

# EL PLASMA




para chic@s list@s



Marquidia Pacheco • Martin Nieto

El Plasma para chic@s list@s  
Marquidia Pacheco  
Martín Nieto

143p, 20x20 cm  
Imágenes: <https://pixabay.com/>  
Diseño e ilustración: The Progressive Wing   
Primera edición, 2023

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra,  
sea cual fuere el medio, sin consentimiento por escrito  
del titular de la obra.  
Informes: [marquidiapp@gmail.com](mailto:marquidiapp@gmail.com)

ISBN: 978-607-8120-05-5  
Hecho en México

# EL PLASMA para chic@s list@s

Marquidia Pacheco • Martín Nieto



# El PLASMA

## para chic@s list@s

Marquidia Pacheco • Martin Nieto

Al plasma se le considera como el 4º estado de la materia, sin embargo es el que está presente en mayor cantidad en el Universo, pues se calcula que cerca del 99% de éste, es plasma.

En este libro podrás ver qué es, para qué sirve y cómo se crea un plasma.

Veremos algunas de sus maravillosas aplicaciones, que pueden ser desde televisiones hasta propulsores de satélites en el espacio.

Estamos seguros que después de haber viajado por estas páginas, podrás imaginar nuevos usos del plasma y, si quieres, poder iniciar tu carrera en el mundo de la ciencia.

Queremos que sepas que en esta travesía te acompañamos y con gusto podemos trabajar junto a ti para entender mejor algunos conceptos y, si te animas, comenzar

tu gran proyecto con el 4º estado de la materia que sea capaz de mejorar la vida en este extraordinario planeta rodeado de plasma....



Plasmita



Itzé





# ÍNDICE

## El Universo y el Plasma

13

- ▶ El nacimiento del Universo ----- 16
- ▶ Un poquito de mitología para soñar ----- 17
  - Una mujer Dragón creadora del cielo y de la Tierra -- 17
  - Explosión de un huevo cósmico ----- 18
  - Dios dual de la energía ----- 19
- ▶ Big Bang para seguir soñando ----- 20
- ▶ Los primeros instantes del Universo y su expansión ----- 21
- ▶ El Universo canta ----- 22
- ▶ ¿Qué tal si jugamos un poco? ----- 23

## ¿De qué están hechas las cosas?

25

- ▶ Los átomos ----- 26
  - Demócrito y los átomos: El cacho más pequeño ----- 26
- ▶ Átomos y moléculas ----- 28
- ▶ La masa de las cosas ----- 29
- ▶ Mide el oxígeno del aire ----- 30
- ▶ ¡Otro Juego! ----- 31



## Estados de la materia



33

▶ Estado sólido -----	35
▶ Estado líquido -----	36
▶ ¿Sólido ó líquido? -----	37
▶ Estados enigmáticos de la materia -----	39
▶ Fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos -----	40
▶ Estado Gaseoso -----	41
▶ El plasma -----	44
▶ Transformación entre los estados de la materia -----	45
▶ Un plasma es un gas ionizado (Dra. Citlali Sánchez Aké) --	46
• Ioni....¿Qué? -----	46
• Ionización paso a paso... -----	47

## Partículas, ondas y luz



49

▶ ¿De dónde viene la luz? -----	51
▶ La huella digital luminosa de los elementos -----	52
• ¡¡¡El helio al descubierto!!! -----	53
▶ Los ídolos de Albert -----	55
▶ Maxwell y las ondas electromagnéticas -----	56
▶ La generación de electricidad -----	57
▶ La radio -----	58
▶ La televisión -----	59

## Plasmas en la naturaleza



61

▶ El sol, esa enorme bola de plasma -----	62
▶ Flamas -----	63
▶ Los rayos y relámpagos -----	64
▶ Pide un deseo... -----	66
▶ Hermosa Aurora -----	67
▶ ¿Los cinturones de quién? Los cinturones de Van Allen -----	68
▶ Electrones que podrían viajar a la velocidad de la luz.... ---	69
▶ Silencio interminable -----	71

## Los plasmas ayudando a la vida en nuestro Planeta



73

▶ La domesticación del plasma -----	74
▶ Tipos de Plasmas -----	75
▶ El nacimiento del plasma -----	76
▶ Creamos materiales con plasma -----	77
▶ Películas delgadas (Dra. Sandra E. Rodil, Dra. Osmary Depablos-Rivera) -----	78
• Obtención de Silicio a partir de Silano -----	80
• Jugando billar con plasma -----	81



## El plasma y tu salud 83

- ▶ Los plasmas y los dentistas ----- 85
- ▶ Plasmas: esperanza para enfermedades casi imposibles de curar ----- 86
- ▶ Desactivación de virus ----- 87
- ▶ El plasma y la COVID ----- 89

## Plasmas en la agricultura 91

- ▶ Crecimiento de plantas y almacenamiento duradero de semillas 92
- ▶ Control de patógenos y contaminantes ----- 94

## Al cuidado de nuestro planeta tierra 94

- ▶ Plasma para purificar el aire que respiramos ----- 96
- ▶ Plasmas para cuidar el agua ----- 98
- ▶ Plasmas para destruir contaminantes muy tóxicos del agua --- 99
- ▶ Plasmas y Cambio Climático ----- 100
  - ¿Es posible destruir los gases de efecto invernadero y al mismo tiempo generar combustibles limpios? ----- 101

## Energía Nuclear (Raquel Heredia) 103

- ▶ Energía Nuclear: La fisión ----- 105

- ▶ Energía Nuclear: Transformar electricidad en calor ----- 107
- ▶ Datos interesantes ----- 113

## La energía nuclear de fusión 115

- ▶ Energía pura ----- 116
- ▶ Una estrella en la Tierra ----- 119
- ▶ TOKAMAK ----- 125

## Plasmas en naves espaciales 129

## Solución a los juegos 133

## Agradecimientos 139

## Sobre los autores 140





# EL UNIVERSO Y EL PLASMA



La experiencia a la que te invita este libro comienza de noche. Busca un lugar oscuro desde donde puedas ver las estrellas; respira profundo, relájate y disfruta observarlas...

