menos algo.

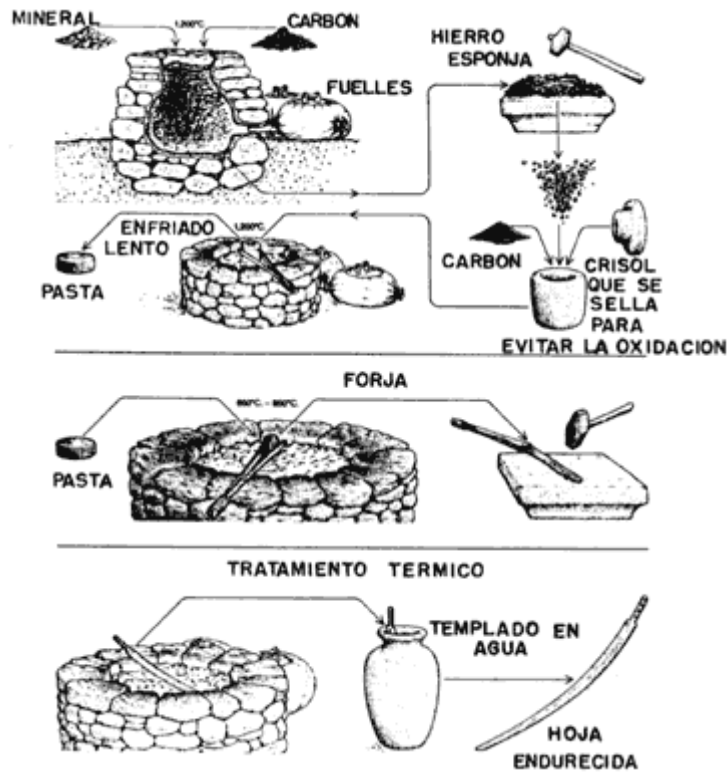


Figura 25. Fabricación del acero de Damasco.

El rey Abdalmalek ben-Merwan aceptó que el herrero, había ganado, cuando dijo:

—No sólo sabe hacer espadas sino que sabe más; entiende por qué se lleva a cabo cada una de las etapas necesarias para que el acero de Damasco sea lo que es.

El joven sabio, al oír esta observación, no pudo contener su vanidad y no supo callarse. No quiso admitir que el herrero sabía más que él, así que interrumpió al rey antes de que terminara.

—Oh rey, mi señor; este herrero es sólo un artesano y no sabe ni entiende de ciencia. He aquí lo que sucede cuando se forja una espada tal y como él mismo lo ha descrito, pues él únicamente ha descrito los fenómenos, pero ¿dónde está la explicación de lo que realmente sucede? ¿Hasta qué punto sus observaciones, agudas por cierto, son satisfactorias? ¿Cuántas preguntas han quedado sin respuesta?

La corte sintió que el joven sabio estaba decidido a ganar, sus partidarios le aplaudieron y metieron más dinero a favor suyo en las apuestas.

Al ponerle carbón al hierro —explicó— la temperatura a la cual se funde disminuye. Cuando el contenido de carbono en la superficie de los trozos de hierro alcanza 2% más o

menos, entonces una capa blanda y delgada de hierro colado se empieza a formar en cada trozo. Los herreros, como el aquí presente, reconocen la presencia del hierro colado porque suena como si se golpeará barro. Este ruido indica que la cantidad de carbono disuelto en el hierro es, por fin, alta. Entonces, el crisol se enfría muy lentamente, el proceso puede durar varios días. Es este enfriamiento lento lo que procura la distribución homogénea del carbón en el acero (entre 1.5 y 2.0%). Cuando la temperatura disminuye y llega a 1 000° C, parte del carbón se precipita fuera de la solución, formando otro compuesto.

Aquí el joven sabio hizo un paréntesis en su relato para explicar que ese compuesto se llama cementita o carburo de hierro (Fe_3C). Se forma, alrededor de los granos de austenita. Todavía precisó que el enfriamiento lento permite que los granos crezcan mucho, y continuó su cátedra sin ver que sus amigos más próximos, los que estaban al tanto de sus sentimientos, se llevaban las manos a la cabeza al verlo hablar de tal modo.

—Como se sabe, este compuesto, rico en carbón, es el que produce las marcas oscuras que se ven en los aceros de Damasco. Sin embargo, este producto segregado —la cementita—, tiene algunas propiedades indeseables. Aunque es muy duro, es muy quebradizo. Todos sabemos, lo hemos comprobado, que los aceros de Damasco no son quebradizos. ¿Cómo se resuelve esta aparente contradicción? El secreto está en el martilleo intenso, es decir; en la forja. Todos los herreros saben que se puede forjar en blanco y hasta en naranja, a temperaturas, y eso no lo saben los herreros como este cojo, entre 1 200° C y 900° C, pero la pasta se debe forjar, y eso sí que lo sabe este ignorante —dijo señalando a su rival—, al rojo cereza o rojo sangre, o sea entre 650° C y 850° C. Temperaturas más altas harían que el compuesto segregado, la cementita, se vuelva a disolver en la austenita. Por otro lado, forjar la pasta a 850° C rompe los cristales del compuesto segregado, formando pequeñas partículas esféricas que endurecen el acero, pero que no son lo suficientemente grandes como para que el metal sea quebradizo. Y al templar el acero se obtiene un compuesto diferente del que se forma cuando se deja enfriar lentamente.

