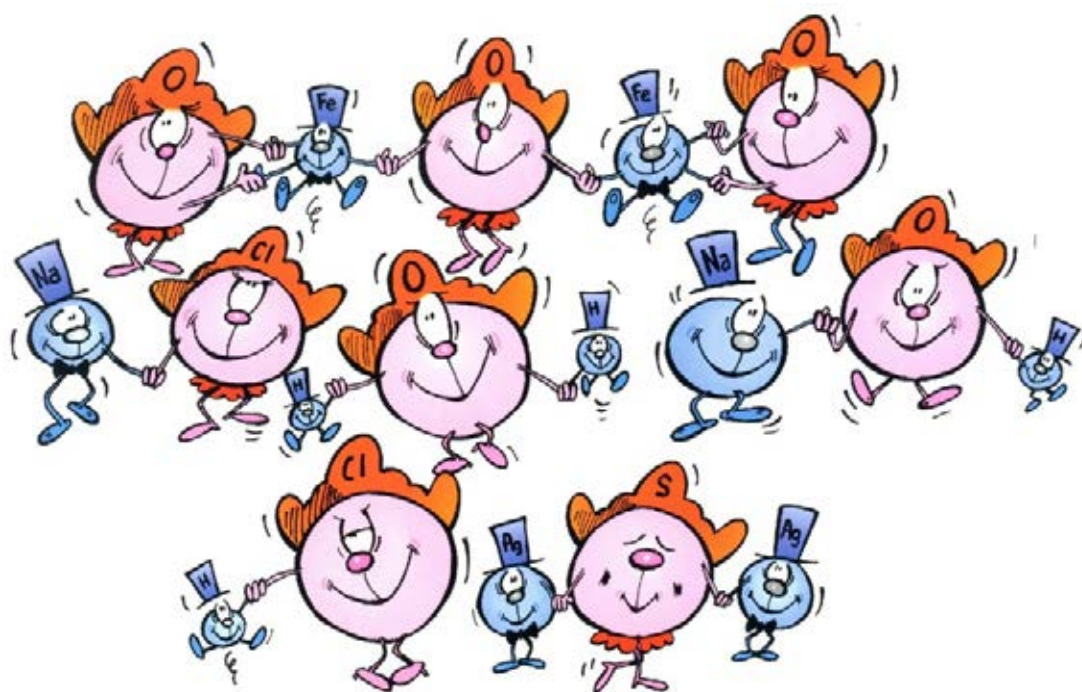


El extraño Mundo de los Atomos

Concepción y texto: Jacques Deferne

dibujos: Alain Gassener



título original en francés : Le Monde étrange des Atomes

traducción castellana : Jorge Cova

Advertencia

¡ Que los químicos y los físicos quieran tener a bien perdonarnos!. Las simplificaciones y atajos con que nos hemos permitido tratar su tema de estudios, el lado anecdótico que hemos dado a esta obra, así como su aspecto de "historieta" apuntan a un sólo objetivo: permitir a un vasto público, poco conocedor de la química, interesarse en este tema, comprender cómo está constituida la materia, entender la significación de las fórmulas químicas, tener una idea sobre la constitución de los átomos y familiarizarse con el desgaste radiactivo y la fisión nuclear.

Originalmente, la idea había sido la de escribir un pequeño libro de química dedicado a los amantes de los minerales, pero luego, presos de cariño por los atractivos personajes de este Mundo extraño, hemos derivado en la anatomía y las enfermedades genéticas de los átomos. Esto nos ha permitido abordar un aspecto de la física del cual se habla mucho pero que permanece aún desconocido: la diferencia entre el desgaste radiactivo y la fisión nuclear.

Para los especialistas, esta obra está destinada a proveerles un instante de ensueño y a mostrarles que el átomo de Niels Bohr puede presentar también un carácter humano que lo aproxima al mundo de los poetas.

¡Para los profesores que tratan de inculcar la química a los alumnos de los colegios secundarios, esta obra podría ser el punto de partida y constituir el apoyo mnemotécnico para una disciplina tan árida si se limita a fórmulas y relaciones químicas!

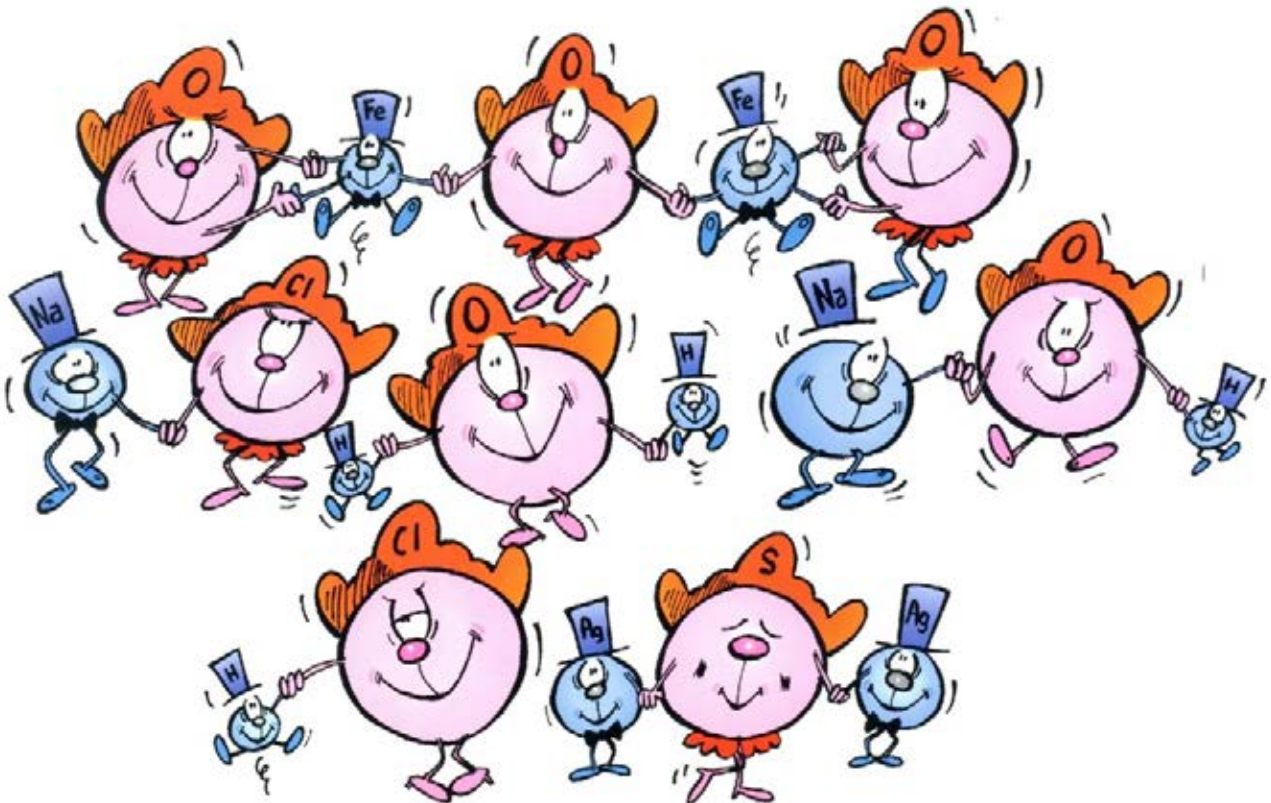
Que este Mundo extraño de los Átomos aporte respuesta a las preguntas que se formulan las personas curiosas de los secretos de la naturaleza, y que, al mismo tiempo, los distraiga del mundo banal en el que vivimos.

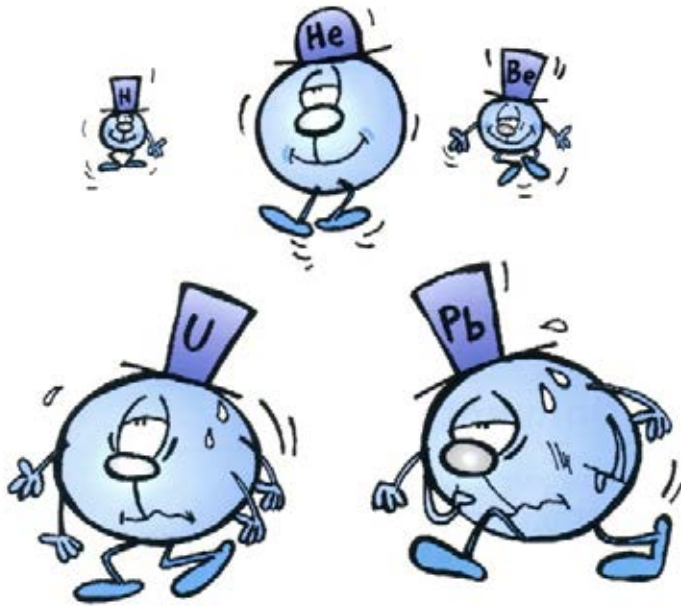
Jacques Deferne

Los primeros contactos

Viaje a lo infinitamente pequeño

Si, como Gulliver, pudiéramos desembarcar en el país infinitesimal de los átomos, descubriríamos un mundo extraño, poblado de graciosos personajes constantemente agitados por movimientos danzantes, unidos por sus numerosas manos en grupos más o menos importantes. Sus cabezas y troncos se confunden en un cuerpo único, aproximadamente esférico, de donde salen uno o varios brazos. Ciertos personajes son grandes, otros pequeños.



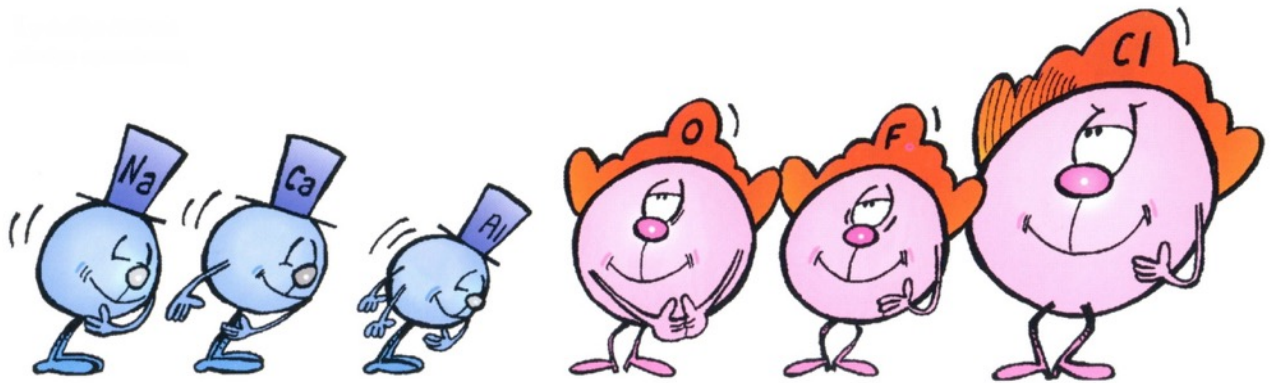


Algunos parecen livianos, mientras que otros se desplazan a duras penas abrumados por su peso que parece considerable.

Algunos parecen muy livianos, mientras que otros se desplazan a duras penas abrumados por su peso que parece considerable. Como en nuestro mundo, hay damas y caballeros; se los puede distinguir fácilmente porque las damas llevan vestidos de color rosa y cofias de encaje, en cambio los señores visten de azul con galeras. Más adelante veremos las causas anatómicas que determinan el sexo de un átomo.

Observando más atentamente este pequeño mundo, notamos que hay muchas categorías de individuos que difieren unos de otros por su talla, peso, número de brazos y por el sombrero que llevan.

Todos han sido catalogados y a cada uno se le dio un nombre, un apodo (llamado también símbolo) y un número de matrícula.

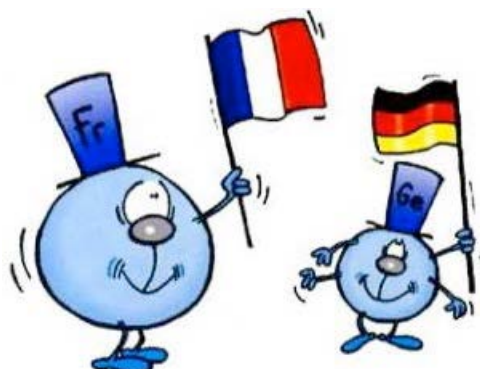


Hay damas y caballeros

Los nombres de los átomos

Todos los átomos llevan un nombre patronímico que indica a qué familia pertenecen. Aquellos que llevan el mismo nombre tienen aspecto y hábitos similares. En la naturaleza se enumeran alrededor de 90 familias de átomos siendo sus nombres de origen muy diverso. Se encuentran, por ejemplo:

- nombres regionales:
Europio, Francio, Germanio, Polonio, Hafnio (nombre latino de Copenhague).
 - nombres tomados de la mitología:
Cerio (Ceres), Paladio (Palas), Tantalio, Plutonio (Plutón), Torio (Thor).
 - nombres de materiales:
Azufre, Hierro, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc, Oro.
 - nombres de científico :
Curio, Einstenio, Mendelevio, Nobelio¹
 - nombres que indican una característica física:
- | | |
|---------------|-------------------------|
| Fósforo : | portador de la luz |
| Flúor : | que se funde fácilmente |
| Iodo : | violeta |
| Bromo : | de olor fétido |
| Disprosidio : | difícil de encontrar |



Los señores Francio y Germanio son nacionalistas



El señor Plutonio da miedo



El señor Fósforo es portador de la luz



La señorita Flúor se funde fácilmente

¹ Se refieren a familias experimentales no naturales creadas por los Terráqueos

Símbolos químicos



En lugar de nombres enteros, los químicos (y los aficionados a los crucigramas) prefieren utilizar siglas más cortas formadas por una o dos letras y conocidas con el nombre de símbolos químicos. En nuestro mundo imaginario, los átomos llevan este símbolo inscrito en su sombrero.

Habitualmente son las dos primeras letras del nombre del átomo, o a veces la primera solamente, que constituyen el símbolo químico.

Aluminio :	Al	Níquel :	Ni	Carbono :	C
Calcio :	Ca	Nitrógeno :	N	Hidrógeno :	H

El uso establece que la primera letra sea mayúscula y la segunda minúscula. En algunos casos el símbolo es de origen extraño y no tiene semejanza directa con el nombre del átomo. Por ejemplo:

Sodio : Na (del latín Natrium)

Potasío : K (del latín Kalium)

Oro : Au (del latín Aurum)

Números de orden

En el mundo de los átomos la organización es paramilitar: además de su nombre cada individuo posee una matrícula o número de orden comprendido entre 1 y 92 que indica a qué familia pertenece¹. En su jerga los químicos hablan de **número atómico**.

¹ Los que poseían los números 43 y 61, los señores Tecnecio y Prometio han desaparecido del mundo de los átomos naturales víctimas de una enfermedad congénita: el desgaste radiactivo galopante. ¡Hoy en día los terrestres han logrado recrearlos artificialmente, pero su esperanza de vida sigue siendo precaria!

El administrador que les ha atribuido estos números es un terrestre llamado Mendeleiev¹. El principio de esta numeración es muy simple: el átomo más liviano, el señor Hidrógeno, posee el número 1, el más pesado, señor Uranio, el número 92. Salvo contadas excepciones, el orden de la numeración corresponde al orden creciente en el peso de los átomos.

Hay que tener presente, no obstante, que el genio terrestre puede actualmente crear familias de átomos desconocidas hasta ahora. Así algunos recién llegados se han venido a agregar al mundo de los átomos naturales, el más conocido de ellos es el Plutonio a quien se le atribuye el número 94.



Los átomos poseen también un número de matrícula.

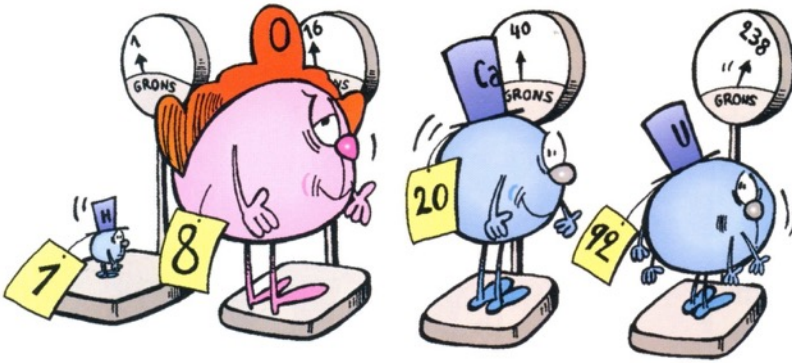
Peso de los átomos

Salvo contadas excepciones, la mayoría de los átomos de una misma familia tienen el mismo peso; contrariamente, entre individuos de familias distintas, el peso difiere notablemente. De esto se deduce que el peso atómico es una de las características de cada familia de átomos. Si pesamos el más liviano de ellos, el diminuto Hidrógeno, obtendremos: 0,000000000000000000000000166 gr., ¡casi nada!. Como consecuencia de esto, para evitar el manejo de cifras tan abultadas, la oficina de pesos y medidas del país de los átomos ha elegido como unidad de referencia el gron², que es precisamente el peso de un átomo de Hidrógeno.³

1 Dimitri Ivanovitch Mendeleiev, químico ruso(1834-1907), inventor de la clasificación periódica de los elementos químicos.

2 Unidad imaginaria utilizada únicamente en el "Extraño Mundo de los Átomos".

3 En realidad, es el peso, expresado en gramos, de 602.488 trillones de átomos de hidrógeno. Este número tan grande es conocido con el nombre de "Número de Avogadro" (célebre químico italiano, 1776-1856). Se puede así comparar el mismo número de diferentes átomos y expresar su peso en gramos. En realidad los químicos han definido más precisamente la "unidad de masa atómica" (U.M.A.) como la duodécima parte del peso del átomo de C 12, lo que equivale a $1,66 \times 10^{-24}$ g.



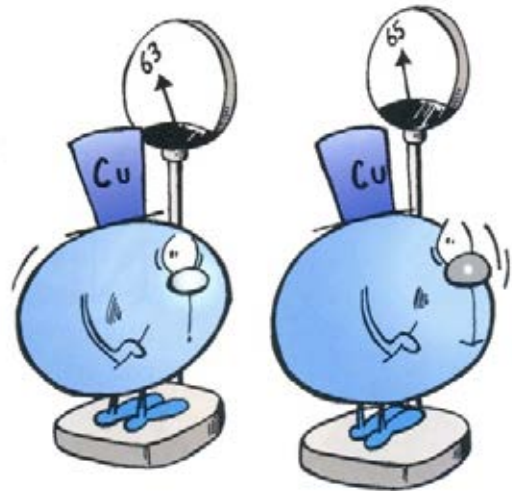
El peso de los átomos se escalona entre 1 gron para el minúsculo Hidrógeno y 238 grons para el pesado Uranio.

Y ahora, si pensamos en el peso de los otros átomos, nos espera una gran sorpresa: ¡su peso es casi siempre un múltiplo entero del peso de Don Hidrógeno!. Por ejemplo, Doña Oxígeno es 16 veces más pesada que Don Hidrógeno y Don Calcio lo es 40 veces. Examinando el peso de todos los átomos, constatamos que se escalonan entre 1 gron para el señor Hidrógeno y 238 grons para el señor Uranio.

Algunos átomos "no valen lo que pesan"

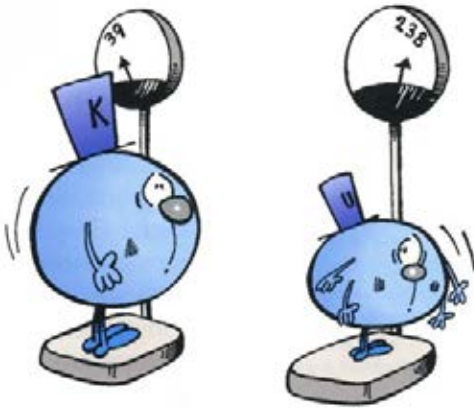
Bien se sabe que nada es perfecto, ni siquiera en el mundo de los átomos; efectivamente, se encuentran en el interior de una misma familia algunos individuos que "no valen lo que pesan". Se han encontrado en la familia Uranio miembros que pesan 235 grons en lugar de los 238 habituales; si bien no son muy numerosos representando sólo el 0,7 % de los miembros de esa familia, son muy buscados por los terrestres quienes los necesitan para sus centrales nucleares. Los miembros de una familia cuyos pesos son un poco diferentes son llamados **isótopos**.