Esa luz que te regala la bóveda celeste está compuesta en su mayoría de plasma. De hecho, el 99% del Universo es plasma.



## Nebulosas



Estos fabulosos y brillantes objetos se encuentran en el Universo y están conformados por plasma

## Cuásar



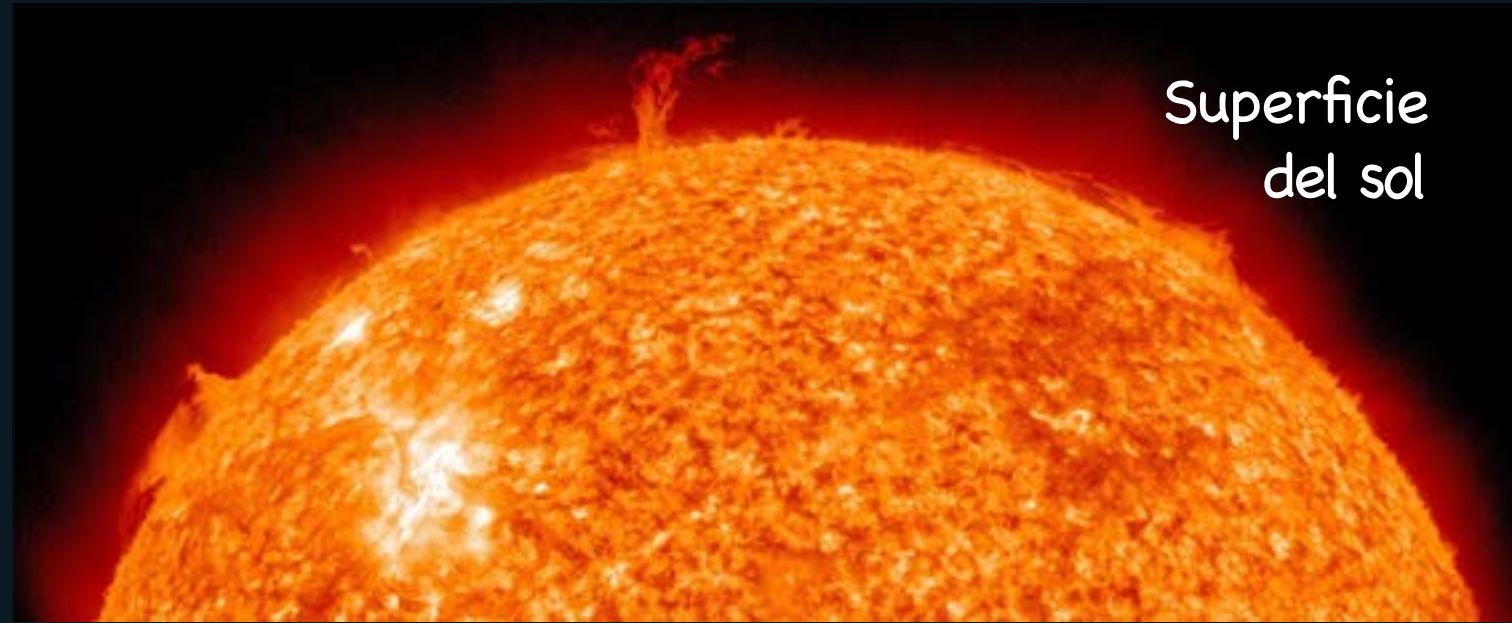
## Pulsar



## Cola de cometas



## Superficie del sol



La superficie del Sol o corona solar, los rayos, las centellas y las auroras polares son también ejemplos de plasma que se pueden observar en nuestro maravilloso planeta.

## Auroras polares





## EL NACIMIENTO DEL UNIVERSO

Cuando ves las estrellas y el firmamento infinito, seguramente te preguntas:

### ¿Cómo comenzó todo?

Lo mismo se han preguntado muchas personas hace miles de años.

Con su imaginación trataron de explicar el nacimiento del Universo y escribieron algunas leyendas como las que podrás leer a continuación.



## UN POQUITO DE MITOLOGÍA PARA SOÑAR...

### Una mujer-dragón creadora del cielo y de la tierra

Tiamat, una deidad mujer-dragón, que representaba caos, engendró "la totalidad de la Tierra" después de haber sido cortada en 2 por otro dios. Esta historia se originó en la cultura mesopotámica.



Interpretación de los autores del dios Tamat



GRAFMAN, R. "Bringing Tiamat to Earth." *Israel Exploration Journal*, vol. 22, no. 1, 1972, pp. 47-49. JSTOR, [www.jstor.org/stable/27925317](http://www.jstor.org/stable/27925317). Accessed 1 Mar. 2021.  
George, Andrew. (2012). *Nergal and the Babylonian cyclops*. BIBLIOTHECA ORIENTALIS LXIX N° 5-6



## Explosión de un huevo cósmico

En la mitología China, al dios Pangu se le conoce como el creador del mundo y del Universo.

Pangu nació de un huevo cósmico. Durante miles de años Pangu creció tanto que iba separando la Tierra del Cielo. Como creció mucho su cuerpo se tenía que enrollar como serpiente, por eso recibió ese nombre: "Pan" significa enrollar, "gu" significa antigüedad.