Donaziada, esta vez sola, porque el rey Schahriar no aprendía las cosas tan rápido, repitió lo que a Scherezada le había revelado el asno Acerina.

—Con el templado se suprime la transformación de la austenita a perlita. Los cristales de hierro se vuelven centrados en el cuerpo pero la disposición cúbica tiene que transformarse en tetragonal. Esta estructura se llama martensita y, como en ella hay lugar para los átomos de carbono, es dura, (Figura 24).

Scherezada, después de felicitar a su hermana, y al rey también, por saber tanto, siguió con su historia.

Al terminar su discurso, el joven sabio se quedó mudo. El rey, satisfecho, pudo proclamarlo vencedor del concurso pues, sin duda, era el que más sabía. Los amigos del joven sabio esperaban que, como en tantos cuentos, el final fuese feliz, que la princesa, la hija única del rey, fuese la belleza que regaba las plantas del alféizar de aquella ventana. Pero ya la voz de los muezines llamaba a los creyentes a la oración de aquel santo día viernes: —*Bismillahi 'rramani' rahim!* —En nombre de Alá, el Clemente sin límites, el Misericordioso. —Loor a Alá, Señor de los hombres, Clemente y Misericordioso. —Supremo soberano, Árbitro

absoluto el día de la retribución. —A ti, adoramos, tu socorro imploramos. —Dirígenos por el camino recto, por el camino de aquellos a quienes colmaste de beneficios, y no por el camino de aquellos que incurrieron en tu cólera, ni de los que se han extraviado.

Los amigos del joven rezaron con más devoción que nunca pidiendo justicia hasta que, vieron aparecer a la princesa que alargó la mano y se la dio a su padre, luego miró detenidamente al joven que, además de ser hermoso, bien formado y gentil, vestía a la moda de Bagdad.

—Es ella —dijeron todos a coro.

Y era ella, la mujer de cara de alquitrán y alma de betún. Comprendieron entonces los amigos del joven que, de tanto rezar; Alá los había escuchado y había sido justo. Era el castigo a la vanidad que a veces se esconde detrás de la belleza y de la sabiduría.

Aquí interrumpió Scherezada su relato, satisfecha de haberle explicado a Donaziada y al rey por qué los aceros de Damasco son tan resistentes, pero no cayó en el defecto de vanagloriarse, no la fuese a castigar Alá.

GLOSARIO

diagrama de fases. El diagrama de fases proporciona las condiciones de equilibrio entre las fases presentes en su sistema.

eutéctico. Relativo a la eutexia.

eutexia. Fenómeno que se manifiesta en las mezclas o aleaciones de dos cuerpos debidamente dosificados, y al cual se debe que el punto de fusión de la mezcla sólida sea, no solamente inferior al de cada uno de los componentes, sino también al de cualquiera otra mezcla en la que ambos entren en proporciones diferentes de la mezcla eutéctica.

perlita. Uno de los constituyentes de las aleaciones ferrosas, que es un agregado de ferrita y cementita en forma de escamas microscópicas. Es una fase sólida dentro de la descomposición eutéctica de la formación del hierro y el carbono.

tetragonal. Sistema cristalino que contiene tres ejes que se intersectan en ángulos rectos, dos lados son iguales. Es decir que $a = b$ que es diferente de c , el ángulo alfa es igual al beta y al gamma y todos valen 90° .

XII. FECHADO CON EL ^{14}C

Y CUANDO LLEGÓ LA ONCENA NOCHE

SIN embargo, Alá también es misericordioso, así que, cuando el rey iba a anunciar que la princesa se casaría con el joven sabio, ella habló.

—Oh padre mío, rey y prudente entre los prudentes, tú mismo has organizado este [concurso](#) para no designar arbitrariamente a mi marido. Quieres que conmigo se case el que más sepa sobre el acero de Damasco. Pero los amores suelen seguir otros caminos y yo de quien estoy enamorada es del herrero, aunque lo veas cojo y ordinario. Él me vio, yo lo vi y el flechazo fue tal que sólo con él he de casarme.

—Cuánta razón tienes, hija, y celebrese tu boda con quien tú elijas, siempre y cuando él esté de acuerdo.

Sonaron las trompetas y toda la corte se abrazó felicitándose por tener un rey tan justo y porque el joven sabio estaba libre y podía cortejar a la muchacha que regaba las macetas del alféizar de aquella ventana.