En muchas familias de átomos se encuentran los tales isótopos que pesan un poco menos o más que la mayoría de sus congéneres. Aunque generalmente existen en cantidades muy reducidas, en ciertas familias pueden llegar a ser aún abundantes. En el caso de los hermanos Cobre, por ejemplo, la división es muy marcada: 30% de ellos tienen un peso de 65 grons mientras que los restantes no pesan más que 63. No obstante, a pesar de estas diferencias de peso, el comportamiento social de todos los isótopos de una misma familia es exactamente el mismo.



¡Ciertos miembros de la familia Cobre no valen lo que pesan!

Tamaño de los átomos¹



No hay una relación directa entre el peso y el tamaño de un átomo

Los átomos son aproximadamente esféricos; por lo tanto, podríamos expresar su tamaño por la circunferencia de su cintura. Sin embargo, el uso ha establecido expresar el tamaño de los átomos más bien por su radio: es el radio atómico. Este se expresa por una unidad muy pequeña, el Ångström² [Å], que equivale a un diezmillonésimo de milímetro. No existe una relación directa entre el peso de un átomo y su tamaño. Así el señor Potasio, que pesa, 39 grons, posee un radio atómico de 1,33 Å, mientras que el pesado Uranio (238 grons) mide sólo 0,97 Å de radio. Se puede notar inmediatamente que las damas tienen una fuerte tendencia a la obesidad mientras que los caballeros son más bien delgados. Más adelante veremos que el tamaño de los últimos disminuye de manera general con el aumento del número de brazos, mientras que en el caso de las damas se produce todo lo contrario.

mento del número de brazos, mientras que en el caso de las damas se produce todo lo contrario.

Número de brazos³

Ya nos hemos podido percatar de que, en nuestro mundo imaginario, los átomos no son en absoluto amantes de la soledad sino que forman, habitualmente, pequeños grupos⁴ dentro de los cuales se tienen tomados de las manos. Los brazos juegan, entonces, un papel fundamental de enlace.



Los Señores Hierro y Manganeso guardan, a veces, una mano en su bolsillo. Curiosamente, cuando la sacan ¡adelgazan!.

1 Quieran tener a bien, los químicos, disculpar los atajos que toma el autor: se trata del radio atómico que juega un rol importante en el mundo de los minerales.

2 Anders Jonas Ångström (1814-1874), físico sueco conocido por sus investigaciones sobre el espectro solar y los gases simples.

3 El número de brazos depende de elementos anatómicos del átomo así como de su estado de excitación. Esto será explicado más adelante en el capítulo "Anatomía de los átomos".

4 Estos grupos son conocidos por los químicos con el nombre de cuerpos compuestos (antiguamente moléculas).

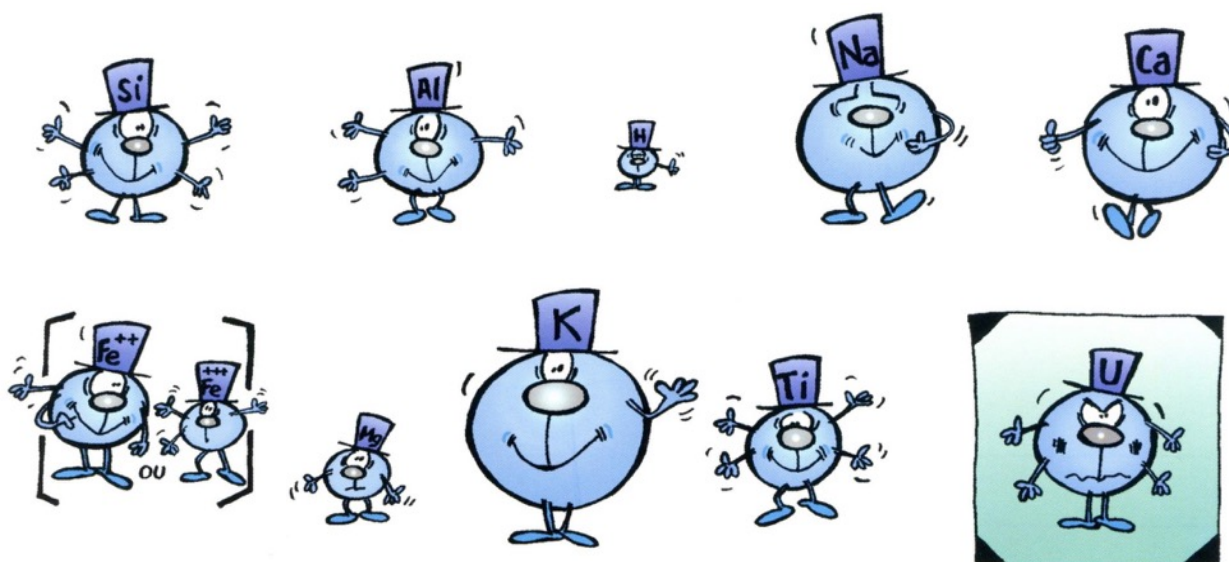
Los átomos no tienen todos el mismo número de brazos; los señores Sodio y Potasio, por ejemplo, no tienen más que un solo brazo, mientras que Don Calcio y Don Estroncio tienen dos. Don Aluminio tiene tres brazos y el Señor Silicio cuatro.

Hay un átomo bien conocido y un poco chistoso que es el señor Hierro: posee dos brazos bien activos y un tercero que guarda en su bolsillo y que saca sólo cuando está un poco excitado. Lo notable es que cuando lo hace su tamaño disminuye sensiblemente, ¡con dos brazos su radio es de 0,76Å; y con tres, solamente de 0,64Å!

Un amigo íntimo del Hierro, el señor Manganeso, se comporta exactamente de la misma manera. Existen aún muchos otros átomos cuyo número de brazos varía según su estado de excitación, particularidad sobre la cual tendremos la ocasión de volver más adelante.

Las damas y los caballeros

Contrariamente a lo que ocurre con los terrestres, en el mundo de los átomos los sexos se reparten por familia: hay familias de damas y familias de caballeros.



Los principales Señores: visten de azul y llevan chisteras.
El último de ellos es El pesado e irascible Uranio.

Las familias de caballeros son muy numerosas mientras que hay apenas media docena de familias de damas. Entre estas últimas se destacan las hermanas Oxígeno, que constituyen una familia muy dominante cuyos miembros representan cerca del 62% de la población total de átomos. Las hermanas Oxígeno reglamentan, también, la casi totalidad de los casamientos y reinan prácticamente sin rival sobre la población masculina. Lógicamente, se encuentran otras damas, las señoras Flúor, Cloro, Azufre, pero son escasas y tienen una influencia muy limitada.



Las damas llevan vestidos rosas y cofias de encaje en la cabeza. Todas ellas aspiran al matrimonio y tienen una fuerte tendencia a la gordura.

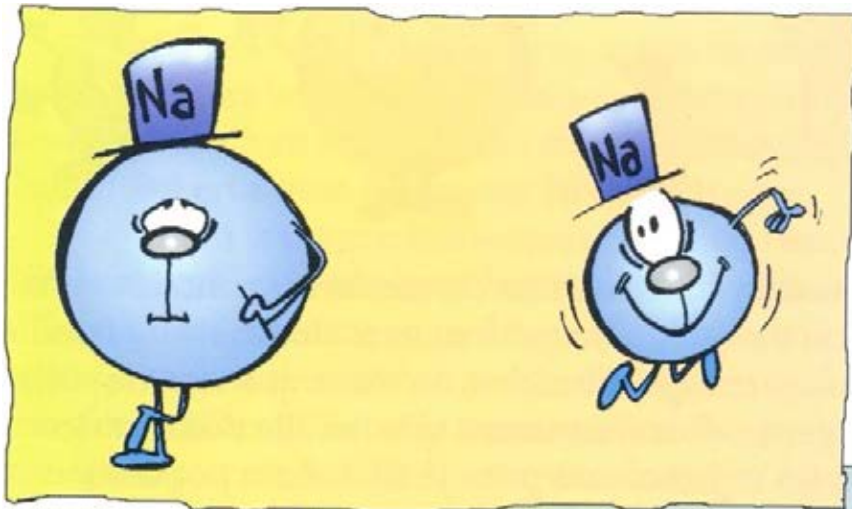
Adelgazar o engordar: una cuestión de excitación

Ya hemos visto que los señores son más bien delgados y que las señoras muestran una fuerte tendencia a la obesidad. En reposo, los caballeros son bastante rechonchos y guardan sus manos en los bolsillos; a la menor excitación, sacan sus manos de los bolsillos y, curiosamente, adelgazan. Con las damas ocurre lo contrario; Doña Oxígeno, por ejemplo, casi duplica su tamaño cuando la excitación le hace sacar las manos de los bolsillos.

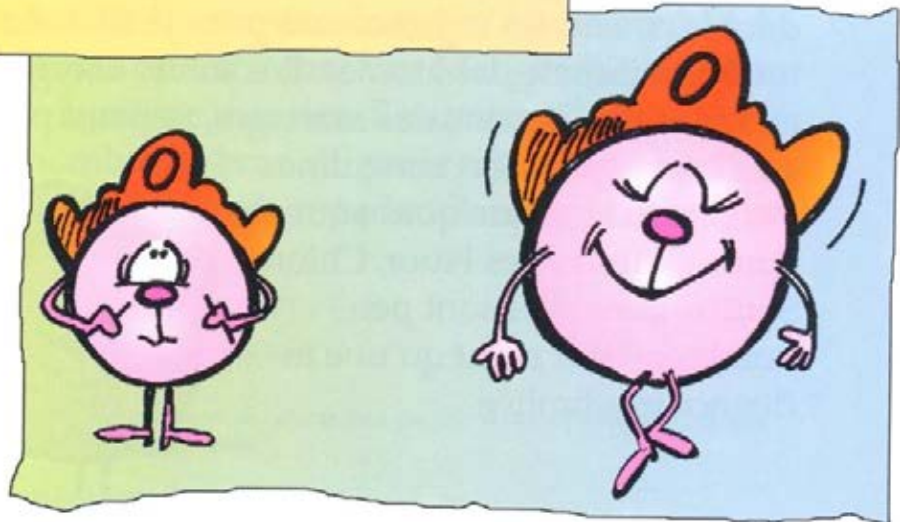
Los químicos y los amantes de los crucigramas, siempre tan intrigados por el mundo de los átomos, dan el apodo de **iones** a los átomos en estado de excitación (o portadores de cargas), más precisamente, **aniones** si se trata de damas y **cationes** cuando se refiere a caballeros.



¡Los aficionados a las palabras cruzadas conocen también los iones, los aniones y los ca-



La excitación hace adelgazar a los caballeros ...

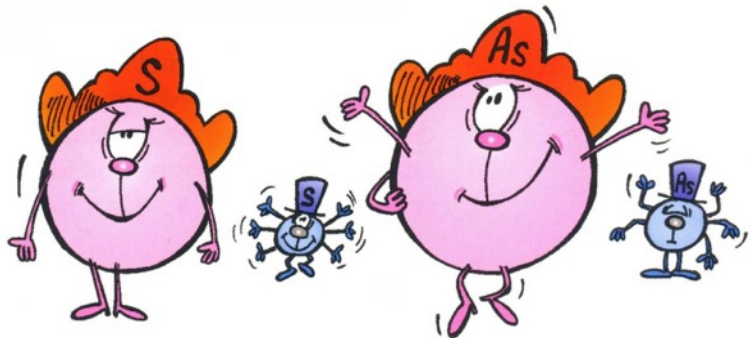


...pero hace engordar a las damas

Los andróginos

Existen aún algunas familias de átomos cuya tendencia masculina o femenina no está muy bien definida y que, según las circunstancias, se comportan como damas o como caballeros. En esta categoría encontramos, principalmente, los miembros de la familia Azufre, Arsénico, Antimonio y, más raramente, Carbono.

Cabe mencionar que a veces los químicos agrupan bajo el nombre de metaloides todos los átomos que no son francamente varones. En este grupo se hallarían las damas y los andróginos.

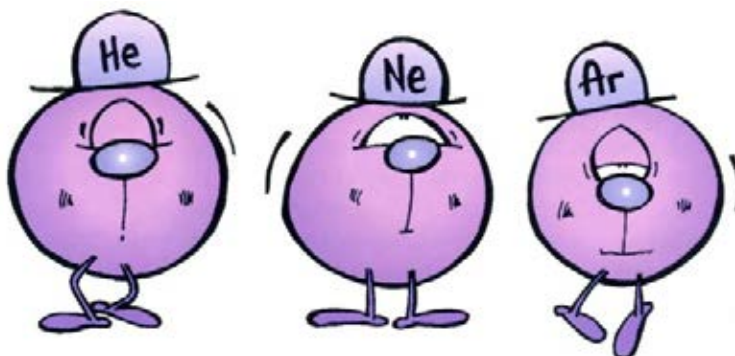


Los andróginos son tanto damas como caballeros.

Los solterones empedernidos

Si bien el matrimonio es la regla en el mundo de los átomos, se encuentran familias de solterones empedernidos: los señores Helio, Neón, Argón, Criptón, Xenón y Radón. Ellos visten de color violeta y llevan un sombrero bombín como ciertos eclesiásticos; no poseen brazos; y por su aspecto vaporoso y escasez se les ha dado el apodo de "gases raros".¹

Los solterones empedernidos no tienen brazos; visten de color violeta y llevan un sombrero bombín como ciertos eclesiásticos. Por su escasez y su aire vaporoso se les ha dado el apodo de "gases raros"



Distribución de la población

La distribución de la población entre las 90 familias existentes es muy heterogénea. ¡Los últimos censos² han mostrado que una decena de familias representan, por sí solas, el 99,3% de la población y que las otras 80 familias comparten el 0,7% restante!

Entre esas diez grandes familias se hallan una familia de damas (las hermanas Oxígeno) y nueve familias de caballeros. La tabla de la página siguiente da una idea de la importancia numérica de estas familias:

Los de la familia Cobre, que parecen ser abundantes por el uso que le dan los terrestres, no existen, en realidad, más que en una cantidad ínfima: ¡dos o tres átomos sobre 100.000!. Los hermanos Carbono, que podrían considerarse abundantes por el papel que juegan en el mundo de los seres vivos, representan tan solo el 0,1% de la población. ¡Ni hablar de los aristocráticos Oro, Plata o Platino, más raros todavía, que constituyen menos de un cien millonésimo de la población!

Oxígeno	61,5%
Silicio	20
Aluminio	6
Hidrógeno	2,8
Sodio	2,3
Calcio	1,8
Hierro	1,8
Magnesio	1,7
Potasio	1,2
Titanio	0,2
Otras familias	0,7
total:	100

Último censo efectuado en el país de los átomos
(expresado en porcentaje de individuos)

¹ A temperatura ambiente, estos elementos están siempre en estado gaseoso.

² Los censos involucran sólo la corteza terrestre, o sea aproximadamente los treinta primeros kilómetros por debajo de nuestros pies.

Los pasaportes

Con el fin de bien identificar a sus administrados, los responsables del registro civil del Mundo de los Atomos establecen, para cada familia, un pasaporte que contiene los siguientes datos:

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| • apellido | • tamaño |
| • símbolo químico | • número de brazos |
| • matrícula o número de orden | • sexo |
| • peso | • señas particulares |

Los pasaportes describen generalmente las características promedio de toda una familia, en particular el peso que es una media del peso de los diversos isótopos que la constituyen, calculado por el porcentaje de cada uno de ellos dentro de la familia. Por esta razón, el peso indicado no siempre es un número entero.¹ Bajo solicitud, los diferentes isótopos de una misma familia pueden obtener pasaportes separados.

<p>REPUBLICA DE ATOMLAND *****</p> <p>Pasaporte N° 24872761</p> <p>Apellido: SODIO</p> <p>Símbolo: NA</p> 	<p>REPUBLICA DE ATOMLAND *****</p> <p>-24872761-</p> <p>Matrícula: 11</p> <p>Peso: 23</p> <p>Tamaño: 0.95</p> <p>N. de bravos: 1</p> <p>Sexo: masculino</p> <p>Estado civil: siempre casado</p> <p>la cancillería: D.L. Mendeliev</p>
<p>REPUBLICA DE ATOMLAND *****</p> <p>Pasaporte N° 246342892</p> <p>Apellido: OXIGENO</p> <p>Símbolo: O</p> 	<p>REPUBLICA DE ATOMLAND *****</p> <p>-246342892-</p> <p>Matrícula: 8</p> <p>Peso: 16</p> <p>Tamaño: 1.40</p> <p>N. de bravos: 2</p> <p>Sexo: femenino</p> <p>Estado civil: casi siempre casado</p> <p>la cancillería: D.L. Mendeliev</p>

¹ ver los capítulos "ciertos átomos no valen lo fue Pesan", p.12, y "los isótopos" p.53.

La gran foto de familia

Las diversas clases sociales

En el Mundo de los Átomos la vida está muy estructurada. Sin duda, es el número de brazos el que determina la clase social a la que pertenece un átomo. Algunas clases tienen hábitos y costumbres muy estrictos, mientras que otras son más informales. En general, cuantos menos brazos poseen, más sectarios son.

En el curso de un estudio sociológico detallado, el científico ruso Mendeleiev había notado que disponiendo el pequeño mundo de los átomos por peso creciente, se veía aparecer una periodicidad rigurosa en el orden de aparición de los individuos de una misma clase social. Esta periodicidad está regida por cuatro números sagrados : 2, 8, 18 y 32.

El Registro Civil ha tomado consciencia del interés de una foto de familia tal que permitiría conocer, de un solo vistazo, el carácter y las tendencias de cada individuo.

Hemos intentado procurarnos una foto un poco general donde se podría ver a un representante de cada una de las 90 familias existentes, pero no hemos encontrado más que una foto parcial donde figuran solamente los 18 átomos más livianos: se la mostramos a continuación.

La gran foto de familia

Foto parcial de los 18 átomos más livianos

Un-brazo								Solteros o gases raros
1	Los caballeros se hubican siempre del lato izquierdo					Las damas van a la derecha		2
	dos-brazos	tres-brazos	cuatro-brazos	cinco-brazos	dos-brazos damas	un-brazo damas		
3	4	5	6	7	8	9	10	
11	12	13	14	15	16	17	18	



Señor (o señora) Azufre es andrógino:
 - tanto dama con dos brazos,
 - tanto caballero con ¡seis brazos!