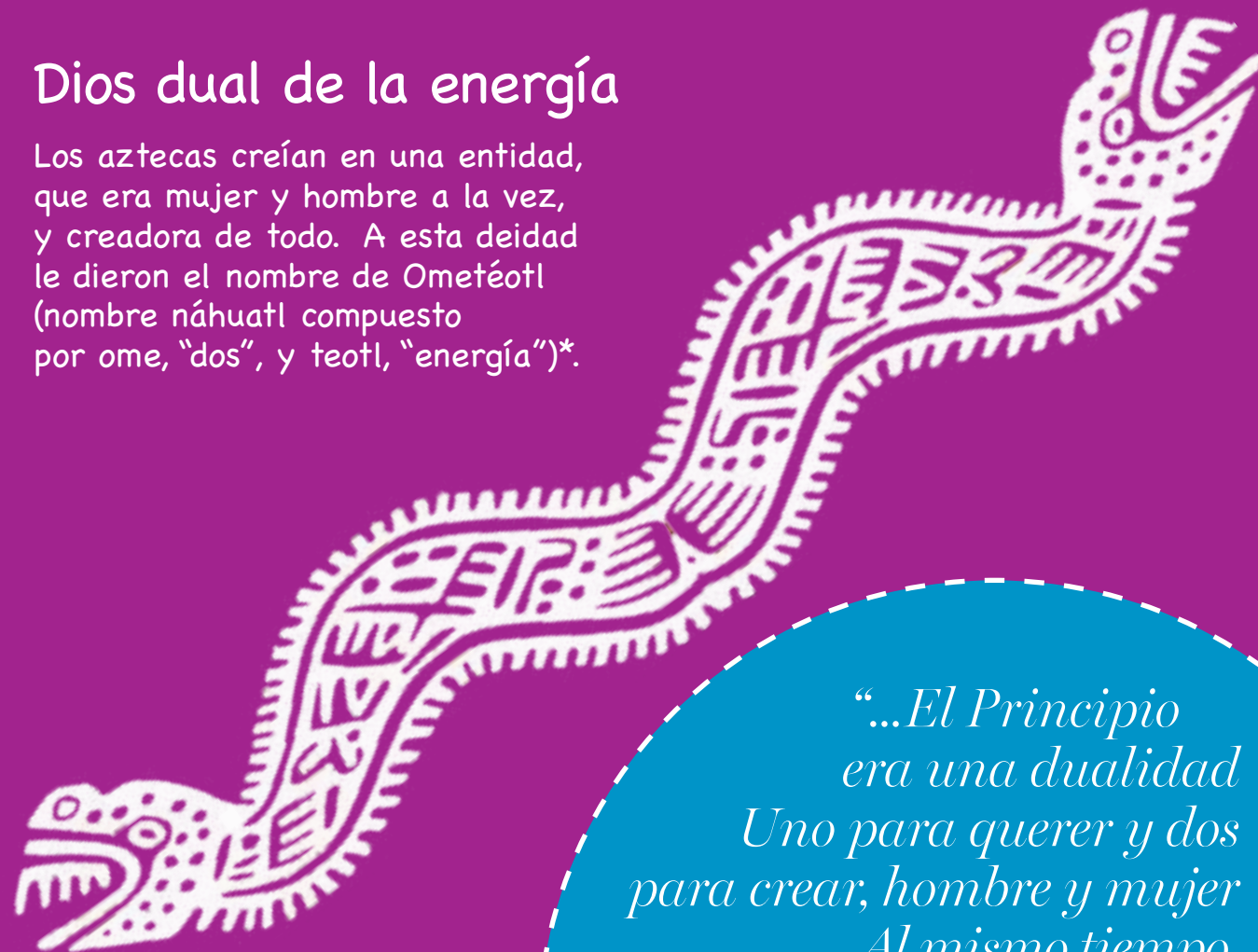
Cuando Pangu muere, su cuerpo se transforma en una increíble explosión que da origen a los astros en el Universo.



Yang, L., An, D., & Turner, J. A. (2005). Handbook of Chinese mythology. Abc-clio.

## Dios dual de la energía

Los aztecas creían en una entidad, que era mujer y hombre a la vez, y creadora de todo. A esta deidad le dieron el nombre de Ometéotl (nombre náhuatl compuesto por ome, "dos", y teotl, "energía")\*.



*"...El Principio era una dualidad  
Uno para querer y dos para crear, hombre y mujer  
Al mismo tiempo, y amándose a sí mismo en su doble entidad,  
Su amor engendró calor y llama" \*\**

\*M. León-Portilla, La filosofía náhuatl estudiada en sus fuentes, Históricas digital, UNAM 2017

\*\*A. Génin, Legendes et recits du Mexique ancien, Paris. Les Editions G. Cres et Cie. 192'3



# BIG BANG PARA SEGUIR SOÑANDO

En los relatos anteriores vemos que el inicio del Universo lo imaginaron civilizaciones antiguas como la fragmentación de una unidad (un dios) o una explosión y la generación de calor y fuego.

Con el transcurso de los años la ciencia permitió elaborar una teoría, que a la base parece coincidir con los relatos anteriores, pero que ha sido explicada con principios físicos y matemáticos. A esta teoría del origen del Universo se le llama Big Bang o la gran explosión.

Antes de este momento no había ni tiempo ni espacio; fue a partir de un átomo que la explosión originó la creación y una expansión continua del universo a temperaturas enormes ( $5,500,000,000^{\circ}\text{C}$ ).

## Los primeros instantes del Universo y su expansión

El Big Bang ocurrió hace muchísimo tiempo, más de 13 mil millones de años; desde entonces el Universo se expande. Mucho tiempo después, se formaron el helio y el hidrógeno que son esenciales para la formación de las galaxias y estrellas.



## El Universo canta

Se puede crear música a partir de las ondas de radio que emiten los planetas gracias a las matemáticas, pues las ondas radio pueden ser expresadas por números y, los números con ayuda de computadoras pueden transformarse y obtener desde hermosos colores hasta una sinfonía.