Y Scherezada inició otra historia:

—¡Amigo, no difieras nunca el aprovecharte del goce que se te ofrece! ¡No dejes nunca para otro día la voluptuosidad que pasa! Porque la voluptuosidad no pasa todos los días, ni el goce ofrece diariamente sus labios a tus labios. Sabe que la [fortuna](#) es mujer; y como la mujer, mudable. Así cantaba, alegre, mirándose al espejo una y otra vez la princesa Badru-l-Budur cuando su adivinadora la interrumpió:

—*¡Ya setti, ya setti!* ¡He allí al tiempo, he allí al tiempo! Está bajo las ventanas del palacio.

Al oír estas palabras, Badru-l-Budur se precipitó a la ventana y sólo vio una mancha oscura. Cuando quiso preguntarle a la adivinadora por qué decía que el tiempo estaba bajo su ventana si sólo había un montón de carbón, ésta ya se había ido.

Inquieta ante lo que parecía un acertijo ingenioso para sacarla de sus alegres canciones, Badru-l-Budur; después de pensarlo mucho, convocó el consejo de astrólogos del reino. El más viejo de ellos, envuelto en un manto bordado con estrellas y todos los planetas del cielo se dirigió a Badru-l-Budur en estos términos.

—Princesa, mucho te va a costar entender lo que, gracias a los principios de la radiactividad, se emplea como reloj atómico. Son fenómenos que sólo algunos, interesados en el futuro y en el pasado, entendemos. La adivinadora tenía razón. Cuando exclamó: "He allí al tiempo" viendo el carbón quiso decir que, gracias al carbono, se puede fechar la antigüedad de los objetos. Quizás esta historia te permita entenderlo mejor.

El astrólogo empezó a contarla:

—En Italia hay una sábana, llamada sudario de Turín. Es un trozo de lino que muestra la imagen amarillenta de un hombre. Los cristianos creían que era la mortaja de Jesucristo y durante siglos hubo quien aseguraba que, en verdad, ése era el retrato de Jesús. Hubo también mucha gente que no lo creía. En esta ocasión, como en tantas otras, fue la Fortuna la que dio la respuesta. Del mismo modo que un temblor puede destruir un muro hasta convertirlo en un montón de ladrillos que, a su vez, bajo la pata de un elefante pueden

quedar convertidos en polvo que, a su vez, el agua puede disolver; ciertos núcleos atómicos (los que tienen más de 83 protones) tienden a ser inestables: emiten partículas o radiación electromagnética o ambos. Los principales tipos de radiación son las partículas alfa (o núcleos de helio con doble carga, He^{2+}), las partículas beta (o electrones) y los rayos gamma que son ondas electromagnéticas cuya longitud de onda es muy corta (0.1nm a 10^{-4} nm). Así como el muro se desintegra, el núcleo radiactivo también se desintegra dando lugar a productos que pueden ser inestables y que sufrirán una desintegración posterior. Este proceso se repite hasta que, finalmente, se forma un producto estable. La secuencia de desintegraciones, iniciada con el núcleo radiactivo original se conoce como *serie de decaimiento*. Cuando se habla de los pasos del decaimiento radiactivo, el isótopo radiactivo inicial se llama el *padre* o *progenitor* en tanto que el producto se conoce como el *hijo* o el *descendiente*.

La princesa intervino. —¡Claro! Es como si fuera un árbol genealógico. Nosotras las princesas sabemos mucho de eso.

El astrólogo, que intentaba explicar los secretos de las ciencias nucleares, prefirió no oír cuán ilustres eran los ancestros de Badru-l-Budur. Mucho más importante le parecía explicarle a la princesa el decaimiento radiactivo y cómo, gracias a estos principios, se pudo fechar el Santo Sudario. Y pensó que si estos análisis se hicieran en todas las reliquias que existen por el mundo, de unas y de otras religiones, más de un estafador del pasado y del presente quedaría desenmascarado. El astrólogo interrumpió a la princesa cuando se remontó a sus bisabuelos y siguió.

—Así como nuestro cuerpo se debilita con los años, los átomos decaen, es decir que envejecen y su decaimiento se puede describir con una ecuación matemática.

Aquí el astrólogo se puso a hurgar entre los pliegues de su turbante, pues allí guardaba lo que en otras latitudes se conoce como "acordeones". Miró un trocito de papel y copió, aclarando que eran fórmulas muy usadas en Occidente. Velocidad de decaimiento en un tiempo $t = K \cdot N$ en donde K es la constante de velocidad de primer orden y N es el número de núcleos radiactivos presentes en el tiempo t . Así se habla de vida media para simplificar:

$$t_{1/2} = 0.693 / K$$

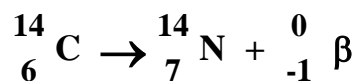
—Las vidas medias (y por lo tanto las constantes de velocidad) del decaimiento radiactivo varían mucho de núcleo a núcleo. Por ejemplo, estos dos casos extremos: 4.51×10^9 años es la vida media de cierto elemento y de otro es: 1.6×10^{-4} segundos. Como ya te imaginas, princesa, son muchos los átomos que se pueden usar para fechar objetos. Uno de los más frecuentemente utilizados es el carbono que tiene un isótopo, el *carbono catorce*.