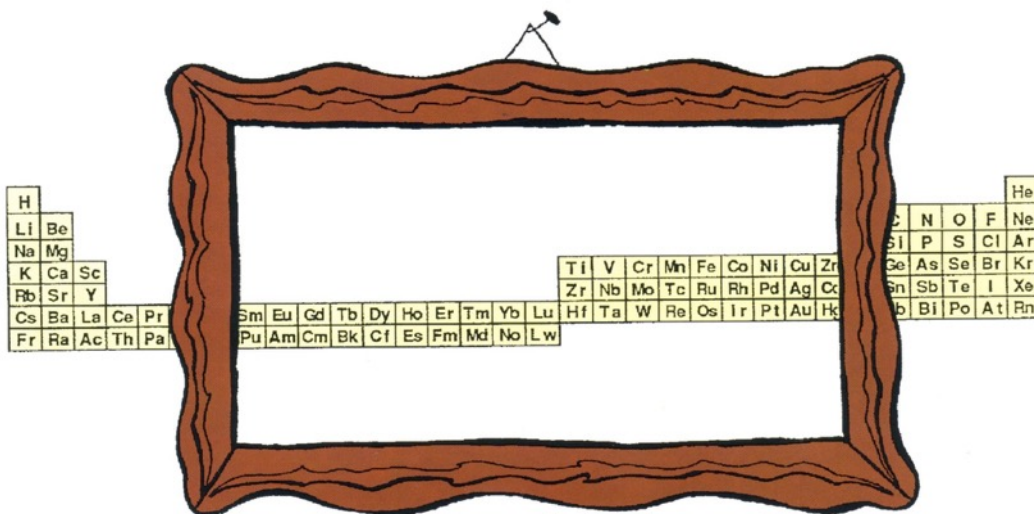
El examen de esta fotografía nos conduce a las constataciones siguientes :

- el peso de los átomos crece con el número de matrícula;
- los individuos situados en una misma columna pertenecen a la misma clase social y poseen un número de brazos idéntico;
- de derecha a izquierda se hallan sucesivamente, los un-brazo, los dos-brazos, los tres-brazos, etc...
- el número de brazos es igual :
- al número de la columna para los señores; a ocho (número sagrado) menos el número de la columna para las damas;
- los caballeros ocupan la parte izquierda de la foto, las damas la derecha inmediatamente antes de la última columna que está reservada a los solterones empedernidos;
- el tamaño de los átomos aumenta, en una misma columna, de arriba hacia abajo.
- por lo que atañe a los señores, su tamaño disminuye en proporción inversa al aumento del número de brazos.

Para su foto de familia, Mendeleiev dispuso este pequeño mundo en una serie de siete escalones, ubicando los más livianos en el nivel superior y los más pesados abajo, de la manera siguiente :

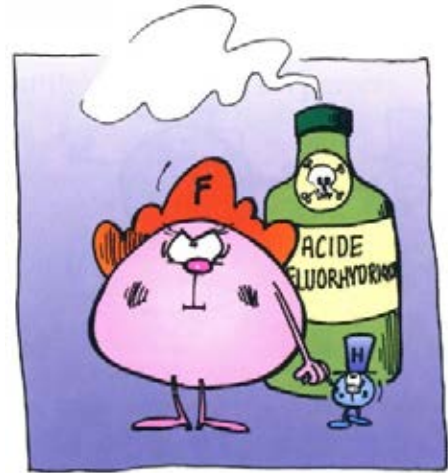
- primer escalón (arriba): 2 personas, señores Hidrógeno y Helio,
- segundo escalón: 8 personas, de Litio a Neón,
- tercer escalón: 8 personas, de Sodio a Argón,
- cuarto escalón: 18 personas, de Potasio a Criptón
- quinto escalón: 18 personas , de Rubidio a Xenón,
- sexto escalón: 32 personas , de Cesio a Radón,
- séptimo escalón (abajo): 32 personas, de Francio a Laurezio.

Desgraciadamente esta disposición no es muy cómoda: los niveles superiores están muy espaciados y es difícil encontrar un marco que tenga una proporción tan poco común como para encuadrar la fotografía.



Estos caballeros poseen una fuerte inclinación por las damas y no se quedan nunca solteros. Frecuentemente se enlazan con las señoritas Flúor y Cloro, dos damas influyentes de su misma clase social, para formar las parejas NaCl (halita) y KCl (sylvina), bien conocidas por los coleccionistas de minerales; o el peligroso HF (ácido fluorídrico). Las dos principales representantes femeninas de esta clase son muy vaporosas¹ y muestran a cierta tendencia a la gordura, son seductoras y muy agresivas y prácticamente no se quedan nunca solteras.

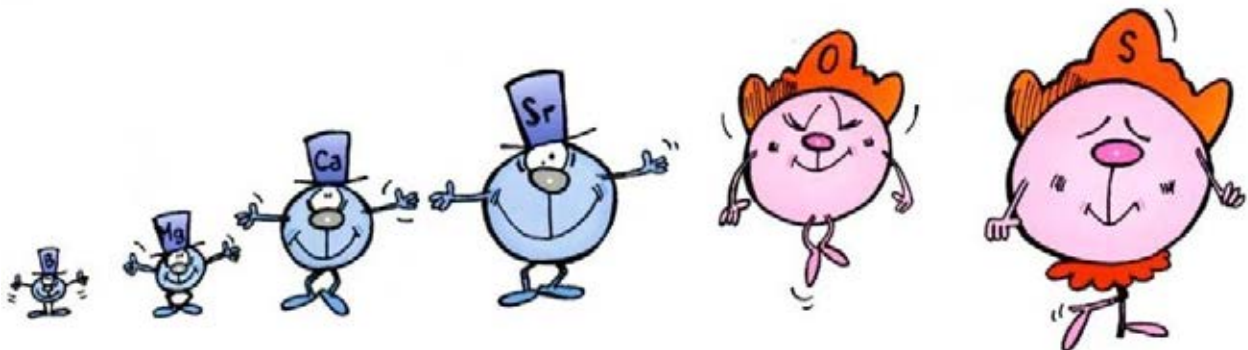
La peligrosa pareja ácido fluorídrico



La clase de los dos-brazos

Si bien menos fundamentalistas que los un-brazo, los dos-brazos constituyen sin embargo una clase muy unida. Los señores tienen también aspecto de metal con escasa densidad, pero su punto de fusión es ya más elevado que el de sus vecinos los un-brazo. Es a esta clase de los dos-brazos a la que pertenece la señora Oxígeno quien, como veremos luego, es la que arregla la mayoría de los casamientos del país. Doña Azufre es un poco menos entusiasta que su antedicha vecina y a veces muestra tendencias andróginas, no obstante tiene una discreta atracción por los señores Hierro, Plomo, Zinc y Cobre, amigos pertenecientes a otra clase social, con los que contrae alianzas que los mineralogistas han bautizado pirita (FeS_2), galena (PbS), blenda (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2).

Además de la omnipresente señora Oxígeno, esta clase aporta igualmente dos personajes que juegan un papel muy importante en la corteza terrestre: los señores Magnesio y Calcio. Cabe aún señalar dentro de esta clase al grácil Berilio y al pesado Bario.



Dos damas importantes forman parte de la clase de los dos-brazos. Sin embargo, la señora Azufre muestra a menudo su lado «andrógino» y aparece entonces como un señorito de 6 brazos.

¹ Existen en forma de gas durante los raros momentos en que permanecen solteras.

La clase de los tres-brazos

Un solo miembro de esta clase juega un papel importante: se trata del señor Aluminio, un muchacho un poco ligero, pero que sin embargo es capaz de crear lazos sólidos con las hermanas Oxígeno. En efecto, a veces se encuentran comunidades constituidas por dos hermanos Aluminio y tres hermanas Oxígeno, conocidas con la sigla Al_2O_3 , que los mineralogistas llaman corindón. Los otros miembros de esta clase son bastante escasos; sin embargo, cabe señalar entre ellos a los andróginos Arsénico y Antimonio.



El señor Aluminio es el único representante importante de la clase de los tres-brazos.

La clase de los cuatro-brazos

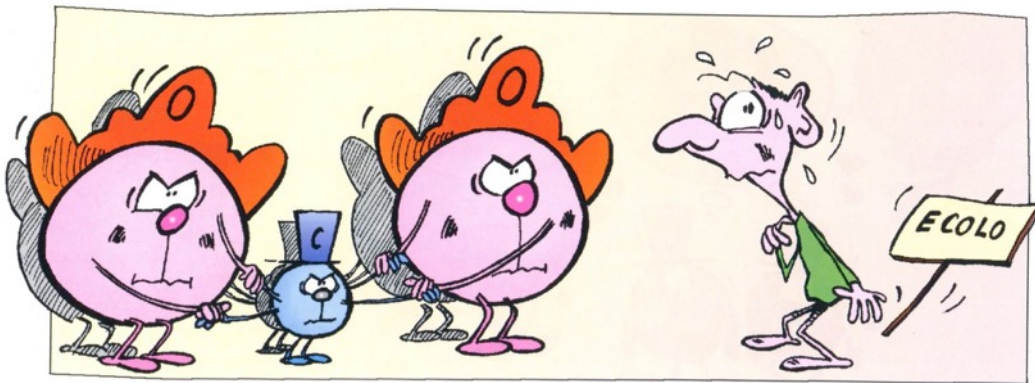
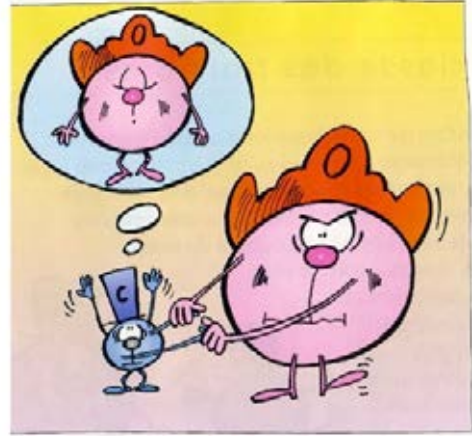
Encontramos en esta clase algunos personajes muy conocidos, especialmente los señores Silicio y Titanio quienes muestran una atracción extrema por las hermanas Oxígeno, formando los tríos SiO_2 (el cuarzo) y TiO_2 (el rutilo).



En la clase cuatro-brazos se encuentran personajes muy conocidos

Hay también un personaje bastante original: el patriarca Carbono. Muy polivalente, puede quedarse soltero o ligarse a doña Oxígeno para formar una unión incompleta, la peligrosa pareja CO, que puede asfixiar a quien no sea suficientemente desconfiado de ella.; o el trío CO₂ que preocupa tanto a los ecologistas actualmente.

La pareja CO es muy peligrosa y puede asfixiarnos si no somos lo suficientemente desconfiados. Aspira a seducir a una segunda señorita Oxígeno..



...para formar el trío CO₂ que da tanta preocupación a los ecólogos

El Carbono es también uno de los principales accionistas de las compañías de hidrocarburos y ¡al mismo tiempo está fuertemente comprometido con la organización de la vida!

¡El patriarca Carbono está involucrado en el origen de la vida !

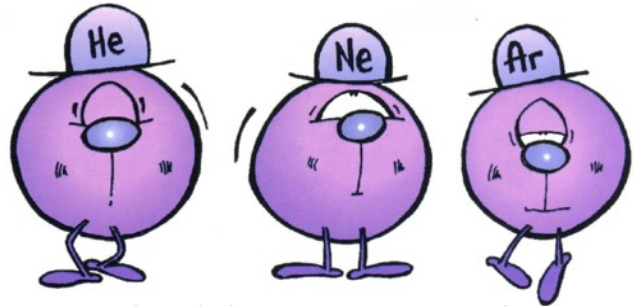
El patriarca Carbono juega un papel muy importante : muy a menudo juguetea con el pequeño hidrógeno formando pequeños grupos, largas farándulas o anillos, que forman el tan cortejado club de los hidrocarburos. Este club se puede agrandar por la admisión de otros miembros, en particular los hermanos Nitrógeno y las hermanas Oxígeno, para constituir grupos más importantes conocidos bajo el nombre de moléculas orgánicas. Estas asociaciones son muy importantes por encontrarse en el origen de la vida.



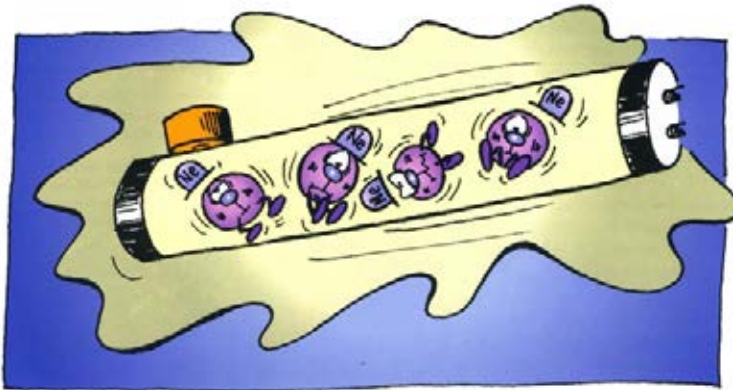
La farándula de butano C_4H_{10} pertenece a la grande sociedad de hidrocarburos

La clase de los sin-brazos

Es una clase aparte, muy sectaria, en la cual sus miembros nunca se enlazan con nadie. Estos solterones empedernidos, poco numerosos, son gaseosos a temperatura ambiente y se los llama "Gases raros". El más conocido de ellos, el Neón, puede ser excitado por descargas eléctricas en el interior de un tubo de vidrio desprendiendo una luz rojiza: son los tubos fluorescentes, comúnmente utilizados para los carteles luminosos publicitarios.



Los sin-brazos son muy sectarios; son solterones empedernidos que no se unen



Sometidos a vigorosos electrochoques, los hermanos Neón emiten una luz rojiza

Las otras clases sociales

Son mucho menos estrictas y estructuradas que las precedentes, y los individuos que las componen son muy poco atados a tradiciones rigurosas. Entre ellos no hay ninguna dama. Todos tienen propiedades de metales, su densidad es más bien elevada y frecuentemente conservan uno o varios brazos en sus bolsillos que no sacan salvo en ciertas ocasiones. No todos muestran un gran entusiasmo por el matrimonio y pueden aún quedarse solteros por bastante tiempo. Muchos de ellos son bien conocidos por los servicios que ofrecen a los terrestres; por ejemplo, los señores Hierro, Cobre, Níquel, Manganeso, Plata, Oro, Platino y muchos otros.

Las bodas en el País de los Átomos

El matrimonio es la regla en el país de los átomos; casi todo el mundo está ligado a uno o varios otros átomos, lo más frecuentemente por intermediario de la agencia matrimonial de las hermanas Oxígeno, quienes poseen un casi monopolio en este asunto. Sólo los solterones empedernidos - los gases raros - así como algunos aristócratas, los señores Oro y Platino, escapan a esta imposición. Otros tratan de sustraerse a esta obligación; entre ellos citemos a los señores Azufre, Carbono, Cobre¹. Sin embargo, nunca escapan por largo tiempo al matrimonio y terminan casi siempre por someterse a las costumbres en uso en el País de los Átomos².

Los matrimonios obedecen a algunas reglas simples

- Las uniones posibles son la monogamia, la poligamia, la poliandria, las comunidades.
- Los cónyuges deben poseer, globalmente, tantos brazos masculinos como femeninos.
- Todas las manos deben estar unidas a manos de átomos de sexo opuesto.
- Las parejas o grupos así constituidos reciben el nombre de "cuerpos compuestos". Para identificarlos se los designa con la lista de símbolos de los cónyuges asociados, cada uno disfrazado con un número dígito que indica cuántos son. Muy frecuentemente, también se les atribuye un nombre patronímico particular.

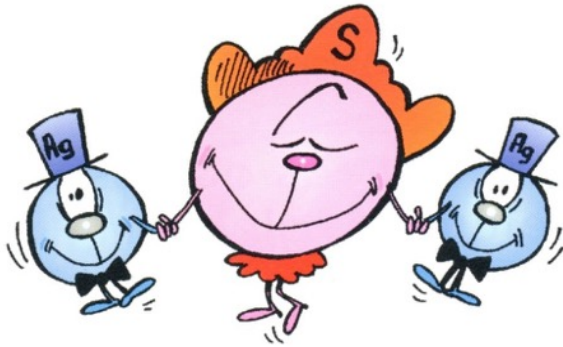
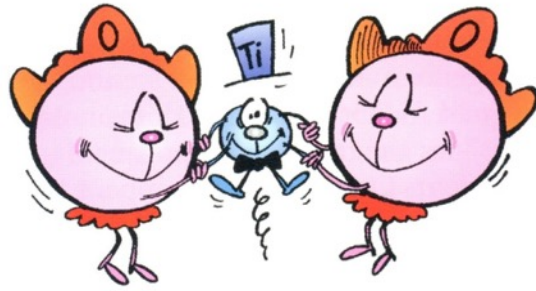


El señor Sodio es monógamo: su única mano toma firmemente la de la señora Cloro.

1 Se llaman "elementos nativos" a las sustancias naturales constituidas de un solo elemento. Entre ellos mencionaremos al oro, el platino, el cobre, el carbono (diamante, grafito).

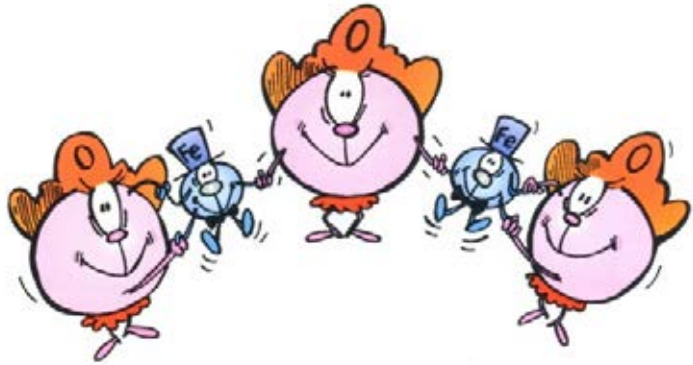
2 Para su uso personal, los terrestres obligan a ciertas familias de átomos a divorciarse o a quedarse solteras. De esta forma han sometido a las familias Hierro, Cobre, Plomo, Zinc y muchas otras. Pero las hermanas Oxígeno están al asecho y, disimuladamente, minan los esfuerzos de los terrestres; obligan al hierro a oxidarse, al cobre a recubrirse de un verde grisáceo, y oxidan el zinc y el plomo.

El señor Titanio es polígamo; unido a dos hermanas Oxígeno forman TiO_2 , conocido por los mineralogistas con el nombre de rutilo.



La poliandria también existe. Aquí la señorita Azufre ha puesto la mano sobre dos hermanos Plata. Los químicos llaman a esta unión sulfuro de plata. Los mineralogistas hablan de argentita.

Pero más frecuentemente los átomos viven en pequeñas comunidades. Acá dos hermanos Hierro se han puesto en concubinato con tres hermanas Oxígeno. Este es el óxido de hierro Fe_2O_3 de los químicos o la hematita de los mineralogistas.

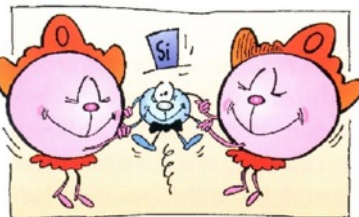


Los certificados de matrimonio

Existe un solo régimen matrimonial en el País de los Átomos: los bienes comunes. Las nuevas propiedades de las moléculas que constituyen estas comunidades son descritas en los certificados de matrimonio que establecen los responsables del Estado civil. Una de las principales características de los cuerpos compuestos es su peso, al que llamamos peso molecular. Se halla fácilmente sumando los pesos atómicos de todos los miembros de la comunidad. En el certificado de matrimonio figuran aún diversos datos tales como los puntos de fusión y ebullición, el peso específico, el índice de refracción y eventuales señas particulares.

Certificado de matrimonio

Ante nosotros han sido unidos en matrimonio: El señor **Silicio** y dos hermanas **Oxígeno**
La comunidad así formada llevará los nombres y símbolos químicos siguientes:



Patronímico : Oxido de Silicio
 Símbolo : SiO_2 ,
 Otros nombres : Sílice, Cuarzo, ópalo, ágata, amatista...

Las propiedades que se desprenden de esta unión son las siguientes:

Peso molecular: 60.08 [grons] Punto de fusión: 1610° [C]

Peso específico: 2.65 [gr/cm³] Punto de ebullición: $\sim 2'500^\circ$ [C]

índice de refracción: 1.54 Dureza : 7

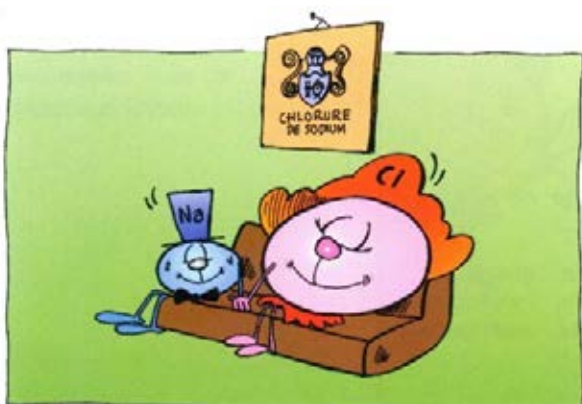
Señas particulares: Unión muy estable, insoluble en ácidos, cristaliza en el sistema romboédrico.