Es así como se ha creado la música que desprenden las ondas de planetas como Júpiter. Diviértete buscando en plataformas de internet sobre la "música del Universo".

## ¿QUÉ TAL SI JUGAMOS UN POCO?

En esta sopa de letras encuentra estas palabras:

R	U	A	S	O	L	U	B	E	N
O	N	C	I	S	R	G	O	P	O
M	I	R	O	P	I	N	M	O	I
E	V	G	A	M	S	A	L	P	S
T	E	D	U	W	M	B	A	M	O
E	R	E	R	R	E	G	T	E	L
O	S	A	A	A	C	I	U	L	P
T	O	P	L	G	G	B	A	Z	X
L	X	L	O	T	P	O	S	A	E
O	Q	U	A	R	C	K	N	R	I

- UNIVERSO
- PLASMA
- DRAGON
- BIGBANG
- EXPLOSION
- NEBULOSA
- OMETEOTL
- QUARCK





¿DE QUÉ  
ESTÁN HECHAS  
LAS COSAS?





## Demócrito y los átomos: el cachito más pequeño.

Hace mucho tiempo, alrededor del año 400 AC un filósofo griego que se llamaba Demócrito, se hacía preguntas sobre cómo estaban conformadas las cosas.

## LOS ÁTOMOS

**A** sí como imaginaste la inmensidad del Universo, ahora piensa en sentido inverso; imagina que cada vez te vas haciendo más y más pequeño y que te puedes introducir a un objeto para poder investigar de qué está compuesto.

Con el avance de la ciencia sabemos que todo está compuesto de átomos; antes no había forma de comprobarlo, pero gracias a la observación y al poder de la imaginación, nuestros antepasados pudieron predecir o intuir la existencia de estas partículas elementales.



**ÁTOMOS**



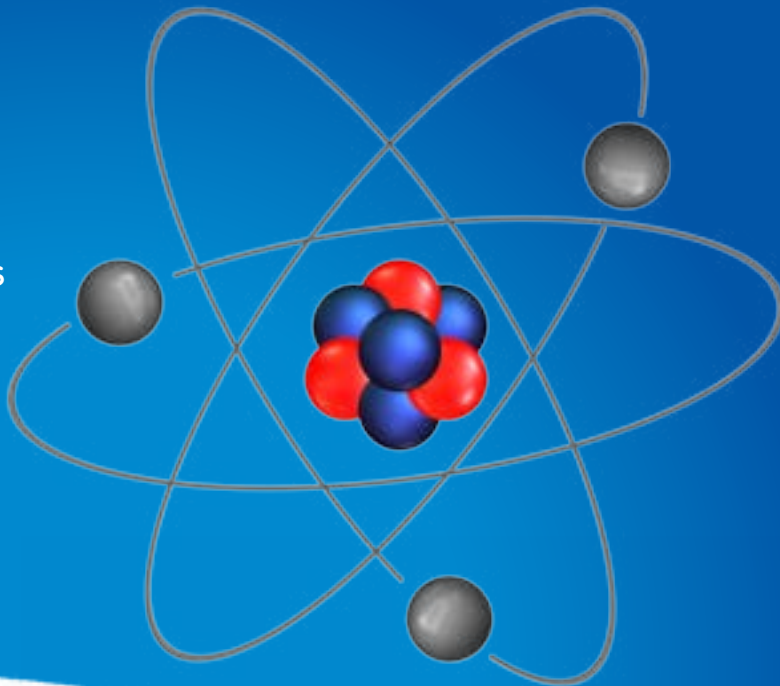
Él decía que si tomas un objeto y lo cortas, cada parte tendrá la misma composición y, si la continúas cortando en pedazos más y más pequeños llega un momento en que ya no se puede dividir. Demócrito les llamó átomos, que en griego significa «indivisible».

La teoría de Demócrito tuvo que esperar cerca de 2000 años para poder ser tomada en cuenta y comprobada.



# Átomos y moléculas

El átomo está compuesto por un núcleo (con carga positiva) que tiene protones y neutrones. Alrededor de éste giran electrones (de carga negativa), similar a los planetas alrededor del sol. Aquí te mostramos, como ejemplo, un átomo de litio. Giran 3 electrones alrededor de su núcleo formado por 4 neutrones y 3 protones.



Una molécula se forma con 2 o más átomos.

Esta imagen representa la molécula del agua que contiene 1 átomo de oxígeno y 2 de hidrógeno.



Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Periodo 1	1 H																	2 He
Periodo 2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
Periodo 3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
Periodo 4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
Periodo 5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
Periodo 6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
Periodo 7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

Lantánidos

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

Actínidos

89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr
----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Para calcular la masa de una molécula solo deberás sumar las masas de cada átomo que la compone.

## La masa de las cosas

Aún el átomo siendo tan pequeñito, tiene una masa y se le conoce como masa atómica. Esta la puedes encontrar en una tabla periódica.

**Ejemplo:**

La molécula del agua contiene 2 átomos de hidrógeno y 1 de agua, por lo que su masa es:

$$(2 \times 1.000794 \text{uma}) + (1 \times 15.999 \text{uma}) = 18.01488 \text{uma}$$



# MIDE EL OXÍGENO DEL AIRE

El aire está principalmente compuesto de 2 moléculas: el nitrógeno y el oxígeno. Con este experimento podrás medir la proporción de oxígeno en el aire.