La princesa repitió anonadada: —¿Isótopo? ¿Carbono catorce?

—Perdona Badru-l-Budur. Isótopos son los átomos que tienen el mismo número atómico, pero números diferentes de masa.

—Oh, astrólogo, me parece que entiendo poco y sobre todo que te alejas de la Sábana Santa o Santo Sudario o como quieras llamarlo.

—Es cierto, princesa, pero antes —y el astrólogo sacó otro de sus "acordeones" del turbante y prosiguió— he de escribir esta ecuación que permite fechar la sábana. El carbono catorce decae de acuerdo con la ecuación:



Sí, como te lo expliqué antes, sabes que la velocidad de decaimiento en un tiempo t es igual a K por N , donde K es la constante de primer orden y N es el número de núcleos de carbono catorce presentes; la vida media de la desintegración, $t_{1/2}$, es de 5.73×10^3 años. Por lo tanto:

$$K = 0.693 / 5.73 \times 10^3 \text{ años} = 1.21 \times 10^{-4} \text{ años}^{-1}$$

Los isótopos de carbono catorce entran a la biósfera donde se integran al bióxido de carbono en la fotosíntesis de las plantas. Los animales se alimentan de plantas y exhalan carbono catorce en el CO_2 . Finalmente se establece un equilibrio entre el ${}^{12}\text{C}$ y el ${}^{14}\text{C}$ en la materia viva. Pero, cuidado Badru-l-Budur; con lo que voy a decirte. Cuando la planta o el animal mueren, el isótopo de carbono catorce no vuelve a regenerarse, así que la razón ${}^{14}\text{C}$ a ${}^{12}\text{C}$ disminuye a medida que el ${}^{14}\text{C}$ se desintegra. Después de cierto tiempo existe, proporcionalmente, un menor número de núcleos de ${}^{14}\text{C}$ en una momia que en una persona viva. En materiales recientes la, fracción ${}^{14}\text{C} / {}^{12}\text{C}$ es aproximadamente de $1 / 10^{12}$. Así se han podido fechar objetos de 1 000 a 50 000 años. Y también la edad del sudario de Turín. En 1988, sabios de Europa y de Estados Unidos, trabajando por separado, pudieron demostrar que el sudario data de entre 1260 y 1390 y que por lo tanto no pudo haber sido la mortaja de Cristo.

La princesa, entonces, exclamó:

—Astrólogo, ha sido una historia interesante y ahora comprendo que el carbono pueda servir como un reloj. Se quedó reflexionando un rato con cara de disgustada y, como pensando en voz alta, añadió: —Mando romper los relojes y en particular mando quitar cuanto átomo de carbono haya en este reino para que nadie ni nada tenga edad y yo pueda seguir, contenta y feliz, cantando frente al espejo.

—Pero princesa, no seas inocente —replicó el astrólogo—, eso sólo lo lograrás matando cuanto ser viviente hay en la Tierra, pues la vida toda depende de la química del carbono.

Badru-l-Búdur dio media vuelta. Como le tenía miedo al astrólogo revocó la orden y otra vez, frente al espejo, se puso a cantar melancólicamente:

—¡Amigo, no difieras nunca el aprovecharte del goce que se te ofrece! ¡No dejes nunca para otro día la voluptuosidad que pasa! Porque la voluptuosidad no pasa todos los días, ni el goce ofrece diariamente sus labios a tus labios. Sabe que la fortuna es mujer y, como la mujer, mudable.

Y el sultán se quedó tan impresionado, después de estas diez y una noches, que le perdonó la vida a Scherezada y además ordenó a sus ministros que le prepararan un expediente completo sobre el carbón. A continuación reproducimos ese expediente, lleno de números y de curvas, para los que quieran saber aún más de lo que Scherezada le contó al rey Schahriar.

GLOSARIO

biosfera. Parte de la esfera terrestre en la que hay vida.

decaimiento radiactivo. Pérdida progresiva de radiactividad que experimenta una masa de materia radiactiva a medida que va aumentando la proporción de sus átomos estables y disminuyendo el número de los que se desintegran.

isótopo. Átomos que tienen el mismo número atómico pero diferente peso atómico.

núcleo atómico. Parte central del átomo formada por protones y neutrones.

radiación electromagnética. El concepto comprende todo el espectro electromagnético desde la alta frecuencia, los rayos X, los rayos gamma, los rayos ultravioleta, el espectro visible, el espectro infrarrojo hasta la baja frecuencia.

radiactividad. Desintegración espontánea del núcleo del átomo, con emisión de partículas o de radiaciones electromagnéticas.