Origine : Uno de los componentes del granito y de los gneis. La desagregación de estas rocas produce la arena de los ríos, lagos y océanos. Los ciclos sedimentarios los transforman en arenisca y cuarcita.

Uso : Materia prima para la industria del vidrio. Es usado en electrónica por sus propiedades piezoeléctrico.

Los nombres patronímicos de las moléculas

Los nuevos nombres de las comunidades matrimoniales son muy pomposos, como en la antigua nobleza. Así, por ejemplo, la pareja designada por NaCl lleva un nombre por partícula: señor y señora Cloruro de Sodio. Se puede constatar que, contrariamente a lo que se estila entre los terrestres, es el nombre de la mujer el que determina el fundamento de la patronimia.



El señor y la señora Cloruro de Sodio llevan un nombre por partícula

Es así que todas las uniones en las que Doña Cloro es una parte importante adoptarán un nombre que comience por "Cloruro de..."; sin embargo, los nombres pueden diferir de una corporación a otra. La abreviación " NaCl " así como el nombre completo "Cloruro de Sodio", son términos químicos, pero los mineralogistas confieren nombres particulares a las sustancias químicas que forman bellos cristales: llaman halita al mineral constituido por NaCl , mientras que en la jerga de los almaceneros y amas de casa se lo conoce más bien con el nombre de sal de mesa..



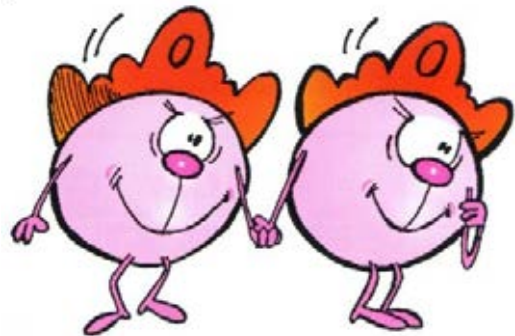
Pero los mineralogistas prefieren halita...



...mientras que los almaceneros y las amas de casa los conocen más bien con le nombre de sal de mesa.

Algunos átomos pueden, a veces, quedarse solteros

Algunos átomos, habitualmente muy inclinados hacia el matrimonio, como las señoritas Oxígeno o los señores Hidrógeno, pueden, si no han tenido la ocasión de encontrar una pareja, vivir cierto tiempo solteros; sin embargo, detestan la soledad y durante su celibato momentáneo se pasean siempre de a dos tomados de la mano. Este es el caso de las hermanas Oxígeno cuando se desplazan en la atmósfera. En este estado se las designa con el símbolo O_2 . A veces, pero más raramente, podemos encontrar a las hermanas Oxígeno unidas de a tres (O_3).



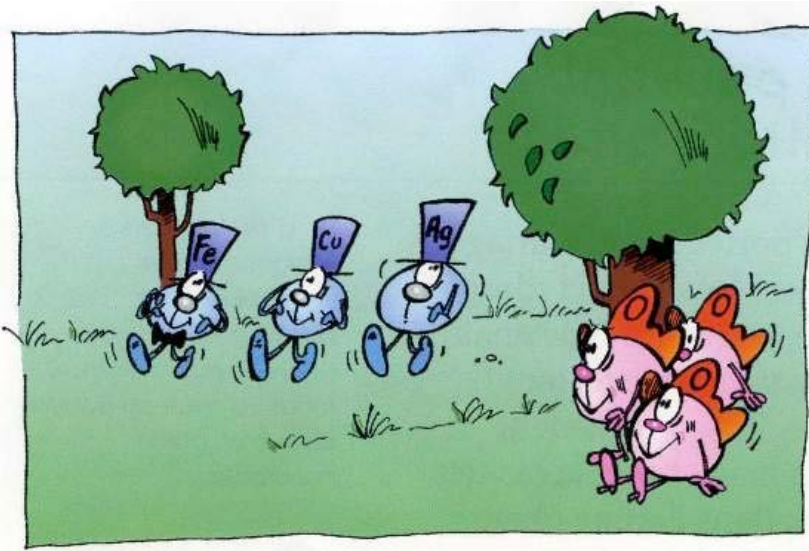
He aquí dos hermanas Oxígeno que se pasean por la atmósfera. Se tienen tomadas de la mano a defecto de no haber encontrado un partido honorable.



*Este último trío preocupa mucho a los terrestres quienes lo han bautizado **Ozono** y se inquietan mucho a causa de su rarefacción creciente en la alta atmósfera.*

Otros átomos pueden aún complacerse de su estado de celibato como en el caso de los señores Cobre, Hierro o Plata quienes pueden pasearse tranquilamente con las manos en los bolsillos.

Este grupo, llamado Ozono, es muy eficaz para filtrar los rayos ultravioletas del sol. Su rarefacción en la alta atmósfera inquieta mucho a los terrestres.

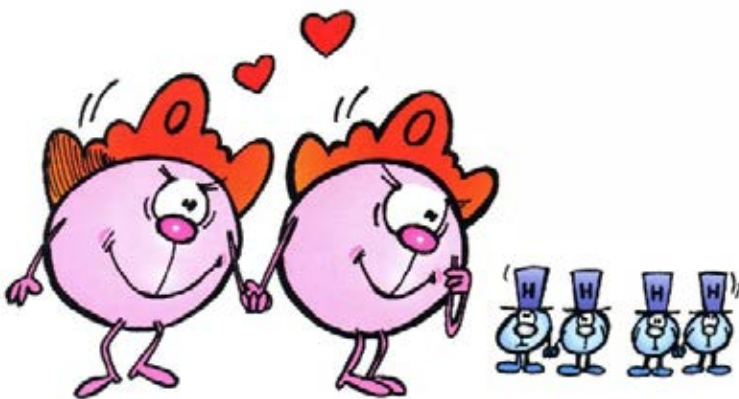
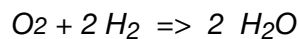


En realidad son los terrestres los que los obligan a quedarse solteros por el uso que les dan. Sin embargo las hermanas Oxígeno están disimuladamente siempre al acecho listas a oxidarlos.

Las hermanas Oxígeno acechan disimuladamente a los átomos solteros

Un encuentro explosivo

Si fortuitamente, unas hermanas Oxígeno encuentran algunos hermanos Hidrógeno que marchan también de a dos, y, siempre y cuando la temperatura ambiente sea suficientemente elevada como para vencer su timidez, caen bruscamente los unos en los brazos de los otros en una violenta explosión de gozo para constituir moléculas que reúnen a una señorita Oxígeno con dos hermanos Hidrógeno. Estos nuevos grupos son muy conocidos con el nombre de H_2O o "molécula de agua". Los químicos, refractarios a la poesía, describen este tipo de historias emocionantes a su manera:

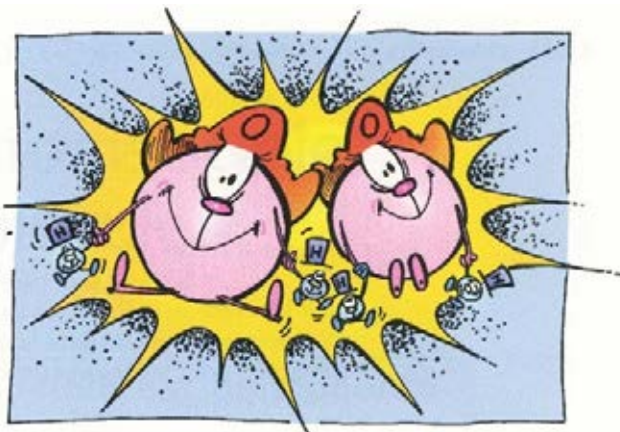


Este ejemplo resalta una característica curiosa de la ceremonia de boda: si la atmósfera es muy calurosa, hay un aumento de la temperatura ambiente con un desprendimiento de calor más o menos importante.

En el curso de un paseo, dos hermanas Oxígeno encuentran unos hermanos Hidrógeno...

En este caso de unión de dos hermanos Hidrógeno con una señorita Oxígeno, el desprendimiento de calor es tal que puede conducir a una fuerte explosión.

Los terrestres provocan uniones de este tipo para obtener temperaturas elevadas, se trata de los sopletes oxhídricos. En casos contrarios, el ambiente puede volverse glacial y todo el mundo se hiela. Los químicos, a quienes les gusta mostrar que conocen bien el griego, hablan de una reacción **exotérmica** cuando hay desprendimiento de calor y **endotérmica** cuando hay enfriamiento.



...el calor ambiente los ayuda a vencer su timidez y, en una gran explosión de gozo, contraen las uniones H₂O bien conocidas por los terrestres con el nombre de moléculas de agua.

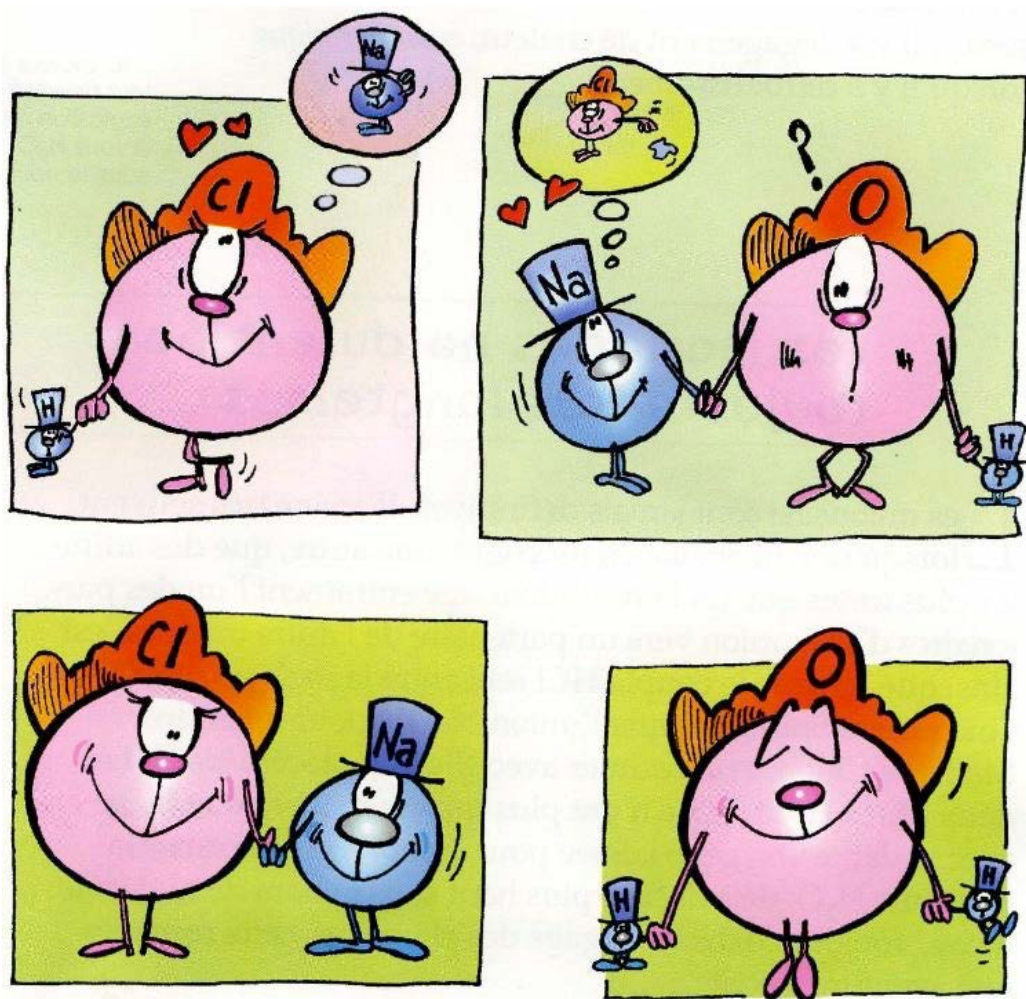
Los matrimonios no duran siempre mucho tiempo

Las uniones no son jamás definitivas. Frecuentemente ocurre que cuando una molécula se encuentra con otra, una afinidad más fuerte que el vínculo matrimonial atrae a uno de los cónyuges de una pareja hacia uno de la otra. Así, cuando la pareja HCl se encuentra con la molécula NaOH, el inconstante Sodio abandona la unión NaOH para unirse a doña Cloro y formar con ella la molécula NaCl. A los dos hermanos Hidrógeno no les queda otra que ponerse en concubinato con la señora Oxígeno, previamente abandonada, para formar la molécula H₂O descrita más arriba con el nombre de molécula de agua. En el lenguaje de los químicos esta romántica aventura se escribe:

Acido clorhídrico + Soda cáustica => Cloruro de sodio + agua

o en resumen: $HCl + NaOH \Rightarrow NaCl + H_2O$

A este tipo de aventuras las llaman prosaicamente ¡"reacción química" !



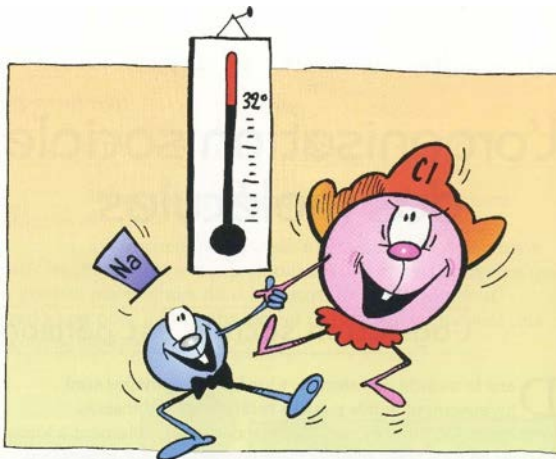
En el curso de un paseo, la pareja HCL se encuentra con el trío NaOH. ciertas ideas de cambio se gestan en sus espíritus... doña Cloro y el señor Sodio se arreglan en una nueva pareja confiando el cuidado de los dos Hidrógenos a doña Oxígeno con quien se entienden muy bien.

Los terrestres son expertos en el arte de provocar divorcios y de forzar a los átomos a formar uniones nuevas que no siempre existen en la naturaleza; todo ello para su propio confort y necesidades industriales. A esto o llaman Química aplicada.

La organización social en el mundo de los átomos

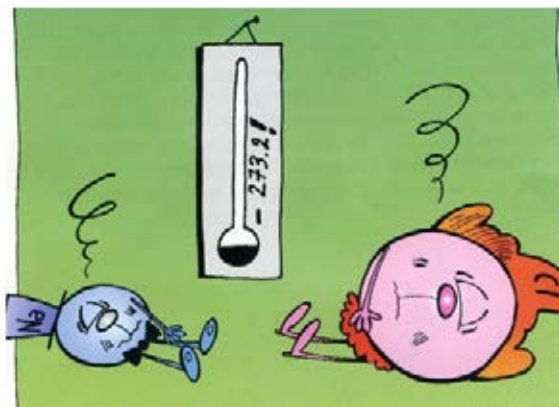
La agitación social es permanente

En el mundo de los átomos todos los personajes se encuentran graciosamente animados por incesantes movimientos danzantes; algunos, incluso se desplazan infatigablemente a toda velocidad y en todas direcciones rebotando contra sus congéneres u obstáculos que se les interponen. Este estado de agitación es permanente, pero al contrario de los terrestres que se agitan y patean el suelo para calentarse cuando hace frío, los habitantes del Mundo de los Átomos se agitan tanto más cuanto más calor hace. La agitación de los átomos disminuye cuando la temperatura desciende y caen en estado de letargo cuando la temperatura se aproxima a $273,2^{\circ}$ bajo cero. Esta temperatura extrema es llamada cero absoluto. Los físicos han demostrado que es imposible obtener una temperatura inferior a este límite



Cuando más calor hace más se agitan los átomos

El frío los inmoviliza. Alrededor de -273° [C], caen en letargo.



El instinto gregario induce a las Moléculas a reunirse en clanes

Las moléculas similares, así como los raros átomos solteros de una misma familia, tienen una fuerte tendencia a agruparse en clanes diferentes. Existe una verdadera fuerza de atracción que empuja a átomos y moléculas iguales a hacinarse unas contra otras. Los clanes así formados presentan una alta densidad de población si su estado es líquido o sólido; mientras que la densidad es baja si se trata de un gas. Por ejemplo, un rubí¹ de 20 quilates (4 gr. y 1 cm³) es un clan que reúne alrededor de 20.000 millares de millares de moléculas de Al₂O₃ apretujadas unas contra otras. Un centímetro cúbico de agua engloba 34.000 millares de millares de moléculas de agua, mientras que un centímetro cúbico de vapor de agua no contiene "más que" 28 millares de millares de esas mismas moléculas, o sea, alrededor de 1200 veces menos.

Las tres clases de clanes²

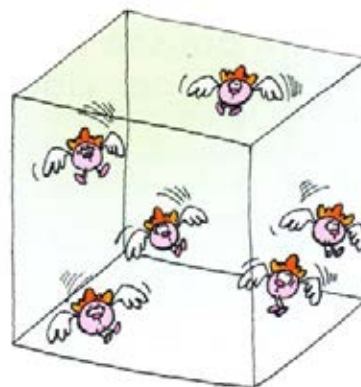
Cada uno puede constatar que, a presión ordinaria, el clan H₂O (agua) existe bajo forma líquida entre 0° y 100°; bajo forma gaseosa por encima de 100° (vapor de agua), y bajo forma sólida por debajo de 0° (hielo). Cabría preguntarse: ¿Qué es lo que condiciona la existencia de un estado determinado más que otro? La respuesta se halla en el comportamiento social de los átomos y moléculas. Tomemos como ejemplo la molécula de H₂O:

1. Por encima de 100° las moléculas de agua se agitan y atraviesan el espacio a gran velocidad rebotando unas con otras y contra diversos obstáculos. La fuerza de atracción entre las moléculas es muy débil para detenerse mutuamente cuando pasan en su loca carrera unas cerca de otras: es el **estado gaseoso**.

2. Cuando la temperatura baja, la velocidad de las moléculas disminuye y, en un momento dado, la fuerza de atracción logra mantenerlas pegadas unas con otras sin, no obstante, llegar a asignarles un emplazamiento fijo: es el **estado líquido**. Aquí las

moléculas están constantemente agitadas y se desplazan y basculan en una multitud de moléculas idénticas sin buscar demasiado escapar a esta concentración; pero hace falta un recipiente para retener una cantidad considerable, pues la fuerza que las mantiene juntas es apenas suficiente para permitirles constituir pequeñas gotas.

El estado líquido: las moléculas se enganchan débilmente unas con otras. Es necesario un recipiente para contenerlas



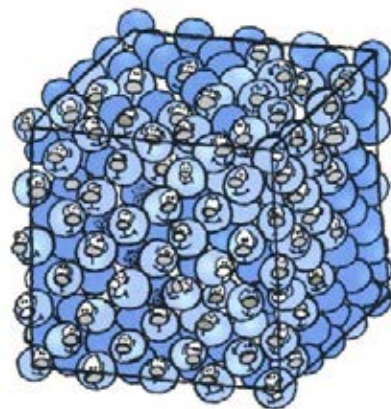
El estado gaseoso: las moléculas se desplazan a gran velocidad rebotando contra los obstáculos que encuentran.

1 Variedad preciosa de corindón de color rojo.

2 Los físicos hablan de tres estados de la materia.

3. Cuando la temperatura baja aún más, la agitación de las moléculas disminuye y la fuerza de atracción logra mantener a cada una en un lugar fijo: es el **estado sólido**. Pero siempre nerviosas, continúan a agitarse en su sitio en una suerte de vibración sin poder, sin embargo, abandonar el lugar que les ha sido asignado.