## Necesitarás:

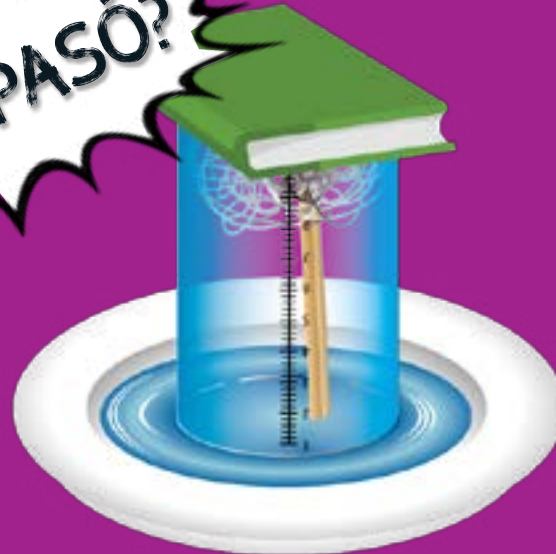


- 1 Fibra metálica nueva
- Agua
- 1 plato grande
- 1 vaso, de preferencia con mediciones
- 1 palito de madera

## ¿Qué debes hacer?

1. Coloca la fibra al fondo del vaso.
2. Inserta el palito en la fibra.
3. Llena el plato de agua.
4. Voltea el vaso y ponlo en el plato. El palito servirá para que no se caiga la fibra.
5. Coloca algo pesado encima del vaso para que no se mueva.
6. Déjalo 3 días.

¿QUÉ PASÓ?

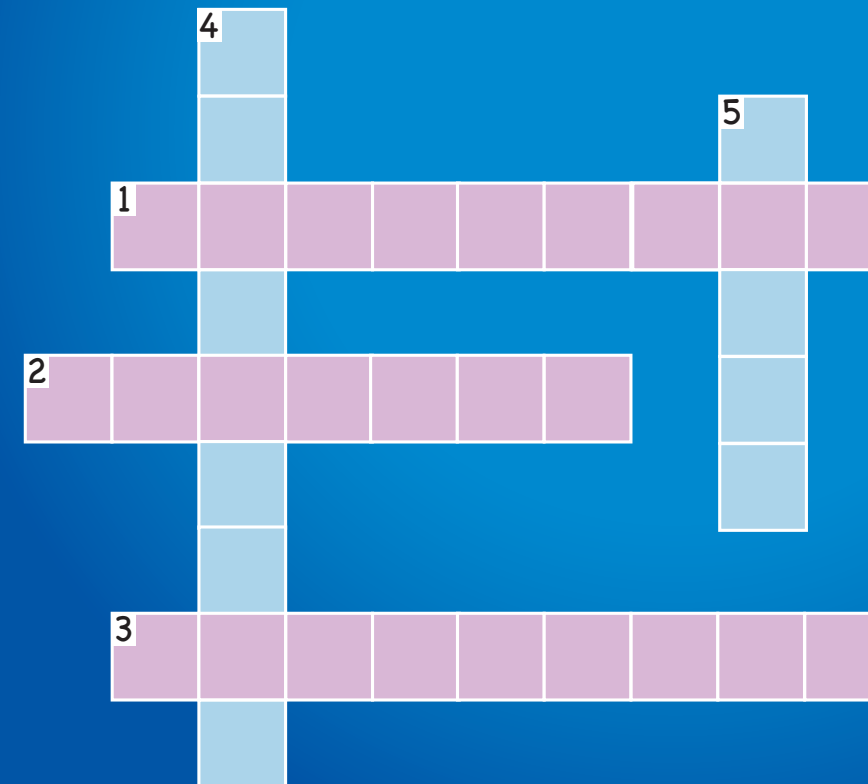


7. Observa cuánta agua subió en el vaso. Con el tiempo la fibra comenzó a absorber el oxígeno del aire atrapado en el vaso. Verás que la fibra cambió de color, se oxidó. El nivel del agua subió aproximadamente del 1/5 ó 20%, y representa aproximadamente la cantidad de oxígeno del aire que respiramos (recuerda que la composición del aire es aproximadamente 79% N<sub>2</sub> y 21% O<sub>2</sub>).

# ¡OTRO JUEGO!

## Completa las casillas

- 1 Filósofo griego que generó la noción de átomo.  
Una molécula de agua contiene un átomo de 2 \_\_\_\_\_ y dos átomos de 3 \_\_\_\_\_
- 4 Escribe con letra la masa atómica, en número entero, de la molécula de oxígeno (O<sub>2</sub>).
- 5 Partícula más pequeña de un elemento.







# ESTADOS DE LA MATERIA





# ESTADOS DE LA MATERIA

Dependiendo de la forma en que estén organizados los átomos, podemos clasificar la materia en sólido, líquido, gas y plasma.