XIII. EXPEDIENTE PREPARADO POR LOS MINISTROS DEL REY

CONSUMO DEL CARBÓN

EN ESTE trabajo se presentan tres curvas que para la economía de nuestro reino son importantes. La primera se refiere al consumo industrial de diamantes en el mundo (Figura 26), que a partir de 1960 ha crecido y se ha multiplicado por un factor de cinco veces en 1980. La segunda gráfica se refiere a la producción mundial de grafito (Figura 27).

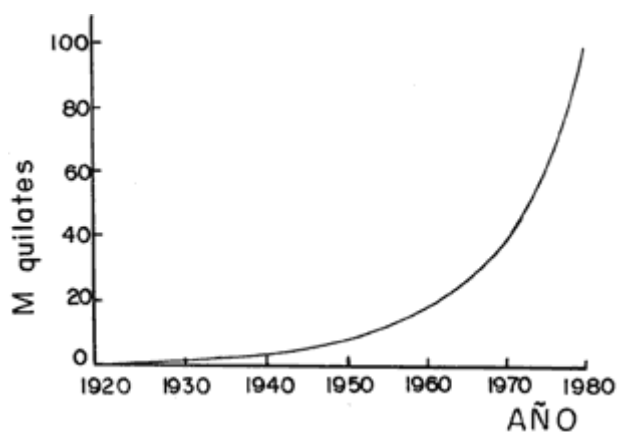


Figura 26. Consumo industrial de diamantes.

PRODUCCION MUNDIAL DE GRAFITO DE MINAS Y RESERVAS

(Miles de toneladas)

País	Producción		Reservas
	1988	1989	
E.U.A.	W	W	---
Austria	44	40	55
Brasil	33	35	550
India	28	25	810
República de Corea	116	110	3, 480
Madagascar	14	15	1, 080
México (Dirección General de Minas)	45	45	3, 420
Sri Lanka	10	10	55

Otros países de economía abierta	36	40	1,380
Otras economías centrales	414	400	12,350
Total	740	720	23,180

Fuente: Summary of Mineral Commodity 1990.

Figura 27. Producción mundial de grafito en 1988 y 1989.

Nos ha parecido interesante destacar que, en México, 50% de la producción se colocó en el mercado nacional y el saldo en Japón y Estados Unidos. Se espera una reactivación en la demanda y precios de este material porque los sustitutos del grafito que se han introducido en el mercado además de no haber dado los resultados esperados, han resultado ser más costosos. En la tercera gráfica (Figura 28), se comprueba que el consumo de carbón como fuente de energía ha crecido a un ritmo menor que el consumo de gas natural ó de petróleo. Sin embargo, fue la fuente principal de energía hasta antes de 1920 y casi tan importante como el petróleo hasta 1940.

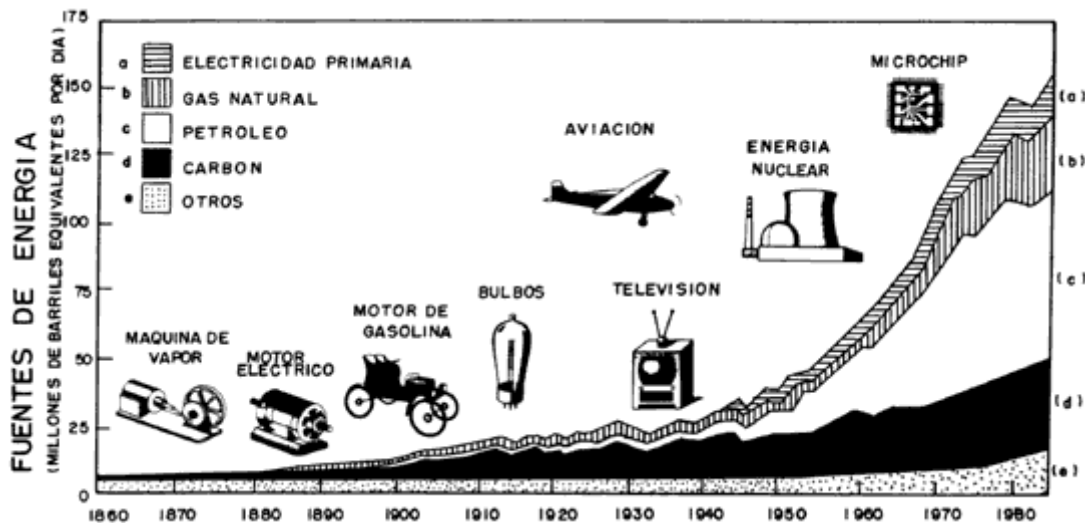


Figura 28. Utilización principal de la energía (máquina de vapor, motor eléctrico, etc.) y fracción de esa energía según su origen (carbón, gas natural, etc.).

A poca gente le importa el origen de la energía que consumimos, pero en cambio, a todos nos interesan los servicios que dicha energía proporciona y que van desde necesidades básicas (cocina, calefacción, luz) hasta la punta de la tecnología moderna (motores, procesos industriales). Encender la luz en una habitación, por ejemplo, moviendo el

interruptor es sólo el último acto de una larga cadena que se puede iniciar en las minas de carbón. El carbón, en su estado bruto, se debe transportar a una estación de energía donde se convierte en energía eléctrica que, finalmente, mediante una red de distribución, acaba transformada en luz, gracias a una lámpara.