Es realmente necesario que la temperatura se aproxime a $273,2^{\circ}$ bajo cero para que la agitación cese por completo y que caigan en estado letárgico.



El orden reina en el estado cristalino

El estado cristalino

Cuando los átomos o moléculas se reúnen para constituir un sólido, no se inmovilizan en cualquier sitio sino que lo hacen en emplazamientos bien precisos que determinan una configuración geométrica general que se repite, siempre idéntica a sí misma, en las tres direcciones del espacio. Este estado ordenado de la materia sólida se llama estado cristalino.

Prácticamente, todas las sustancias minerales sólidas se encuentran en estado cristalino. Solamente los vidrios y los plásticos son la excepción no presentando una estructura atómica ordenada. En este caso se habla de estado amorfo.

Si tomamos como ejemplo la pareja NaCl, constatamos que doña Cloro y don Sodio se inmovilizan alternativamente a lo largo de las aristas de un cubo imaginario. Esta disposición se refleja en la forma de los cristales de NaCl (o sal de mesa); en efecto, se puede evidenciar observando con una lupa los depósitos de sal resultantes de la evaporación lenta de una solución de agua salada: ¡se ven pequeños cubos!

Lo más notable del estado cristalino es que la noción de matrimonio cambia de sentido. Se forma una superpoblación que reúne miríadas de uniones matrimoniales idénticas y donde todos los átomos presentes constituyen una inmensa comunidad hecha de millares de millares de átomos, pero en una proporción que es siempre la misma que en la molécula original. Así por ejemplo, en un cubo de sal de mesa de un centímetro de arista, se cuentan 22.500 millares de millares de átomos de Cloro así como un número idéntico de átomos de Sodio.



Halite (NaCl)

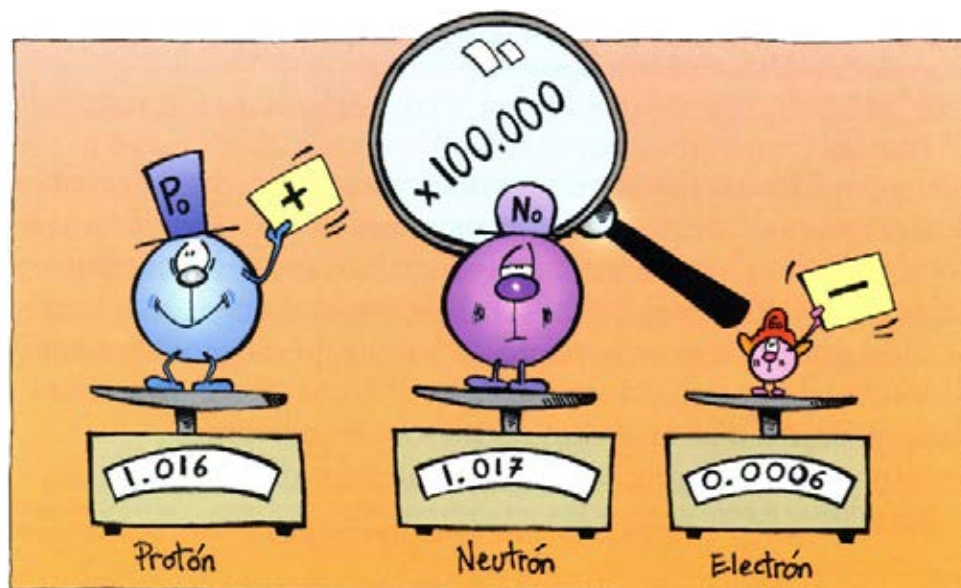


La anatomía de los átomos

Los diversos órganos de los átomos

Los físicos que han estudiado la anatomía de los átomos, han descubierto que éstos están constituidos esencialmente de electrones, pequeñas partículas extremadamente livianas - pesan alrededor de 0,00054 gron - cada una portadora de una carga eléctrica negativa. Agitados al máximo, los electrones recorren, en una ronda vertiginosa, órbitas muy diversas alrededor de un núcleo central infinitamente pequeño que constituye el corazón del átomo. El volumen groseramente esférico definido por las órbitas exteriores de los electrones constituye el volumen del átomo determinando al mismo tiempo su tamaño.

El corazón del átomo está formado por dos clases de partículas, los neutrones y los protones, que se aglutinan en su centro, mantenidos juntos por fuerzas muy poderosas, formando un núcleo cuyo radio es aproximadamente ¡100.000 veces más pequeño que el del átomo en sí!



Les principaux organes de atomes : le proton montre des caractères masculins, le neutron est un célibataire endurci et le petit électron se comporte comme une dame.

Los constituyentes fundamentales del átomo son entonces:

- El protón, partícula que posee una carga eléctrica positiva y pesa aproximadamente 1 gron (¡ hacen falta 602.200 millares de millares para llegar a un gramo!), lo que corresponde aproximadamente al peso de uno de los hermanos Hidrógeno.
- El neutrón, partícula de peso prácticamente idéntico al del protón, pero sin carga eléctrica.
- El electrón, partícula cerca de 1840 veces más liviana que un protón o un neutrón, poseedora de una carga eléctrica negativa. En reposo, un átomo contiene tantos electrones como protones.

<i>Características de los componentes de los átomos</i>						
		<i>masa</i>	<i>carga</i>	<i>estado</i>	<i>remisión</i>	<i>productos de desintegración</i>
<i>Núcleo central</i>	<i>Protón</i>	<i>1.016</i>	<i>+1</i>	<i>estable</i>		
	<i>Neutrón</i>	<i>1.017</i>	<i>0</i>	<i>inestable¹</i>	<i>18 min.</i>	<i>protón+electrón²</i>
<i>Periferia</i>	<i>Electrón</i>	<i>0.0006</i>	<i>-1</i>	<i>estable</i>		

1 cuando es aislado fuera del núcleo.

2 en realidad hay también emisión de un neutrino, partícula casi indetectable que interesa mucho a los astrofísicos, pero que pertenece al Mundo extraño de las partículas...

Cada familia de átomos se caracteriza por el número de protones y neutrones que forman su núcleo; sin embargo, si bien el número de protones es imperativamente fijo, el de neutrones varía ligeramente entre los diferentes isótopos de una misma familia. Gracias a la gran foto de familia, podemos conocer el número de protones, neutrones y electrones que caracterizan a cada una. Las reglas son las siguientes:

- El número de protones es igual al número de orden de la familia;*
- El peso atómico es igual a la suma de protones y de neutrones;*

como consecuencia:

- El número de neutrones es igual al peso atómico menos el número de orden (o número atómico);*
- El número de electrones es igual¹ al número de protones (o número de orden de la familia).*

Así, si practicamos la autopsia del señor Potasio, encontraremos 19 protones y 20 neutrones aglutinados en su núcleo, y 19 electrones constituyendo la periferia. Estos resultados son consignados en su pasaporte.

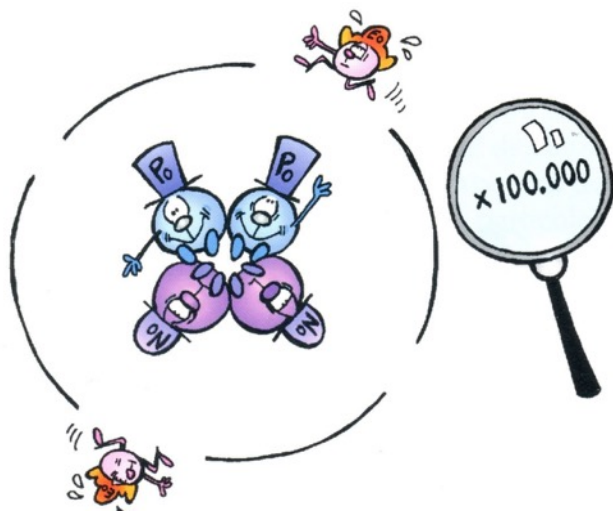


La autopsia del señor Potasio revela la existencia de 19 protones, 20 neutrones, y 19 electrones.

1 ¡Ojo! se trata del número de electrones cuando el átomo está en reposo, no excitado y con todos sus brazos en los bolsillos, caso que ocurre raramente. De hecho, por cada brazo activo, los caballeros pierden un electrón; lo contrario ocurre con las damas: por cada brazo en actividad ganan un electrón.

Los electrones determinan el comportamiento social de los átomos

En sus rondas vertiginosas, los electrones recorren órbitas muy diversas alrededor del núcleo central. La fuerza centrífuga que tiende a alejarlos del núcleo se equilibra con la fuerza de atracción de los protones que los retienen dentro de su zona de influencia.



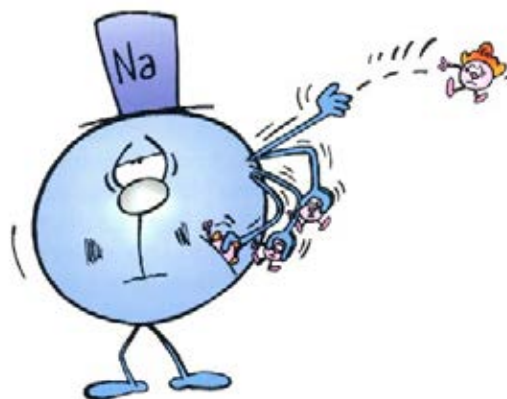
Estructura del átomo de Helio:

el núcleo (aumentado 100.000 veces) está constituido de dos protones y dos neutrones. Dos electrones gravitan a gran velocidad en órbitas alejadas del núcleo.

Los trazados de las órbitas no son al azar, sino que dependen de reglas bastante complejas. A medida que el número de electrones aumenta, los últimos agregados ocupan órbitas cada vez más alejadas del núcleo. El límite exterior de la zona de actividad de los electrones se podría asimilar groseramente a una esfera que constituye, en nuestro mundo imaginario, el tamaño de los átomos.

Las órbitas se pueden agrupar por niveles sucesivos de energía. Descubrimos, entonces, que los átomos aplican el número sagrado ocho¹ a los electrones que se reparten en el nivel más externo; es decir, que los átomos se sienten cómodos cuando tienen ocho electrones en la órbita exterior.

Es así que don Sodio, que no cuenta más que con un solo electrón en su capa exterior, busca deshacerse de él. ¡Esta expulsión tiene como consecuencia hacerle aparecer un brazo y adelgazar un poco!. Su colega Silicio se pasea con cuatro brazos, pues ha debido expulsar cuatro electrones para respetar el número sagrado ocho; mientras que la Señora Cloro, quien posee normalmente siete electrones en su capa externa, prefiere capturar un electrón suplementario para satisfacer la regla del ocho y al mismo tiempo le aparece un brazo. Las hermanas Oxígeno, quienes deben capturar dos electrones para completar su capa externa, pues poseen en ella sólo seis, adquieren en el acto dos brazos.



El señor Sodio expulsa un electrón y saca un brazo de su bolsillo. Es ahora un catión.

¹ Los señores Hidrógeno y Helio son casos particulares: ¡veneran al número 2!



Los átomos que capturan electrones son damas. Los químicos los llaman aniones. Por cada electrón capturado ganan un brazo y unos quilitos demás.

*¡Tanto las damas Cloro como Oxígeno engordan un poco en este trance!*¹

Los átomos que han capturado electrones suplementarios poseen un exceso de cargas negativas igual a su número de brazos. Los químicos los llaman aniones y en el Mundo de los Átomos son las damas.

Los que han expulsado electrones han ganado un exceso de cargas positivas igual a su número de brazos. Los químicos los llaman cationes y corresponden, en el Mundo de los Átomos, a los caballeros.

Se constata, entonces, que son los electrones los que determinan el comportamiento social de los átomos²: tamaño, número de brazos, sexo, mayor o menor afinidad por el matrimonio.

Los electrones son "granos" de electricidad

En un cable eléctrico, los hermanos Cobre son mantenidos por los terrestres en estado de celibato. En esta condición están obligados a tenerse por las manos y el electrón que deberían haber expulsado circula libremente entre ellos. Los terrestres han desarrollado diversas bombas de electrones: pilas, baterías, dínamos, alternadores, que hacen circular estos electrones libres: es la electricidad. La corriente eléctrica no es otra cosa que el desplazamiento forzado de los electrones en un conductor metálico. Si se desplazan siempre en la misma dirección, es una corriente continua; si, en cambio, no hacen más que ir y venir bajo el impulso de un alternador es corriente alterna. De esto se deduce que el electrón puede ser considerado como un germen unitario de electricidad.

En cuanto al núcleo en sí, constituido de protones y neutrones, es el responsable del peso del átomo y además del origen de dos enfermedades genéticas que afectan a ciertas familias de átomos: el **desgaste radiactivo** y la **fisión nuclear**. Ambas serán descritas en capítulos siguientes.

¹ La captura de electrones hace engordar al átomo; y la sección de los mismos los hace adelgazar.

² O sea, todas las propiedades químicas así como la mayoría de las propiedades físicas.



*Los generadores eléctricos son "bombas de electrones":
hacen circular los electrones libres de los átomos metálicos.*

El número ocho, las damas, los caballeros y los otros

Hay una relación estrecha entre la necesidad de expulsar o captar electrones y las tendencias afectivas de los átomos. Esta relación se puede resumir a través de las reglas siguientes:

1. *Los átomos que expulsan electrones son varones y adquieren tantos brazos como electrones pierden (los químicos los llaman cationes).*
2. *Los átomos que captan electrones son damas y poseen tantos brazos como electrones han capturado (los químicos los llaman aniones).*
3. *Los átomos que no tienen necesidad de captar ni de expulsar electrones para satisfacer la regla del ocho son los solterones empedernidos; se llaman gases raros y no tienen brazos.*
4. *Ciertos átomos que dudan entre captar o expulsar electrones son tanto damas como caballeros según la solución que adopten para satisfacer la regla del ocho. Se trata de los andróginos.*

La familia Azufre se encuentra en este último caso; cada individuo en reposo posee 6 electrones en su capa externa. Los miembros de esta familia dudan frecuentemente frente a la alternativa siguiente:

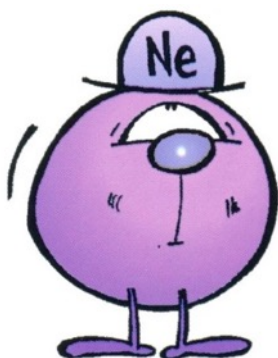
- *sea que capturan dos electrones suplementarios para llegar al número ocho lo que los transforma en robustas damas de dos brazos;*
- *o bien abandonan 6 electrones lo que los transforma en pequeños caballeros con 6 brazos.*



*El señor Aluminio
es un catión*

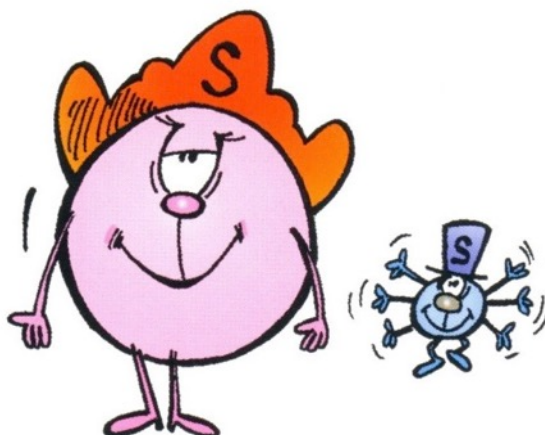


*Doña Oxígeno
es un anión.*



Ni catión ni anión, el hermano Neon se queda aislado del mundo.

A veces anión, a veces catión, el señor (o señora) Azufre es andrógino



Protones y neutrones

La masa de los electrones no sobrepasa jamás 0,05% de la masa total del átomo. Esto significa prácticamente que la casi totalidad de la masa se concentra en los protones y neutrones encerrados en el núcleo central de cada individuo, el cual es cerca de 100.000 veces más pequeño que el átomo en sí.

Lo que caracteriza a una familia de átomos es el número de protones; por ejemplo, los miembros de la familia Carbono tienen siempre 6 protones, los de la Cobre 29, y los de la Uranio 92. Este número corresponde al número de matrícula o número atómico.

Los neutrones acompañan siempre a los protones. Solamente el diminuto Hidrógeno no tiene ninguno. Todas las otras familias encierran un número de neutrones casi igual o ligeramente superior al de protones para las familias más livianas. Los átomos más pesados contienen más neutrones que protones en una proporción que puede ir hasta una vez y media el número de protones.

En algunas circunstancias, un neutrón¹ puede transformarse en protón después de haber expulsado un electrón. No se trata aquí de un electrón de los que gravitan alrededor del núcleo, sino de un electrón² que pertenecía a la estructura misma del neutrón. Más adelante veremos la significación de este tipo de comportamiento.

Los isótopos

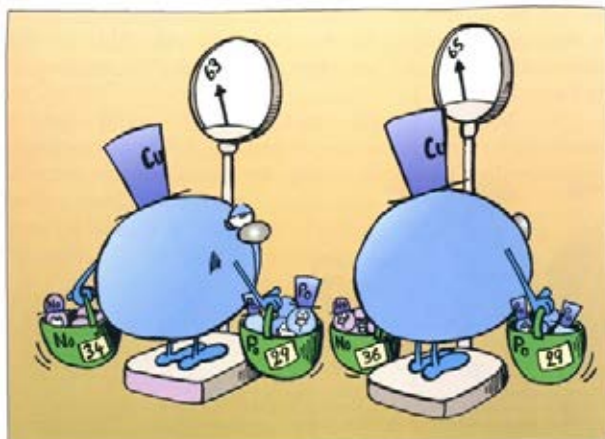
En ciertas familias el número de neutrones puede variar de un individuo a otro; por ejemplo, los miembros de la familia Cobre tienen todos 29 protones, pero algunos de ellos poseen 34 neutrones y otros 36. A nivel químico, sus propiedades son absolutamente idénticas; lo que difiere es su

¹ Se trata de un neutrón fuera del núcleo.

² Hay también emisión de un neutrino, partícula casi indetectable que interesa mucho a los astrofísicos.

peso atómico: algunos átomos de cobre pesan 63 grons mientras que otros 65, es decir, son dos isótopos de la familia Cobre que se llaman respectivamente ^{63}Cu y ^{65}Cu . Los isótopos más conocidos por todos son el carbono 14 (^{14}C) que se utiliza para fechar objetos prehistóricos, el cobalto 60 (^{60}Co) usado en medicina y el uranio 235 (^{235}U) utilizado en las centrales nucleares convencionales. Más tarde volveremos sobre ellos.

El cobre que se encuentra en la naturaleza está constituido de 69% del isótopo ^{63}Cu y 31% del isótopo ^{65}Cu . El peso atómico del cobre que figura en la gran foto de familia es una media ponderada de los respectivos pesos del ^{63}Cu y ^{65}Cu . Por esta razón, el peso atómico que figura en el pasaporte de la familia Cobre no es un número entero sino fraccionario: 63,54¹



Ciertos miembros de la familia Cobre "no valen lo que pesan": les faltan neutrones.

Dentro de muchas familias de átomos se hallan isótopos, pero en la mayoría de ellas hay un isótopo fuertemente dominante siendo los restantes raros o a veces aún extremadamente raros.

Más profundamente aún hacia el interior del núcleo

Si bien los anatomistas del extraño Mundo de los Átomos se contentan con describir los electrones, protones y neutrones en su conjunto, ciertos terrestres, animados de una curiosidad insaciable, intentan conocer la constitución íntima de estas partículas. A través de medios muy poderosos, diseccionan los núcleos de los átomos para conocer su arquitectura. Uno de los laboratorios en los cuales se efectúan estas experiencias es el CERN -abreviación de Centro Europeo de Investigación² Nuclear- cerca de Ginebra.

Pero todo esto es otra historia que podría ver la luz si, mejor inspirados todavía que Gulliver, pudiéramos introducirnos en ¡El Extraño Mundo de las Partículas!