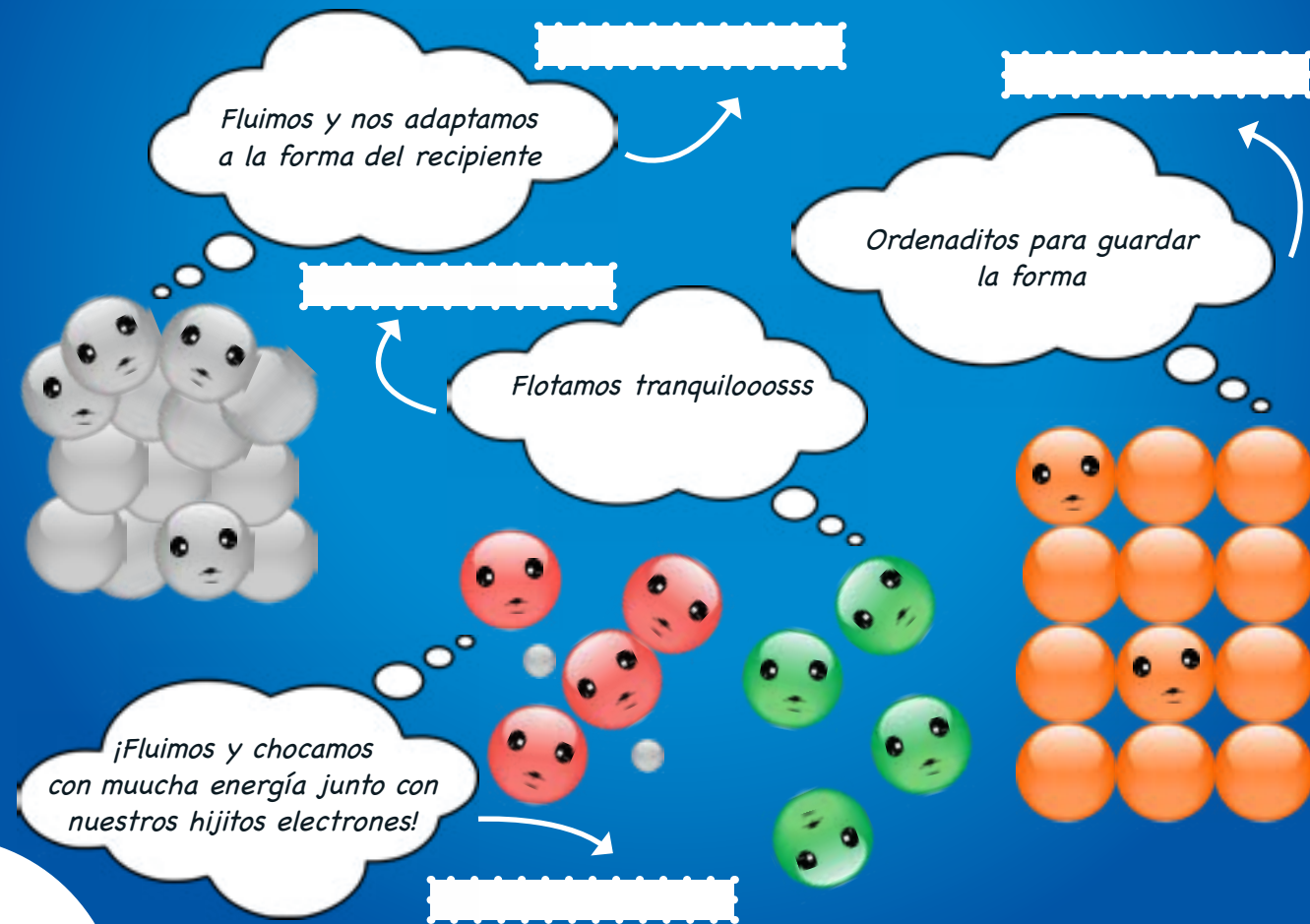
Identifica en las figuras de los extremos de la página cuál corresponde a:

a) Sólido

b) Líquido

c) Gas

d) Plasma



## Estado Sólido

En estado sólido, los átomos o moléculas están fuertemente ligados entre sí y tienen muy poca libertad de movimiento. Tienen una forma y un volumen determinados y pueden variar si se aplica al sólido una fuerza de una intensidad suficientemente alta, como aplicar calor al hielo, por ejemplo.







## Estado Líquido

En el estado líquido, los átomos o moléculas están débilmente unidos entre sí; lo suficiente para que el material se deforme fácilmente. Es un fluido que se adapta a la forma del recipiente en el que se coloca y mantiene su volumen.

En reposo, la superficie libre de un líquido es plana y horizontal.



### ¿SABÍAS QUE?

*El helio es un gas, pero cuando se enfría hasta la temperatura más baja posible, casi al cero absoluto, se convierte en un líquido con propiedades sorprendentes.*



## ¿Sólido ó líquido?

¿Sabías que los antiguos vitrales de las iglesias son más anchos en la parte baja que en la parte alta?

Con el transcurso de los años el vidrio se va "escurriendo"; entonces...

**¿EL VIDRIO ES LÍQUIDO O SÓLIDO?**



## Estados enigmáticos de la materia

Hay otros estados de la materia, algunos existen solo en la teoría, otros sólo los podemos observar en laboratorios y otros más ¡¡¡podrían existir aún sin ni siquiera imaginarlos!!!

Sólidos que se comportan como líquidos, líquidos que parecen sólidos y que además desafían la gravedad, materia con masa negativa que reacciona en sentido opuesto a la fuerza que le aplicas...

¿Un líquido que desafía la gravedad y que escala las paredes de su contenedor?

*El helio a muy bajas temperaturas (<268°C) se comporta de esta sorprendente manera, como un superfluido. Si a este líquido lo colocas en un vaso, se escapará deslizándose hacia arriba...*

¿Un sólido líquido?

*Los cristales líquidos son sólidos con la facilidad de movimiento de los líquidos como algunas pantallas de televisión (LCD), displays de relojes o de celulares.*

Un fluido oscuro...

*Imagina que pudieras empujar un objeto y que éste en lugar de alejarse se acercara aún más a tí. Así funcionaría un objeto de masa negativa de un fluido oscuro en el Universo. ¡Definitivamente un fluido enigmáticamente oscuro!*



## Fluidos newtonianos y fluidos no newtonianos

El agua es un ejemplo de un fluido newtoniano cuya viscosidad depende de la temperatura y de la presión.

En un fluido no newtoniano, su viscosidad dependerá de la temperatura y de una fuerza externa que le apliques.

Un ejemplo de este fluido es cuando haces una preparación de harina muy fina de maíz (maicena) a la cual le vas agregando agua hasta formar una pasta uniforme y poco espesa.

Cuando aplicas mucha presión sobre este fluido, como un golpe con tu puño, el fluido se comporta como un sólido, mientras que si introduces y deslizas suavemente tu dedo sientes que estás en un líquido.

## Estado Gaseoso

Los átomos de un gas se mueven de una manera desordenada.

El aire que respiramos aquí en la Tierra está compuesto por diferentes gases, contiene alrededor del 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno, 1% de argón y una pequeña cantidad de otros gases.