El 1920 el carbón proporcionaba más de 70% del combustible, pero hoy sólo proporciona 25% de las necesidades totales de energía. La solución de los problemas de energía depende, hoy como en el pasado, de la tecnología existente y de la velocidad con que avanza. Desde mediados del siglo XIX, las fuentes de energía han cambiado: del viento, del agua y de la madera, al carbón y más recientemente al petróleo y al gas natural. El vínculo entre la energía y la tecnología explica el cambio. Durante el siglo XIX la tecnología dominante era la del carbón y de la fabricación de aceros. El transporte se hacía en ferrocarril o por mar. Gracias a la creación de la infraestructura de transporte, aparecieron las fábricas, y la industrialización fue un hecho.

Hacia finales del siglo XIX el mundo se transformó en forma considerable debido a la energía eléctrica, los motores de combustión interna, los automóviles, los aviones y las industrias química y metalúrgica. El petróleo resultó ser buen combustible y buena materia prima para la industria petroquímica.

A finales de la Revolución Industrial, en una época caracterizada por el uso de las computadoras, los nuevos materiales, la electrónica y la biotecnología, hay que resolver el problema que, tanto por el uso del carbón como por el uso del petróleo y la deforestación, está transformando nuestra atmósfera. En la figura 29 se compara la emisión de carbono, en forma de bióxido de carbono, monóxido de carbono, o tizne, a la atmósfera por países industrializados (58%) con el carbono que proviene de la deforestación. Presentamos además algunas de las aplicaciones del carbón activo. Los carbonos activos son adsorbentes únicos y multifuncionales por su gran área específica, su estructura microporosa y alto grado de reactividad superficial.

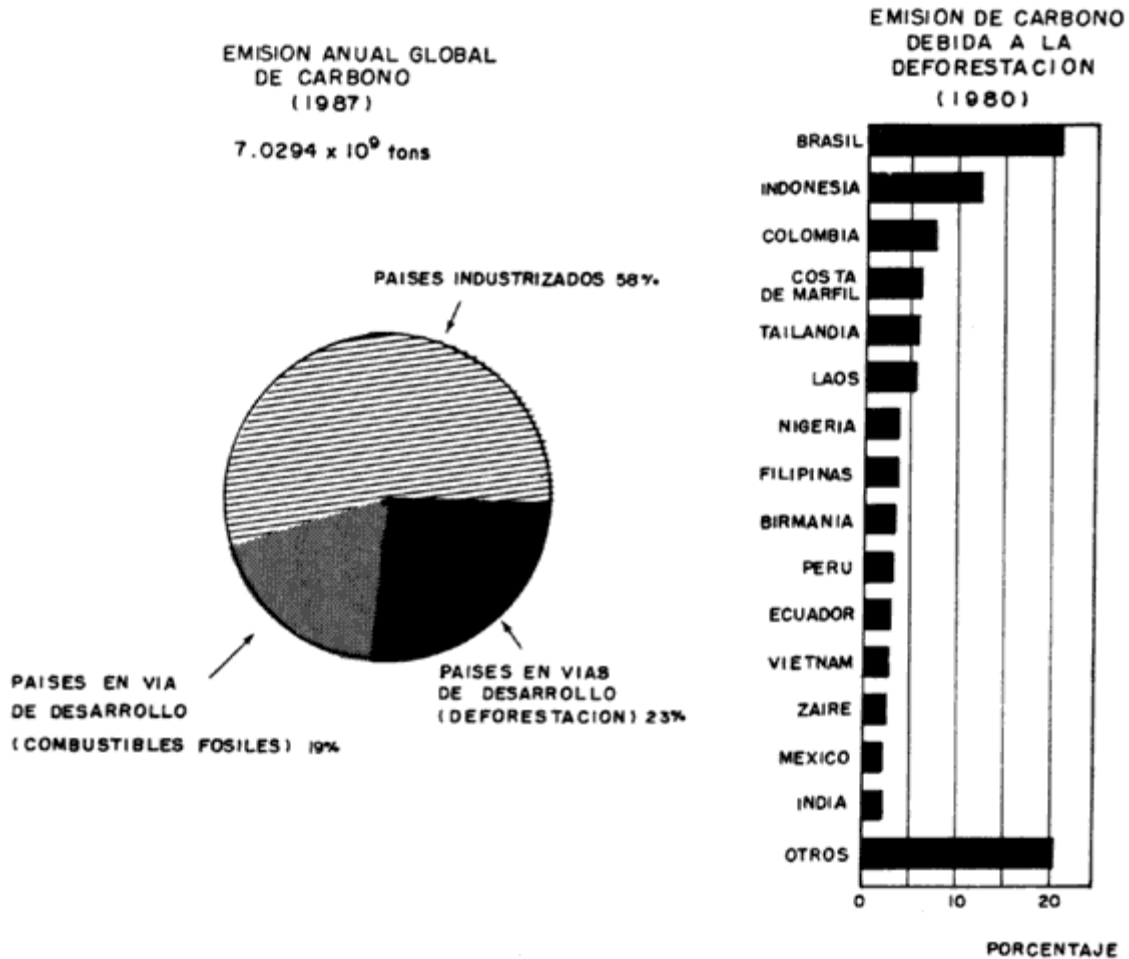


Figura 29. Emisión de carbono a la atmósfera y emisión de carbono por deforestación según los países.