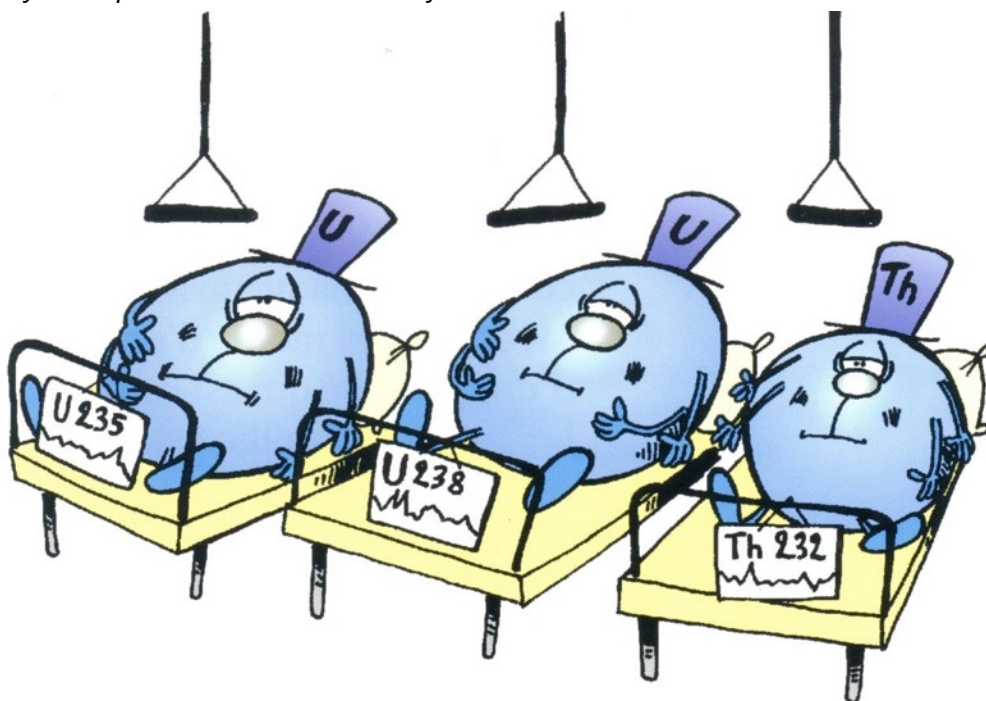
1 Peso medio ponderado del ^{63}Cu : $62.9298 \times 69.09\%$ = 43.4781
 Peso medio ponderado del ^{65}Cu : $64.9278 \times 30.91\%$ = 20.0691
 Peso atómico medio de la mezcla natural de $^{63}\text{Cu}/^{65}\text{Cu}$ = 63.5473

2 En francés Recherche (investigación), de allí la sigla CERN. Hoy en día, debido a la profundización en el estudio de las partículas y experiencias con aceleradores lineales altamente poderosos, ha pasado a llamarse Laboratorio Europeo para el Estudio de las Partículas (nota del traductor).

El desgaste radiactivo, una enfermedad genética de los átomos

Algunas familias de átomos son atacadas por una enfermedad genética que afecta su núcleo (protones y neutrones) y que los físicos llaman "desgaste radiactivo".

Dicha enfermedad incide particularmente en las familias Uranio y Torio, así como en algunas otras de menor importancia. Ciertos isótopos raros de familias muy conocidas son también el resultado de esta enfermedad; ellos serán mencionados más adelante en virtud del interés que suscitan en el mundo de los terrestres. La evolución de esta afección suele ser más o menos rápida según la familia; por ejemplo, ha sido fulminante para las familias Tecnecio y Prometio que han sido diezmadas y hoy han desaparecido completamente de nuestro ambiente. Al contrario, la evolución es muy lenta para las familias Uranio y Torio.



La enfermedad afecta particularmente a las familias Uranio y Torio

El triste caso de la familia Uranio

El caso de la familia Uranio es muy típico; veámoslo en detalle: los miembros de esta familia poseen todos 92 protones. La mayoría de ellos (99,3 %) cuentan con 146 neutrones, es el ^{238}U ; los otros (0.7%) tienen sólo 143, es el ^{235}U . Los dos isótopos son afectados por el desgaste radiactivo, pero la velocidad de evolución de la enfermedad es diferente para cada uno de ellos.

Rapidez evolutiva de la enfermedad

No es posible determinar la evolución de la enfermedad para un átomo en particular; al contrario, se puede seguir estadísticamente el comportamiento de una comunidad de átomos en cuyo seno el desgaste radiactivo se produce en forma aleatoria. En el extraño País de los Átomos se llama remisión al tiempo necesario para la desaparición de la mitad de los individuos de la comunidad (los físicos hablan de vida media). Por lo tanto se puede diagnosticar que la enfermedad es responsable de la desaparición:

- de la mitad de la comunidad de ^{238}U cada 4,5 millares de años,
- de la mitad de la comunidad de ^{235}U cada 710 millones de años¹

La evolución de la epidemia es en sí muy curiosa: en todo momento los integrantes de la comunidad saben que la mitad de entre ellos van a ser afectados en el curso de un período que será de 4,5 millares de años para los hermanos ^{238}U y de 710 millones de años para los ^{235}U .

Los síntomas

Tomemos el caso del ^{238}U : todo comienza por una súbita convulsión interna seguida por vómitos de diversos productos procedentes del núcleo. Entre estos productos, que son los constituyentes de la radiactividad, encontramos:

- las partículas "alfa" [α], constituidas cada una de dos protones y dos neutrones¹;
- las partículas "beta" [β], que son electrones (formados en el núcleo por la tras-formación de un neutrón en protón);
- los rayos "gama" [γ], que son rayos X muy poderosos.

Estas emisiones² se acompañan de una transmutación del pobre ^{235}U en un individuo marginal (un isótopo raro e inestable) de otra familia que luego de varias recaídas y de haber transitado, entre dos crisis, por diversas otras familias, termina por transmutarse definitivamente en un isótopo estable de la familia Plomo: ^{206}Pb .



Una partícula α está constituida por dos protones y dos neutrones. Es un núcleo de un átomo de Helio.

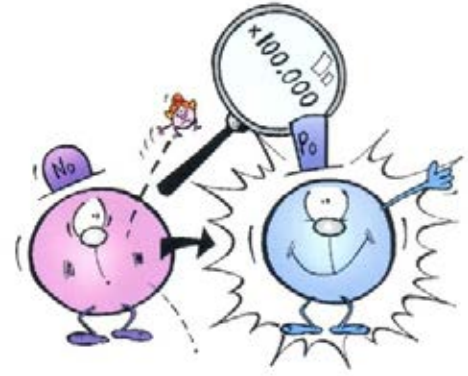
1 Cabe destacar que el U_{235} desaparece mucho más rápido que su pariente U_{238} . Hoy en día no hay más que 0,7% de U_{235} en el Uranio natural, pero esta proporción era de 14% en el tiempo de la formación del sistema solar hace 4,6 millares de años.

1 Es interesante destacar que una partícula α es en realidad un núcleo de un átomo de Helio, He_4 .

2 La emisión de estas partículas y de rayos γ , constituye la radiactividad. Las células vivientes son muy vulnerables a estos rayos que pueden ocasionarles diversas degeneraciones, en particular el cáncer.



Una partícula β es un electrón...



...producido por la transmutación de un neutrón en un protón. Hay también la emisión de un neutrino, partícula todavía muy misteriosa



Los rayos γ son ondas electromagnéticas de muy corta longitud.
Son rayos X extremadamente penetrantes.

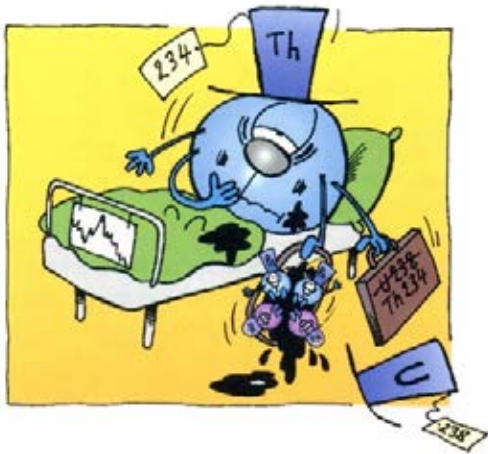
Mecanismo de la enfermedad

La expulsión de una partícula α (2 protones y 2 neutrones) hace perder al átomo enfermo 4 unidades de peso y lo hace retrogradar dos números atómicos en la Gran Ficha¹.

La pérdida de una partícula β (un electrón producido por la transformación de un neutrón en un protón) no causa ninguna pérdida sensible de peso, pero uno de los neutrones se transforma en un protón; por lo tanto el átomo enfermo cambia de matrícula y avanza un sitio en la Gran Ficha.

La pérdida de partículas α y β se acompaña de una fiebre elevada que provoca el desprendimiento de calor y rayos γ . El primer síntoma que ataca al pobre ^{238}U es justamente la pérdida de una partícula α , adelgaza 4 unidades y pasa a pesar 234 grons. Como con la partícula α pierde dos protones, retrograda 2 números en el registro de matrículas (o número atómico) transformándose así en un miembro de la familia Torio (matrícula 90). De todas maneras, no se trata de un miembro habitual de esta familia sino de un isótopo raro e inestable, el ^{234}Th . Muy pronto este pobre ^{234}Th

¹ O sea la tabla periódica



perderá sucesivamente 2 partículas β , lo que lo hará transmutar en Protactinio 234 (^{234}Pa) por algunas horas y luego en ^{234}U (isótopo extremadamente raro de la familia Uranio). Todavía transitará por una decena de familias de átomos antes de que la enfermedad haya terminado su evolución. Los detalles de esta evolución pueden seguirse en la ficha clínica del ^{238}U .

Una fiebre elevada y la expulsión de una partícula α constituyen los primeros síntomas de la enfermedad.

Ficha clínica

Dr. Marie Sklodowska

Apellido del paciente : Uranio

Síntomas : pesadez, vértigos, náuseas

Símbolo : ^{238}U

Diagnóstico : desgaste radiactivo congénito a período congénito a período de incubación prolongado (4,5 millares de años)

Nº de protones : 92

Nº de neutrones : 146

Estado	Símbolo	Peso	Remisión	Emisión	Síntomas
Uranio 238	^{238}U	238		α	pierde un núcleo de He
Torio 234	^{234}Th	234	24 días	β	expulsa un electrón
Protactinio 234	^{234}Pa	234	6 h.45	β	expulsa un electrón
Uranio 234	^{234}U	234	250'000 años	α	pierde un núcleo de He
Torio 230	^{230}Th	230	80'000 años	α	pierde un núcleo de He
Radio 226	^{226}Ra	226	1'600 años	α	pierde un núcleo de He
Radón 222	^{222}Rn	222	4 días	α	pierde un núcleo de He
Polonio 218	^{218}Po	218	3 minutos	α	pierde un núcleo de He
Plomo 214	^{214}Pb	214	27 minutos.	β	expulsa un electrón
Bismuto 214	^{214}Bi	214	20 minutos.	β	expulsa un electrón
Polonio 214	^{214}Po	214	1 segundo.	α	pierde un núcleo de He
Plomo 210	^{210}Pb	210	21 años	β	expulsa un electrón
Bismuto 210	^{210}Bi	210	5 días	β	expulsa un electrón
Polonio 210	^{210}Po	210	138 días	α	pierde un núcleo de He
Plomo 206	^{206}Pb	206	totalmente insensible a la enfermedad		

La fase final da como resultado un átomo de la familia Plomo: ^{206}Pb . Este isótopo es inmune a la enfermedad, estable y no evolucionará más en el curso del tiempo. Resumiendo, la enfermedad provoca en el ^{238}U la pérdida sucesiva de 8 partículas α y 6 partículas β con períodos intermedios de remisión en los cuales toma prestada, provisoriamente, la identidad de otro elemento antes de desembocar en un estado estable de Plomo 206 (^{206}Pb).

Los terrestres han tratado por todos los medios de refrenar la enfermedad, pero todos los estudios que se han hecho llegan a la conclusión de que no es posible ni ralentizar ni acelerar su evolución. De manera inevitable, los dos isótopos naturales de la familia Uranio se transforman en diversos isótopos de la familia Plomo según el proceso siguiente:

- ^{238}U evoluciona hacia el ^{206}Pb con un período de remisión de 4,5 millares de años,
- ^{235}U evoluciona hacia el ^{207}Pb con un período de remisión de 710 millones de años.

Otra familia importante es también víctima de este mismo tipo de enfermedad: la familia Torio;

- ^{232}Th evoluciona hacia el ^{208}Pb con un período de remisión de 14 millares de años.



Después de una larga enfermedad, los miembros de las familias Uranio y Torio han transmutado en miembros de la familia Plomo.

Otras familias son también propensas a la enfermedad

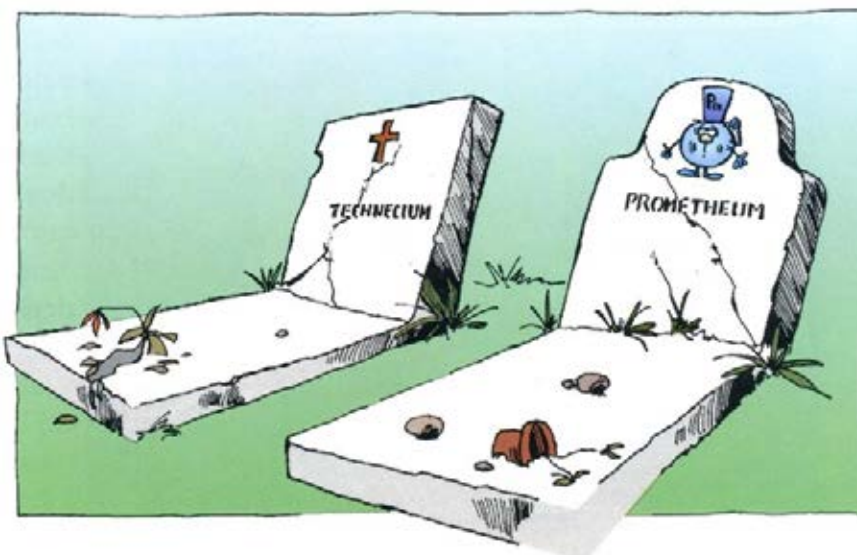
Otras familias hoy desaparecidas han sido víctimas de esta enfermedad. Tomemos por ejemplo el caso de las familias Tecnecio y Promecio mencionadas anteriormente: existían en el momento de la formación del sistema solar, pero por lo que respecta a ellas, la enfermedad ha sido fulminante con un período de remisión de un millón y medio de años para la primera y de dos años y medio para la última;

- ^{98}Tc evoluciona hacia ^{98}Ru con un período de remisión de 1,5 millones de años.
- ^{147}Pm evoluciona hacia ^{147}Sm con un período de remisión de 2,5 años.

Existe también el caso bastante interesante de la familia Radio, la cual debería haber desaparecido hace mucho tiempo dado que en ella la enfermedad es asimismo fulminante:

- ^{226}Ra evoluciona hacia ^{206}Pb con un período de remisión de 1.600 años.

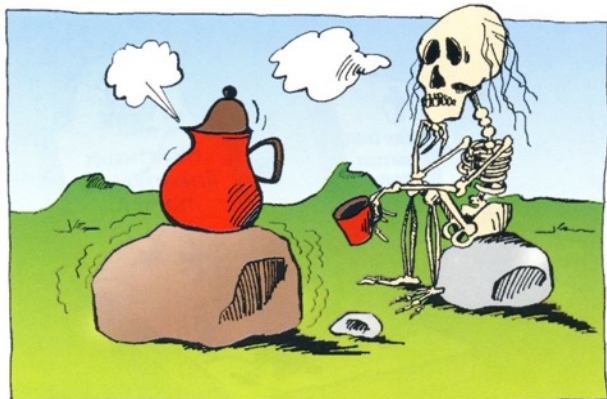
Pero no obstante se encuentran representantes de esta familia dado que ella constituye un estado intermediario de la evolución de la enfermedad del ^{238}U . Esta aparición, por transmutación del ^{238}U , de miembros de la familia Radio les asegura una presencia efímera en el Mundo de los Átomos; los que desaparecen son reemplazados por los que aparecen. Existen aún otros casos, pero no es útil describirlos todos aquí.



Dos familias prematuramente desaparecidas a causa de desgaste radiactivo fulminante

Los geólogos se interesan de cerca en este tipo de enfermedad

Los geólogos terrestres han notado desde hace tiempo que la temperatura de las rocas aumenta a medida que se profundiza hacia el interior de la Tierra. Este aumento de temperatura es en promedio de 3 grados cada 100 metros, siendo más rápido en las regiones volcánicas y más lento en el seno de rocas muy antiguas. El calentamiento está provocado por la llegada a la superficie del globo de un flujo de calor proveniente de la profundidad. Los estudios han demostrado que la mitad del calor que llega a la superficie es debida a la fiebre que acompaña al desgaste radiactivo de los señores Uranio y Torio, personajes omnipresentes, en débiles cantidades, en las rocas de composición granítica.



De esta forma, un cubo de granito de 30 cm. de arista desprende suficiente calor como para producir 6.000 litros de infusión de té... ...eso sí, ¡a condición de esperar 1 millar de años!

La fiebre intensa provocada por la enfermedad desprende calor. La radiactividad encerrada en un bloque de granito de 100 kg. permite preparar un litro de té hirviente...

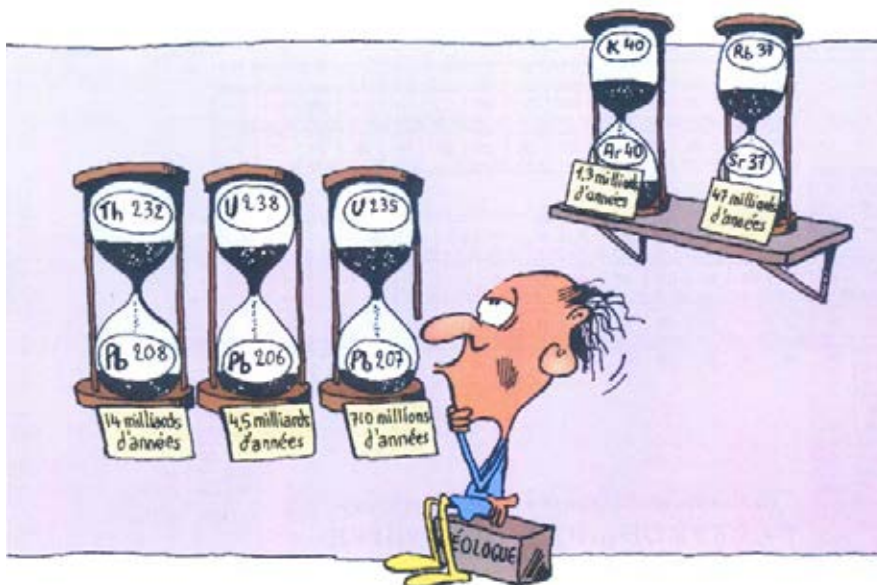
...¡a condición de esperar 200.000 años!

¡Esta cifra parece larga, pero los geólogos tienen el hábito de contar en millares de años y cientos de kilómetros cúbicos! Bajo esta óptica, si calculamos el calor desprendido por un kilómetro cúbico de granito, será el equivalente a ¡600 litros de agua hirviendo por día! El flujo de calor es responsable de los fenómenos volcánicos que generan las rocas eruptivas, causa la lenta deriva de los continentes, provoca la formación de cadenas montañosas y es la causa indirecta de los procesos de metamorfismo.