## ¿SABÍAS QUE?

*Júpiter y Saturno son gigantes gaseosos, grandes planetas compuestos principalmente de hidrógeno y helio.*





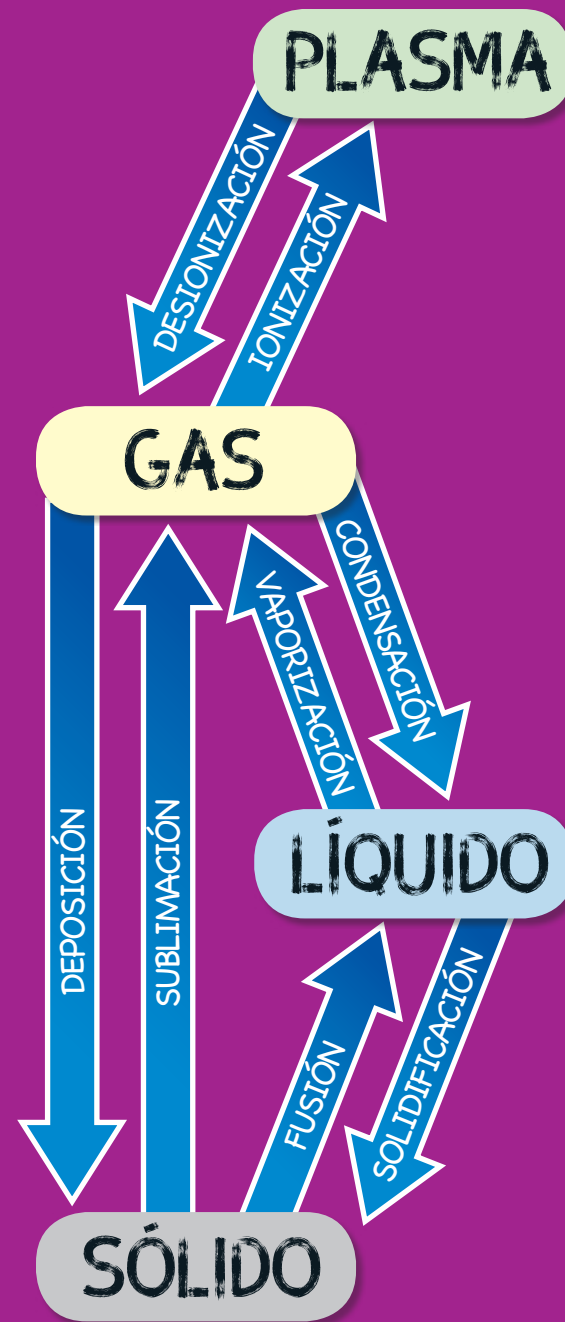
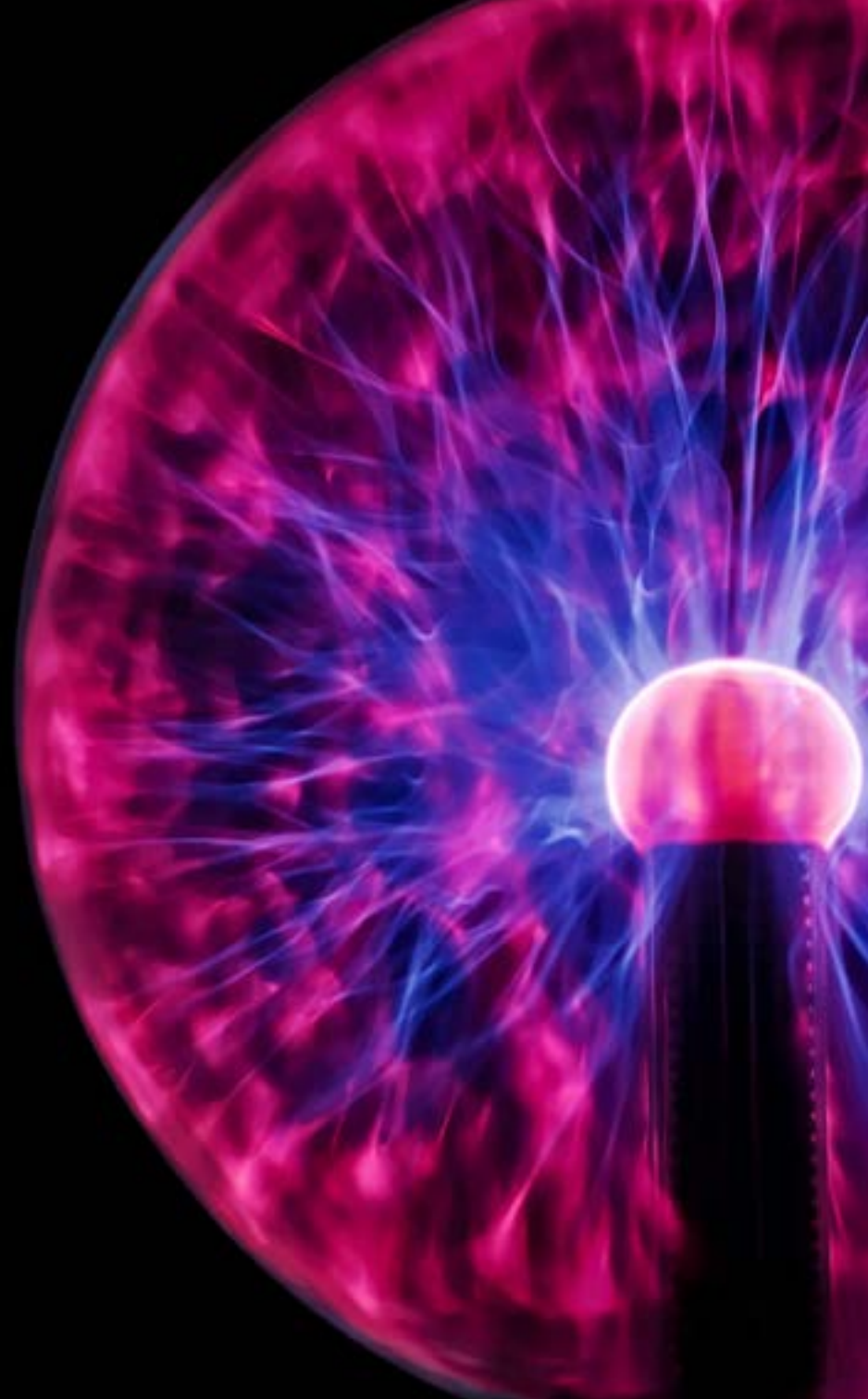
La sonda Cassini que envió la NASA, pudo detectar la increíble interacción de Encélado, una de las más de 60 lunas Luna de Saturno. Encélado desprende vapor de agua que al entrar en contacto con el campo magnético de Saturno se ioniza y forma plasma.