Los carbonos activos se utilizan para purificar, decolorar, desodorizar y purificar agua; recuperar solventes o purificar el aire viciado en espacios cerrados como los restaurantes y purificar los productos químicos o alimentos. Su uso es creciente en campos como la hidrometalurgia, la recuperación del oro o de la plata. Sin embargo, muchos de estos usos requieren de ciertas características de la superficie adsorbente.

El término carbón activo, en su sentido más amplio, incluye gran variedad de materiales de carbón no cristalino que presentan alto grado de porosidad y área superficial muy extensa. Se obtienen por combustión, o combustión parcial, y descomposición térmica de diversas sustancias que contengan carbono. Dependiendo del material de origen, varían las características del carbón activo obtenido (Figura 30). La estructura del carbón activo se ha comparado, a menudo, con la del grafito y se dice que el carbón activo es microcristalino. Sin embargo, con la microscopía electrónica se ha demostrado que es muy distinto del grafito. Se le debe imaginar como hojuelas planas de anillos aromáticos distribuidos en desorden (figura 6).

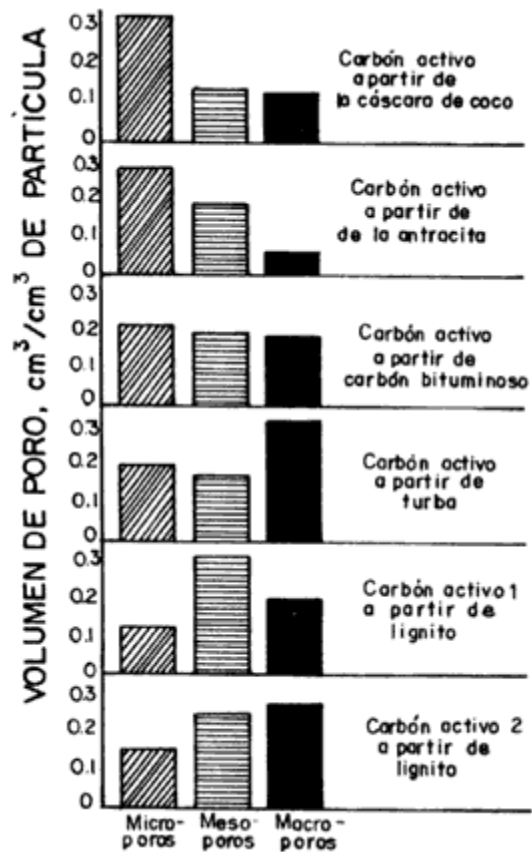


Figura 30. Distribución del tamaño de poro en algunos carbones activos obtenidos a partir de diferentes materiales.

Dados los intereses de nuestro rey nos ha parecido oportuno recoger aquí la recuperación del oro como ejemplo del uso del carbón activo.

RECUPERACIÓN DE ORO UTILIZANDO CARBÓN ACTIVO

En la figura 31 presentamos el esquema que se sigue en este proceso. Hay pasos difíciles, como la separación del oro del carbón, sin embargo, estamos seguros de que la sabiduría de los investigadores del rey sabrá sacar provecho de este proceso.