La rapidez evolutiva de la enfermedad puede servir de cronómetro

Los geólogos han tenido la idea de utilizar la velocidad de evolución de la enfermedad para medir la edad de los minerales y de las rocas. Para esto han seguido el razonamiento siguiente: ^{238}U , ^{235}U , y ^{232}Th encerrados en un mineral en el momento de su formación, se transforman respectivamente en ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb según las leyes conocidas. Es como si se hubieran incluido en el mineral tres relojes de arena en los cuales el bulbo superior estaría lleno de ^{232}Th para el primero, de ^{238}U para el segundo y ^{235}U de para el último. Lentamente, pero a velocidades diferentes, estos átomos se deslizan hacia el fondo de cada uno de los relojes de arena donde se acumulan bajo la forma de ^{208}Pb para el primero, de ^{206}Pb para el segundo y de ^{207}Pb para el tercero.

Las leyes que rigen el vaciado para cada reloj de arena, es decir, la velocidad de transformación de los átomos que contienen, son bien conocidas; por lo tanto, es posible descubrir la edad de formación de un mineral sabiendo medir las cantidades relativas de estos diversos isótopos en él.



La velocidad inmutable de la enfermedad puede servir de cronómetro

La química no puede distinguir entre ellos los diversos isótopos de un mismo elemento. Para ello debe recurrir a un procedimiento físico: la **espectrografía de masa**. En el interior del espectrógrafo de masa los átomos son acelerados y luego desviados de su trayectoria por un poderoso imán; dependiendo, el ángulo de desviación, de la masa de cada isótopo. Un contador especial permite establecer la cantidad relativa de cada uno de ellos.



El espectrógrafo de masa permite separar unos de otros los diferentes isótopos de una misma familia.

Desgraciadamente, el Uranio y el Torio no son elementos siempre presentes en los minerales y las rocas en cantidades suficientes. Por ello, los geólogos se han interesado en ciertos miembros marginales de familias conocidas (algunos de sus isótopos menos abundantes), como los señores Potasio 40 (^{40}K), Rubidio 87 (^{87}Rb) o Carbono 14 (^{14}C), que son propensos a la misma degeneración según los esquemas siguientes:

- ^{40}K evoluciona hacia ^{40}Ca (Calcio) o ^{40}Ar (Argón)¹ con una remisión de 1,3 millares de años,
- ^{87}Rb evoluciona hacia ^{87}Sr (Estroncio) con una remisión de 47 millares de años,
- ^{14}C evoluciona hacia ^{14}N (Nitrógeno) con una remisión de 5.600 años.

Todos estos elementos existen en la mayoría de las rocas. Diversos métodos para la medición de las edades, análogos a los descritos más arriba, han sido calibrados para cada uno de estos isótopos.

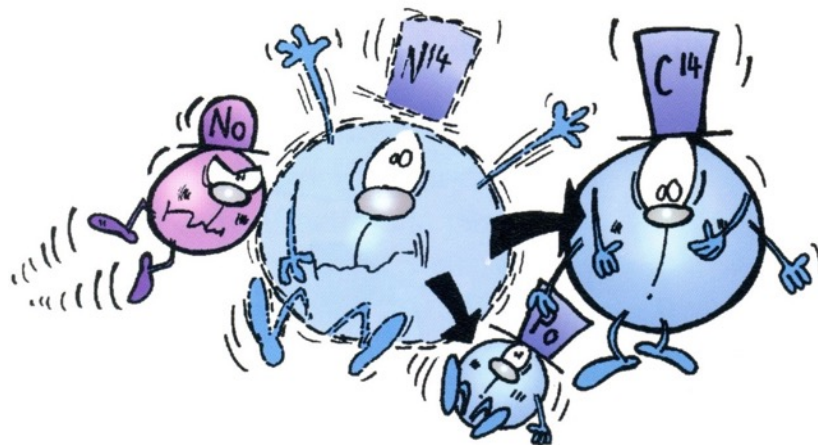
El caso del tío Carbono 14

Todo el mundo ha oído hablar del tío Carbono 14 (^{14}C); es verdaderamente un asilado en la familia Carbono. En lugar de estar constituido de 6 protones y 6 neutrones como todos los miembros de la familia ^{12}C , contienen 2 neutrones suplementarios que aumentan su peso a 14 grons en vez de los 12 habituales.

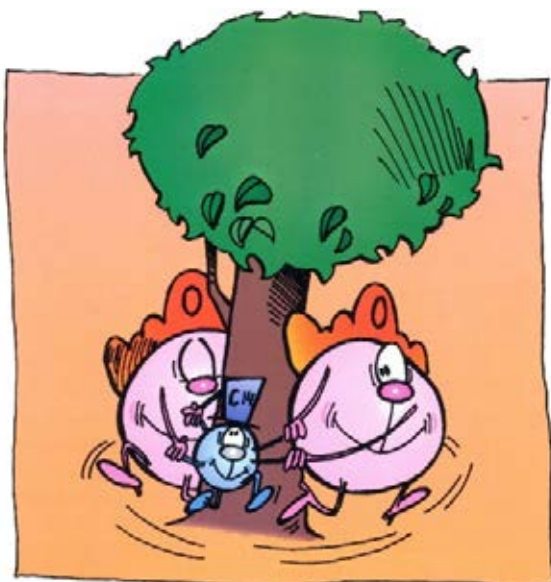
¹ ^{40}K se transforma principalmente en ^{40}Ca , pero también parcialmente en ^{40}Ar . Es esta última transformación la que interesa a los geólogos.

Suele aparecer en la alta atmósfera, región donde abundan los rayos cósmicos¹ que son generadores de neutrones. De tanto en tanto, uno de ellos colisiona el núcleo de uno de los hermanos Nitrógeno (^{14}N), expulsa de él un protón y toma su lugar. De golpe, el maltrecho Nitrógeno transmuta, sin cambiar de peso, en un átomo de Carbono (el isótopo ^{14}C); pero es un pobre ^{14}C enfermo afecto por el desgaste radiactivo con un período de remisión (vida media) de 5.600 años. En la alta atmósfera, donde fue creado, inmediatamente desposa dos hermanas Oxígeno para formar la molécula CO_2 .

Demográficamente, en la atmósfera, el número de hermanos ^{14}C que desaparecen arrebatados por la enfermedad es compensado por los reciente llegados provenientes de la transmutación de los hermanos Nitrógeno; de esta manera, la proporción de ^{14}C en la atmósfera permanece constante.



El Carbono 14 proviene de la transmutación de un átomo de Nitrógeno que absorbió por descuido, un neutrón errante.



Desposa dos hermanas Oxígeno y toma el nombre de gas carbónico. Este trío puede, entonces, ser absorbido por las plantas.

¹ Son restos de núcleos de átomos, principalmente protones, que nos llegan del espacio intersideral; 700.000 de estos proyectiles atraviesan el cuerpo humano cada segundo. La interacción de estos protones con los átomos de la atmósfera producen 2,3 neutrones por segundo y por cm^2 .

Los vegetales absorben CO_2 durante toda su vida. La misma proporción de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ que existe en la atmósfera se encuentra también en la madera; pero después de la tala de un árbol el intercambio de CO_2 con el aire ambiente se interrumpe, el sistema se cierra, y en el interior de la madera muerta los hermanos ^{14}C desaparecen poco a poco sin ser reemplazados por otros. Así, un trozo de madera proveniente de la tumba de un faraón encierra mucho menos ^{14}C que la madera recién cortada. Dado que la vida media del isótopo 14 del Carbono es de 5.600 años, constituye un reloj particularmente bien adaptado para los arqueólogos que les permite medir edades comprendidas entre algunos siglos y 20.000 años más o menos.

El Carbono 14 rinde grandes beneficios a los arqueólogos



Otra enfermedad genética: la fisión espontánea de los átomos

La fisión espontánea de los átomos

Las familias Uranio y torio padecen también de otra enfermedad genética, afortunadamente mucho más rara que el desgaste radiactivo, la fisión espontánea. Esta enfermedad se manifiesta por la ruptura brutal del núcleo del átomo afectado, acompañada de una fiebre colosal. Los dos fragmentos que resultan son proyectados con extrema violencia constituyendo, como etapa final, dos átomos más pequeños.

Felizmente, para los que son propensos a esta afección, el período de remisión es muy largo, ampliamente superior a millones de millares de años, lo que significa que la posibilidad de desaparecer víctimas del desgaste radiactivo, la enfermedad más corriente, es por lo menos un millón de veces mayor que la de ser atacados por la fisión espontánea.



El Uranio 238 puede ser también víctima de la fisión espontánea, una enfermedad felizmente mucho más rara que el desgaste radiactivo.

La fisión inducida de los átomos



El virus es un neutrón.

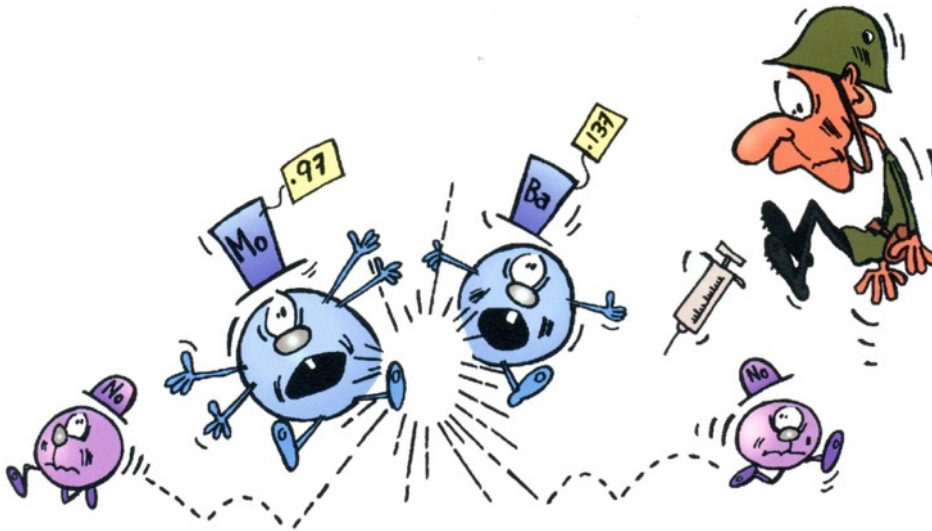
Ni siquiera hablaríamos de esta enfermedad si no fuera porque los terrestres se han percatado de que provoca una fiebre altísima, desprende una cantidad colosal de energía y, sobre todo, de que se puede acelerar su evolución de una manera vertiginosa a voluntad. Es así que los terrestres han logrado inocular esta terrible enfermedad a algunas familias de átomos, principalmente a diversos miembros de la familia Uranio. El virus inoculado es un neutrón que puede ser absorbido por el isótopo ^{235}U siempre y cuando no se desplace muy rápido (se le llama neutrón lento o neutrón térmico).

Mecanismo de la enfermedad



Luego de habérsele inoculado un neutrón, el pobre ^{235}U aumenta un gron de peso transformándose en ^{236}U , un gordo torpe de la familia Uranio que ya no puede mantener reunidas todas las partículas de su núcleo. Como una gota de agua que crece y se divide en dos gotitas más pequeñas, el ^{236}U revienta y se fragmenta en dos átomos más pequeñitos, expulsando al mismo tiempo dos o tres neutrones rápidos.

Con un neutrón de sobrepeso la víctima se vuelve muy inestable...



...y luego se divide en dos átomos más pequeños liberando al mismo tiempo algunos neutrones. Este acceso brutal desprende muchísima energía.

Una consunción incomprensible

Si pesamos los dos nuevos átomos más los dos o tres neutrones liberados, tendremos la sorpresa de constatar que no llegamos justo a los 236 grons que pesaba el paciente ^{236}U antes de su crisis. Es evidente que ha habido una pérdida de un poquito de materia en el curso de esta fisión. Gracias a Einstein, hoy sabemos que esta materia se ha transformado en energía según la famosa relación:

$$E = m \times c^2$$

Lo que significa:

La energía [E] es igual a la masa desaparecida [m] multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado [C²].

¡Esta enfermedad produce alrededor de 200 millones de veces más energía por cada átomo estallado que la que podría producir una molécula en la reacción química más violenta que pueda imaginarse! ¡He aquí un procedimiento muy seductivo para procurarse grandes cantidades de energía!



La enfermedad se acompaña de una ligera pérdida de masa.

Pero ¿en qué se transforman los neutrones?

Inoculando un neutrón en el núcleo del pobre ^{235}U se provoca su fisión, se libera energía y queda un sobrante de 2 o 3 neutrones errantes¹ ¿En qué se transformarán estos neutrones? Son expulsados de la materia a gran velocidad; como son neutros, no son influenciados por las órbitas electrónicas de los átomos que pudieran encontrar en su camino; y, para provocar otra fisión, deberían golpear de lleno un núcleo de ^{235}U . Pero este blanco es muy pequeño y la probabilidad de cruzarse con un núcleo de Uranio para partirlo en dos es extremadamente remota. Por otra parte, los neutrones son afectados ellos mismos de desgaste radiactivo fulminante que los transforma muy rápidamente en un protón más un electrón².

¡No obstante se puede modificar el destino!

Los terrestres son muy astutos y saben modificar la probabilidad de fisión de U^{235} por un neutrón, combinando dos acciones:

- 1. Aumentando la concentración de átomos de ^{235}U . En el Uranio natural extracto de las minas no hay más que 0,7% de ^{235}U contra 99,3% de ^{238}U ; entonces, se procede a su enriquecimiento en ^{235}U en complejas fabricas, aumentando así el número de blancos por unidad de volumen. Para el uso corriente, se lo enriquece generalmente hasta alrededor de 3%. El enriquecimiento puede aumentarse tanto como se desee, pero no se hace efectivamente más que a petición de los militares quienes lo necesitan para ¡usos bien particulares!*
- 2. Ralentizando los neutrones. Los neutrones producidos en una reacción de fisión son muy rápidos como para esperar ensartar en su pasaje otro ^{235}U ; por lo tanto, se los frena, con la ayuda de un moderador, para volverlos más "virulentos". Para ello se colocan en su camino átomos livianos, por ejemplo Hidrógeno, Berilio o Carbono; los choques sucesivos con estos átomos van a aumentar la velocidad de estos, al mismo tiempo que ralentizar la de los neutrones.*

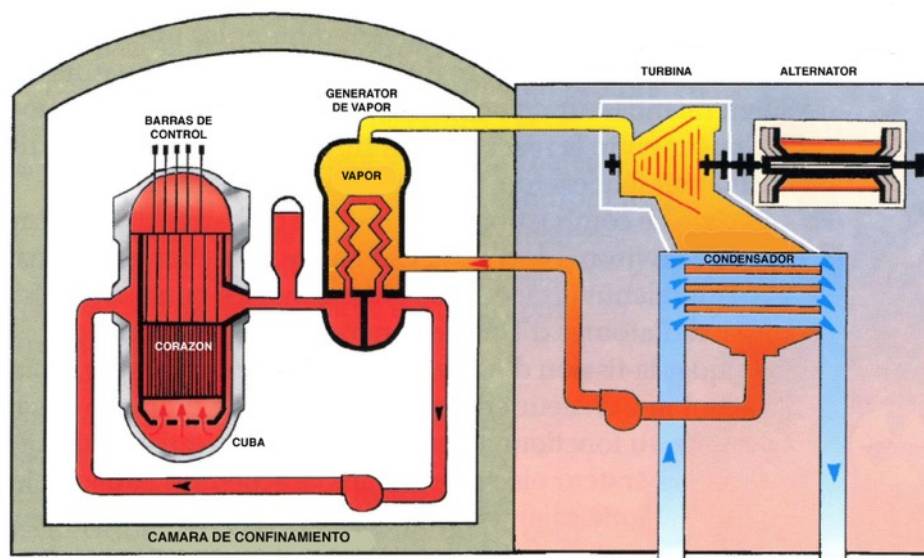
Combinando estas dos condiciones se aumenta la eficacia de los neutrones errantes con lo que se hace posible realizar y mantener una reacción en cadena y, si se la sabe controlar, ¡construir al mismo tiempo una central nuclear!

1 llamados por los físicos neutrones rápidos.

2 aún hay que mencionar la emisión de un neutrino, partícula casi indetectable que transporta una parte de la energía desprendida.

¿Cómo funciona una central nuclear?

Las centrales nucleares pueden diferir unas de otras por las características del combustible, la naturaleza del medio ralentizador de neutrones y por el sistema de intercambio de calor entre la turbina y el reactor, pero el principio de funcionamiento es aproximadamente el mismo.



Esquema simplificado de una central nuclear

El combustible está constituido de barras de Uranio enriquecidas hasta alrededor de 3% en ^{235}U . Estas barras son sumergidas en agua la cual ralentiza (gracias a su contenido en Hidrógeno) los neutrones emitidos por la fisión de átomos de ^{235}U permitiéndoles a su vez provocar la fisión de otros átomos. Las reacciones de fisión así provocadas, desprenden una temperatura elevadísima que permite producir el vapor necesario para el funcionamiento de una turbina que alimenta, a su vez, un generador eléctrico. En tal sistema, el agua juega el doble papel de moderador de neutrones y de líquido termoconductor que permite transferir la energía hacia la turbina. Para interrumpir la reacción se dejan caer en el reactor barras de Boro o Cadmio que tienen la propiedad de absorber los neutrones y, por consecuencia, poner fin a la actividad.

Pero...¿adónde van a parar, entonces, los desechos nucleares?

Si retomamos el curso de la enfermedad del pobre ^{235}U , veíamos que luego de haber absorbido un neutrón y de haberse transformado en ^{236}U , se escindía en dos átomos más pequeños. ¿Qué clase de átomos son estos? Las experiencias muestran que cada átomo de ^{236}U puede escindirse de manera diferente dando pares de fragmentos de fisión cuyos pesos atómicos están comprendidos generalmente entre 72 y 166. Estos residuos se componen de una treintena de elementos bien conocidos por el servicio de Registro Civil del Mundo de los átomos y que tienen la desagra-

dable propiedad de poseer una mayor proporción de neutrones con respecto al número habitual que posee su familia; por lo tanto, son isótopos pesados de átomos conocidos, pero que no existen generalmente en la naturaleza sino que provienen de la fisión inducida de los átomos. Todos son inestables y afectos de desgaste radiactivo¹; son los constituyentes de los desechos nucleares indeseables. Los neutrones excedentes se transforman más o menos rápidamente en protones expulsando partículas β (electrones) y desprendiendo una fuerte radiación γ y calor.

Algunos de los productos de fisión alcanzarán su estado estable en pocos minutos, algunas horas o días; son altamente radiactivos, pero la evolución de su enfermedad es muy rápida. Otros, en cambio, tardarán años o milenios para ver al fin su actividad reducirse sensiblemente; son poco radiactivos, pero lo serán por mucho tiempo. Dicho sea de paso, el desgaste radiactivo al cual, cabe recordar, no se puede modificar la velocidad de evolución, desprende mucho calor que hay que continuar evacuando de la central aún mucho tiempo después de terminada la fisión; por esta razón, el combustible usado se almacena en piscinas durante varios meses o aún varios años antes de retirarlos.



Los desechos nucleares son no solamente radiactivos, sino que también despiden bastante calor.

...Y ¿si la reacción se embalara?

Los neutrones se desplazan a gran velocidad, y por el hecho de no poseer ninguna carga eléctrica, pasan a través de las nubes electrónicas de los átomos sin perturbarlos; hace falta que choquen el núcleo de un átomo de Uranio para incorporársele. Ahora bien, siendo el núcleo millones de veces más pequeño que el átomo en sí, los neutrones pueden atravesar una cierta masa de Uranio sin encontrar un núcleo y escapar de la materia. Para aumentar la posibilidad de colisión, hemos visto que hacía falta aumentar la concentración de ^{235}U en el Uranio natural, refrenar los neutrones, o aún la combinación de ambas acciones.

Así pues, si se lograra reunir una masa suficientemente importante de ^{235}U desembarazada de su primo ^{238}U (enriquecimiento al 100%), se podría provocar una reacción en cadena. Esto significa que a partir de la fisión espontánea de un solo átomo, los neutrones liberados van a su vez a provocar la fisión de otros átomos vecinos, los que expulsarán nuevos neutrones que provocarán otras fisiones. El número de reacciones de fisión se multiplica a una velocidad prodigiosa desprendiendo una energía colosal en un lapso de tiempo muy breve: ¡se trata de una explosión nuclear!

¹ Ciertos productos de fisión son asimismo productores de neutrones diferidos (o retardados), tales como $^{87}\text{Kr} \longrightarrow ^{86}\text{Kr} + n^{\circ}$. Estos neutrones, si bien poco numerosos, juegan un papel muy importante en el control de la reacción en cadena.

¡Afortunadamente para nosotros, estas condiciones no se cumplen nunca en las centrales nucleares donde toda explosión nuclear es imposible!

La masa necesaria para que haya reacción en cadena se llama masa crítica y es del orden de unos veinte kg. de U^{235} . Tenemos así, básicamente en mano, todos los elementos para construir una bomba atómica:

Receta para construir una bomba atómica

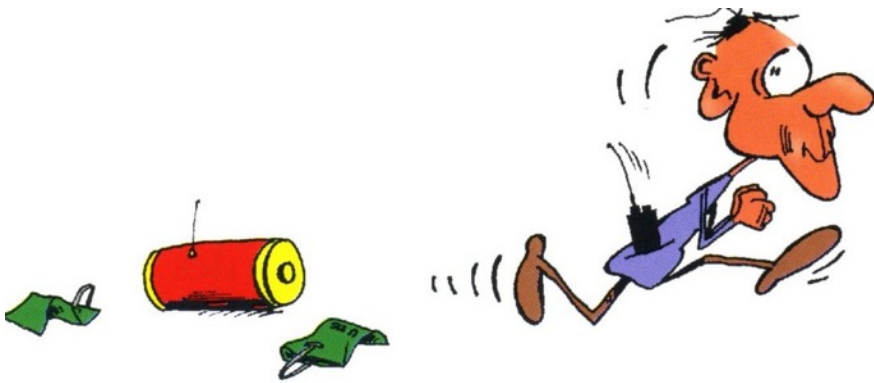
- 1. Procúrese de ^{235}U en cantidad ligeramente superior a su masa crítica, siempre teniendo cuidado de mantener este Uranio en dos sacos separados.*
- 2. Disponga las dos mitades de ^{235}U en los dos extremos interiores de un tubo corto y sólido.*
- 3. Prevea un sistema de mando a distancia que aproxime brutalmente las dos mitades de ^{235}U , por ejemplo, a través de un poderoso explosivo.*
- 4. Aléjese a una distancia razonable.*
- 5. ¡ Accione!*



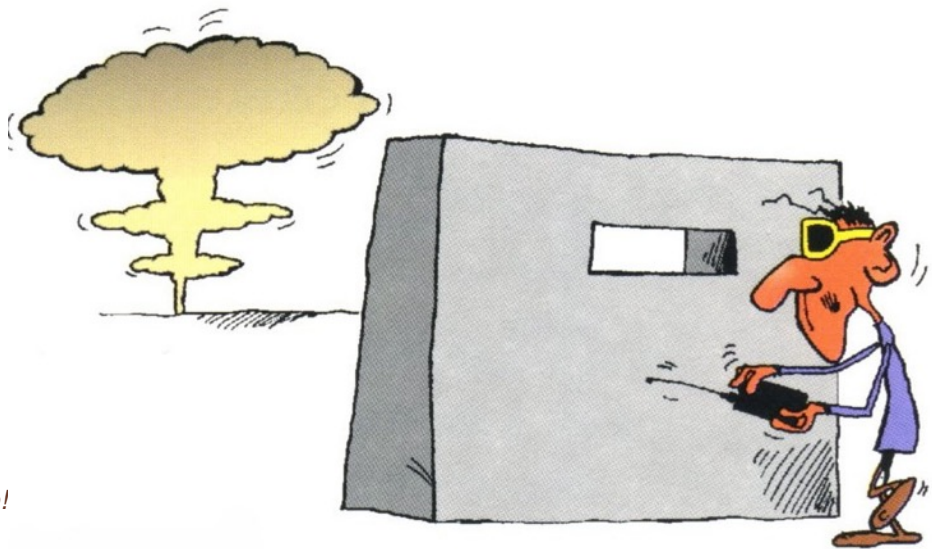
- 1. Procúrese de ^{235}U en cantidad ligeramente superior a su masa crítica, siempre teniendo cuidado de mantener este Uranio en dos sacos separados.*

- 2. Disponga las dos mitades de U^{235} en los dos extremos interiores de un tubo corto y sólido.*
- 3. Prevea un sistema teledirigido que aproxime brutalmente las dos mitades de U^{235} , por ejemplo, a través de un poderoso explosivo.*





4. Aléjese a una distancia razonable.



5. ¡ Accione!

¡Afortunadamente no es tan fácil!

Esta receta es completamente teórica y le aconsejamos no tratar de ponerla en práctica porque las cosas son (¡por suerte!) mucho más complejas. Para comenzar, el punto [1] de la receta es difícil de realizar dado que la producción de material fisible en cantidad suficiente, requiere una tecnología sofisticada, inmensas fábricas y una enorme cantidad de energía; nadie puede, por consiguiente, producir discretamente ^{235}U fuertemente enriquecido.

El punto [3] es igualmente muy difícil de realizar pues si no se aproximan las dos mitades de ^{235}U con la rapidez necesaria, la reacción en cadena no puede producirse. En realidad, la fisión comienza ya en el curso del acercamiento de las dos mitades de ^{235}U , y el calor emanado es tan grande que funde y luego volatiliza el combustible aún antes de que la masa crítica haya podido ser reunida.

A modo de conclusión

En el curso de sus experimentos sobre la fisión inducida de los átomos, los terrestres han logrado crear familias que eran anteriormente inexistentes.; la más común es la del Plutonio (^{242}Pu) que lleva el número 94 y que puede asimismo ser utilizado para la fabricación de bombas atómicas. Se podría encontrar aún una decena de familias cuyos nombres se leen en la gran foto de familia (tabla periódica), más allá del emplazamiento del Uranio, pero todas están afectadas por esa enfermedad que es el desgaste radiactivo con un período de remisión más bien corto lo que no les deja mayor esperanza de vida.

Todas las manipulaciones de las que hemos hablado más arriba, han provocado la aparición, para nada deseable, de un gran número de isótopos inestables de familias de átomos conocidas como ya hemos señalado a propósito de los desechos nucleares.

Si bien es cierto que estos isótopos se han convertido hoy en una carga y que es necesario encontrar una solución para su almacenamiento, debemos señalar, sin embargo, que algunos de ellos rinden grandes servicios al hombre en diversas aplicaciones. Así por ejemplo, los rayos y emitidos por estos isótopos son en realidad rayos X extremadamente penetrantes que permiten, entre otras cosas, radiografiar piezas metálicas y verificar que no contengan fallas; o ser utilizados para la irradiación de tumores cancerosos. Todavía en el dominio de la medicina, se puede verificar la asimilación del Iodo por un enfermo inyectándole una pequeña cantidad de Iodo radiactivo y siguiendo con un detector el camino de este elemento en el interior del organismo.

De esta manera, la exploración del Mundo extraño de los Átomos por los humanos ha permitido el desarrollo de la química, ciencia sin la cual hoy sería imposible vivir tanto que sus aplicaciones se han vuelto omnipresentes en nuestro ambiente. Igualmente, la física nuclear, y la astrofísica que nos ayudan a comprender cada vez mejor las leyes que rigen el mundo de los átomos del cual depende, finalmente, todo nuestro Universo.

Pequeño glosario

<i>Agitación social</i>	<i>Estado de agitación que depende de la temperatura.</i>
<i>Alfa [α]</i>	<i>Nombre de una partícula positiva que pesa 4 grogs, eyectada por ciertos átomos radiactivos y constituida por 2 protones y 2 neutrones: es, en realidad, un núcleo de un átomo de helio.</i>
<i>Andrógino</i>	<i>Nombre atribuido a ciertos átomos que, según las circunstancias, pueden ser tanto hombres como mujeres (aniones o cationes).</i>
<i>Angstrom</i>	<i>Unidad de medida igual a un diezmillonésimo de milímetro.</i>
<i>Anión</i>	<i>Es un ion negativo, es decir, un átomo que ha adquirido uno o varios electrones. En el Mundo extraño es una dama.</i>
<i>Avogadro</i>	<i>(Amadeo), célebre químico italiano (1776-1856) que tuvo la idea de comparar números idénticos de átomos o de moléculas.</i>
<i>Avogadro (número de)</i>	<i>Es el número de átomos encerrados en un gramo de hidrógeno. Este número es igual a 602.588 millares de millares (o sea 6.02×10^{23}).</i>
<i>Beta [β]</i>	<i>Nombre de una partícula negativa eyectada por un átomo radiactivo; es un electrón proveniente del corazón de un neutrón que se transforma en protón. Su peso es de alrededor de 0.0005 grogs.</i>
<i>Bigamia</i>	<i>Estado matrimonial que une un señor a dos damas.</i>
<i>Brazo</i>	<i>Apéndice que permite a un átomo ligarse a otros. El número de brazos es una característica de cada familia y de la clase social a la que pertenece. En la jerga de los químicos, los brazos son análogos a la valencia iónica del átomo.</i>
<i>Caballero</i>	<i>Atomo de sexo masculino, conocido también bajo el nombre de catión.</i>
<i>Catión</i>	<i>Es un ion positivo, es decir, un átomo que ha perdido uno o varios electrones. En el Mundo extraño es un caballero.</i>
<i>Clan</i>	<i>Congregación inmensa de átomos o moléculas idénticas.</i>
<i>Clase social</i>	<i>Categoría de individuos que tienen el mismo número de brazos y demuestran comportamientos semejantes. En la gran foto de familia (tabla periódica), cada clase social ocupa una de las columnas verticales.</i>
<i>Comunidad</i>	<i>Estado matrimonial que reúne varios caballeros a varias damas.</i>
<i>Consunción</i>	<i>Pérdida de peso resultante de la desaparición de materia en las reacciones de fisión. La energía producida es colosal.</i>
<i>Cristalino</i>	<i>Estado sólido en el cual todos los átomos están dispuestos según reglas geométricas precisas.</i>
<i>Crucigrama</i>	<i>Juego de palabras cruzadas.</i>
<i>Dama</i>	<i>Atomo de sexo femenino, conocido también bajo el nombre de anión.</i>
<i>Desechos radiactivos</i>	<i>Elementos inestables provenientes de la fisión del uranio. Son todos isótopos afectados por el desgaste radioactivo y que emitirán partículas ionizantes peligrosas a lo largo de toda su enfermedad.</i>
<i>Desgaste</i>	<i>Disminución regular de una comunidad de átomos radiactivos que se efectúa a una velocidad propia a cada familia involucrada.</i>
<i>Divorcio</i>	<i>Ruptura de una molécula cuyos diversos miembros se asocian a otros átomos provenientes de otras moléculas, ellas también en instancia de divorcio.</i>

<i>Eintein (Albert)</i>	<i>(1879-1955), físico de origen alemán, naturalizado suizo, luego estadounidense, premio Nobel en 1921. Describió la ley de la relatividad que liga la materia a la energía según la fórmula $E = m \times C^2$.</i>
<i>Endotérmico</i>	<i>Que absorbe calor.</i>
<i>Electrón</i>	<i>Partícula elemental alrededor de 2.000 veces más liviana que un protón o un neutrón y portadora de una carga negativa. Es un "germen" de electricidad.</i>
<i>Estado</i>	<i>Aspecto exterior de un clan de átomos o de moléculas. Puede ser sólido, líquido o gaseoso.</i>
<i>Exotérmico</i>	<i>Que despide calor.</i>
<i>FIDA</i>	<i>Abreviación de "Fisión Indacida de los Atomos", enfermedad genética contagiosa aparecida recientemente en el Mundo extraño de los Atomos y provocada por los terrestres.</i>
<i>Física nuclear</i>	<i>Ciencia que se ocupa de la anatomía de los átomos, más particularmente de la composición y del comportamiento de sus núcleos</i>
<i>Fisión</i>	<i>Evento en el curso del cual un átomo pesado se escinde en dos átomos más pequeños.</i>
<i>Fisión espontánea</i>	<i>Enfermedad genética extremadamente rara que puede afectar naturalmente ciertos átomos pesados (Uranio y Torio).</i>
<i>Fisión inducida</i>	<i>Fisión provocada por los terrestres inoculando neutrones en el núcleo de ciertos átomos.</i>
<i>Foto de familia</i>	<i>Es la gran foto sobre la cual todas las familias de átomos están dispuestas de manera tal que hace aparecer, a períodos regulares, las familias pertenecientes a la misma clase social.</i>
<i>Gama [γ]</i>	<i>Nombre de un rayo X muy energético emitido por un átomo afectado de desgaste radiactivo.</i>
<i>Gas raro</i>	<i>Atomo que tiene 8 electrones en su capa periférica y que, por ello, no adquiere ni pierde electrones. En el Mundo extraño de los Atomos no posee brazos. Es un solterón empedernido.</i>
<i>Gron</i>	<i>Unidad de peso imaginaria usada en el Mundo extraño de los Atomos. Es el peso de un átomo de hidrógeno.</i>
<i>Ion</i>	<i>Es un átomo excitado que agita los brazos. Ha perdido o adquirido uno o varios electrones. Es portador de un número igual de cargas eléctricas. Conocido también por los adeptos a los crucigramas bajo el apodo de "portador de cargas".</i>
<i>Isótopo</i>	<i>Miembro de una familia de átomos que "no vale lo que pesa" y que se distingue de sus congéneres por un número diferente de neutrones.</i>
<i>Masa crítica</i>	<i>Masa mínima de una materia fisible, necesaria para desatar espontáneamente una reacción en cadena (explosión nuclear)</i>
<i>Matrícula</i>	<i>Número atribuido a cada familia de átomos; ver "Número Atómico"</i>
<i>Matrimonio</i>	<i>Forma de unión entre átomos.</i>
<i>Mendeleiev</i>	<i>(Dimitri Ivanovitch, 1834-1907), químico ruso, autor de la clasificación periódica de los elementos.</i>
<i>Metal</i>	<i>Nombre dado por los químicos a los caballeros del Mundo extraño.</i>
<i>Metaloides</i>	<i>Nombre dado por los químicos a las damas y a los andróginos.</i>
<i>Mineral</i>	<i>Clan de átomos o de moléculas en estado cristalino (ver "cristalino").</i>
<i>Neutrino</i>	<i>Partícula casi indetectable producida, por un neutrón al desaparecer.</i>

Neutrón	<i>Partícula elemental neutra que pesa un gron. Aislado es inestable y se transforma rápidamente en un protón después de haber expulsado un electrón y un neutrino.</i>
Nuclear	<i>Relativo al núcleo de un átomo</i>
Núcleo	<i>Corazón del átomo constituido por protones y neutrones.</i>
Número atómico	<i>Número de matrícula adjudicado a cada familia de átomos y correspondiente al lugar que ella ocupa en la gran foto de familia (tabla periódica). Corresponde al número de protones contenidos en el núcleo.</i>
Partícula	<i>Nombre general dado a los diferentes componentes de los átomos</i>
Peso atómico	<i>Peso, expresado en gramos, de 602.488 millares de millares de átomos. En nuestro Mundo extraño este peso se expresa en grons</i>
Peso molecular	<i>Peso, expresado en gramos, de 602.488 millares de millares de moléculas idénticas. En nuestro Mundo extraño se expresa en grons.</i>
Poliandria	<i>Estado matrimonial que une una dama a varios hombres.</i>
Poligamia	<i>Estado matrimonial que une un caballero a varias damas.</i>
Protón	<i>Partícula portadora de una carga positiva y que pesa un gron.</i>
Química	<i>Es el estudio, por parte de los terrestres, de los usos y costumbres de los habitantes del País de los Atomos.</i>
Química aplicada	<i>Puesta bajo tutela del Mundo de los Atomos, por parte de los terrestres, que convierte los matrimonios y los divorcios en obligatorios según su gusto y conveniencia, y para su propio confort.</i>
Radiactividad	<i>Estado inestable de excitación, característico del núcleo de ciertas familias de átomos que, por expulsión sucesiva de partículas ionizantes (α, β, γ), transmutan en otros átomos estables.</i>
Radio atómico	<i>Es el radio de un átomo expresado en Angstroms [Å]. En realidad, este radio puede variar según el estado de excitación del átomo. En el Mundo extraño se ha indicado el radio más frecuente.</i>
Reacción química	<i>Doble divorcio, con intercambio de cónyuges, entre moléculas diferentes.</i>
Remisión	<i>Es el lapso de tiempo que resta de vida a la mitad de una comunidad de átomos atacada por el desgaste radiactivo. Los físicos hablan de vida media.</i>
Símbolo	<i>Sigla compuesta por una o más letras que designa una familia de átomos</i>
Soltero	<i>Estado civil de átomos que no poseen brazos: son los gases raros.</i>
Tabla periódica	<i>Forma de disponer todos los elementos químicos sobre una tabla de manera que muestre periódicamente los elementos que poseen un comportamiento semejante (vg. foto de familia)</i>
Transmutación	<i>Transformación de un átomo en otro por modificación del número de protones en su núcleo.</i>
Vida media	<i>Lapso de tiempo necesario para la desaparición de la mitad de una comunidad de átomos afectados de desgaste radiactivo. En el Mundo extraño se lo llama remisión o período de remisión.</i>

Índice de materias

3. *Los primeros contactos*

Viaje a lo infinitamente pequeño - Los nombres de los átomos - Símbolos químicos - Números de orden - Peso de los átomos - Algunos átomos "no valen lo que pesan" - Tamaño de los átomos - Número de brazos- Las damas y los caballeros - Adelgazar o engordar: una cuestión de excitación- Los andróginos - Los solterones empedernidos - Distribución de la población - Los pasaportes.

15. *La gran foto de familia*

Las diversas clases sociales - La clase de los un-brazo - La clase de los dos-brazos - La clase de los tres-brazos - La clase de los cuatro-brazos - La clase de los sin - brazos - Las otras clases sociales.

22. *Las bodas en el País de los Átomos*

Los matrimonios obedecen a algunas reglas simples- Los certificados de matrimonio - Los nombres patronímicos de las moléculas - Algunos átomos pueden, a veces, quedarse solteros- Un encuentro explosivo - Los matrimonios no duran siempre mucho tiempo.

29. *La organización social de las moléculas*

La agitación social es permanente - El instinto gregario induce a las moléculas a reunirse en clanes - Las tres clases de clanes - El estado cristalino.

32. *La anatomía de los átomos*

Los diversos órganos de los átomos - Los electrones determinan el comportamiento social de los átomos - Los electrones son "granos" de electricidad - El número ocho, las damas, los caballeros y los otros - Protones y neutrones- Los isótopos - Más profundamente aún hacia el interior del núcleo.

39. *El desgaste radiactivo, una enfermedad genética de los átomos*

El triste caso de la familia Uranio - Rapidez evolutiva de la enfermedad - Los síntomas - Mecanismo de la enfermedad - Otras familias son también propensas a la enfermedad - Los geólogos se interesan de cerca en este tipo de enfermedad- La rapidez evolutiva de la enfermedad puede servir de cronómetro- El caso del tío Carbono 14.

49. *Otra enfermedad genética: la fisión espontánea de los átomos*

La fisión espontánea de los átomos - La fisión inducida de los átomos (o FIDA) - Mecanismo de la enfermedad - Una consunción incomprensible - Pero ¿en qué se transforman los neutrones? - ¡No obstante se puede modificar el destino! - ¿Cómo funciona una central nuclear? - Pero...¿adonde van a parar, entonces, los desechos nucleares? - ...Y ¿si la reacción se embalara? - Receta para construir una bomba atómica- ¡Afortunadamente no es tan fácil! - A modo de conclusión.

58. *Pequeño glosario*