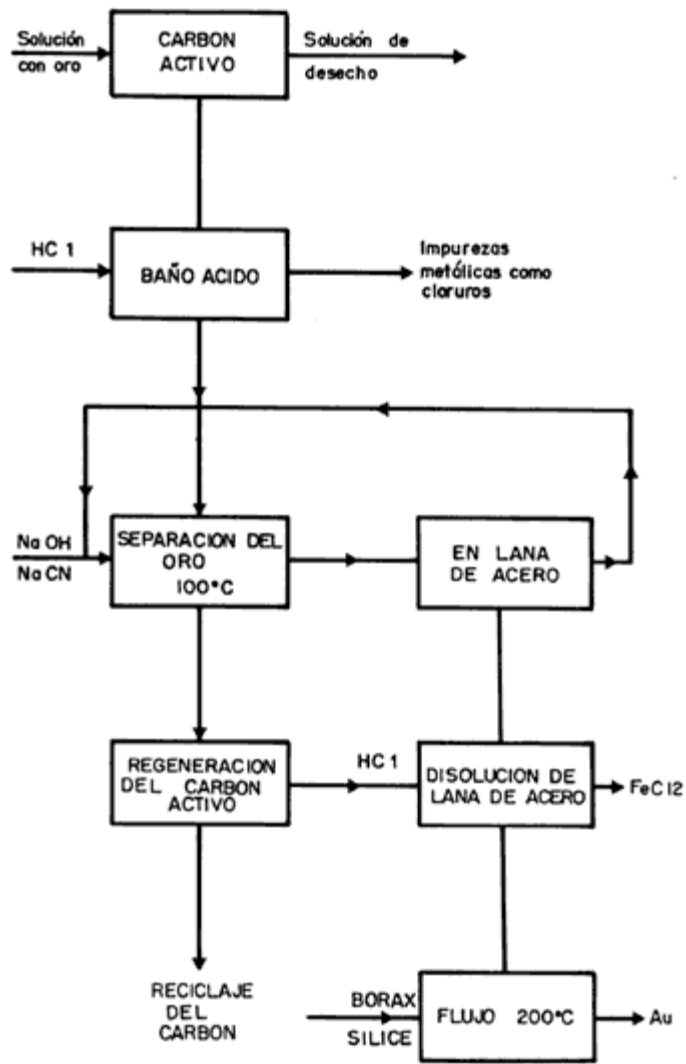


Figura 31. Recuperación del oro con carbón activado.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo, *Las mil y una noches*, prólogo de T. E. Rhode, colección: "Sepan cuantos...", Núm. 136, Porrúa, México, 1990.

I. Antaki, *La cura de los árabes*, Siglo XXI, México, 1989.

R. C. Bansal, J. P. Donet y F. Stoeckli, *Active carbon*, M. Dekker, Nueva York, 1988.

R. M. Bravo, "La magia de los diamantes" en *Muy interesante*, num. 11, p. 60 Provenemex, México, 1990.

S. Bulbulian, *La radiactividad*, La Ciencia desde México, núm. 42, SEP-FCE-CONACYT, México, 1987.

G. R. Davis, "Energy for Planet Earth", en *Scientific American*, Vol. 263, p. 21, septiembre de 1990.

G. Eglinton, J. R. Maxwell y C. T. Pillinger, "The Carbon Chemistry of the Moon", en *Scientific American*, Vol. 227, p. 80, octubre de 1972.

J. L. Figueredo, C.A. Bernardo, J.J. Chludzinski y R. T. Baker, *Journal of Catalysis*, Vol. 110, p. 127, 1988.

W. Fulkerson, R. R. Judkin y M. K. Sanghvi, "Energy from Fossil Fuels", en *Scientific American*, Vol. 263, p. 63, septiembre de 1990.

A. Guinier y R. Jullien, *La matière à l'étatsolide, des supraconducteurs aux superalliages*, prólogo de Nevill Mott, Liaisons Scientifiques, Hachette-CNRS, París, 1987.

H. Haber, *The Walt Disney Story of our Friend the Atom*. Dell Publishing, Nueva York, 1956.

J. M. Martin-Martínez, F. Rodríguez-Reinoso, M. Molina-Sabio y B. McEnaney, *Carbón*, Vol. 24, p. 255, 1986.

S. Ramos, I. Casar, E. Cienfuegos y P. Morales, "Algunas aplicaciones de los isótopos estables del carbono en el control de calidad de alimentos", en *Ciencia y Desarrollo*, Vol. 17, p. 59, marzo-abril de 1991.

A. K. N. Reddy y J. Goldenberg, "Energy for the Developing World", en *Scientific American*, Vol. 263, p. 63, septiembre de 1990.

E.de Rivas. *El simbolismo esotérico en la literatura medieval española*, colección Linterna Mágica, núm. 13, Trillas, México, 1989.

J. Sarukhán, "Advierte Sarukhán del proceso de extinción que vive la Tierra", *El Nacional*, p. 16, domingo 2 de agosto de 1992.

D. J. Shaw, *Introduction to Colloid and Surface*, Butterworths and Co., Boston, Londres, 1983.

O. D. Scherby y J. Wadsworth, "Damascus Steels", en *Scientific American*, Vol., 252, p. 94, febrero de 1985.

A. B. Stiles, *Catalyst Supports and Supported Catalysts*, Butterworths and Co., Boston, Londres, 1987.

H. Terrones y J. L. Morán, "Una nueva forma del carbón: los fullerenos", en *Ciencia y Desarrollo*, Vol. 19, núm. 113, p. 22, noviembre-diciembre de 1993.

J. M. Thomas, "Microscopic Studies of Graphite Oxidation", en *Chemical Physics*, Vol. 1, p. 121, 1965.

A. Weiss, "A Secret of Chinese Porcelain Manufacture", en *Angewandte Chemie*, diciembre de 1963, Vol. 2, p. 697, diciembre de 1963.

R. Wolf, "El grafito, el 4 de Sept. y el diamante", en *Avance y Perspectiva*, Vol. 11, p. 257, julio-agosto de 1992.