Foto de Selín Alejandro González Palomino, AAVAT, Saturno, Metepec Estado de México. Telescopio Meade Schmidt Cassegrain, 2034 Longitud Focal, 8" diámetro. Cámara ZWO ASI120-MC. 120 frames, junio 2022



# EL PLASMA

El plasma es un estado de la materia que se produce al someter un gas a una descarga eléctrica hasta que exista una ionización suficiente, quedando al final una materia que contiene iones, moléculas, átomos y electrones. Este estado de la materia conduce la electricidad gracias a los átomos cargados que responden a campos electromagnéticos y produce fotones, lo que crea los hermosos destellos de color que se ven en los relámpagos, las pantallas de televisión y las lámparas de plasma, por citar algunos ejemplos.



## Transformación entre los estados de la materia

La transformación entre estados de la materia ocurre cuando se les aplica un cambio de energía.

Si se calienta lo suficiente el agua se vaporiza y, si a este vapor (ej. las nubes) se le enfría, regresa a estado líquido (ej. la lluvia), mediante un fenómeno que se le llama condensación.

Cuando al agua se le enfría lo suficiente se convierte en hielo por solidificación. Y si le aplicas calor al hielo, mediante la fusión regresa a su estado líquido.

Cuando un sólido se convierte en gas se le llama sublimación y, deposición o sublimación inversa, cuando el gas se convierte en sólido, como cuando se forman los copos de nieve de las nubes.

Cuando a un gas se le aplica energía en forma de electricidad se ioniza y se forma el plasma, y al dejarle de suministrar energía el plasma regresa a su forma de gas por la desionización.



## Un plasma es un gas ionizado

Para cerrar con broche de oro este capítulo la Dra. Citlali Sánchez Aké, especialista en el estudio de los efectos de la radiación láser\*, nos contará un poco sobre la ionización y el comportamiento de los iones en el plasma.



\* !!!Un láser puede hacer un plasma!!!

## IONI... ¿QUÉ?

Dra. Citlali Sánchez Aké

Primero lo primero; recordemos que los átomos son pequeñísimas piezas de materia (100,000 veces más pequeños que el grosor de un cabello humano), formados por un núcleo (que contiene partículas neutras y partículas positivas) y electrones de carga negativa rodeando ese núcleo.

Cuando se le quita o entrega una partícula cargada a un átomo o una molécula ocurre la ionización. Cuando un átomo pierde un electrón se convierte en un ion positivo, pero ¿cómo puede ocurrir esto?

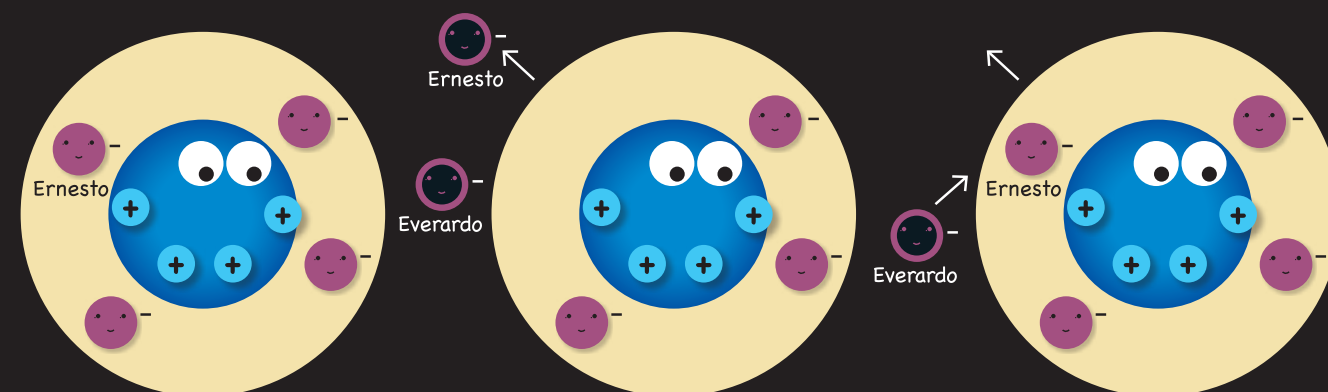
En un átomo los electrones se mueven alrededor de su núcleo en un espacio llamado orbital y están en balance dentro del átomo. Las cargas positivas y negativas son iguales en número, o sea que el núcleo tiene el mismo número

de cargas positivas que el número de electrones orbitando a su alrededor.

Si entregamos suficiente energía al átomo para que uno (o más) de sus electrones escape de su orbital creamos un ion positivo. Como resultado tendremos un electrón libre de moverse y un átomo al que le falta un electrón. La cantidad de energía para liberar un electrón se llama potencial de ionización.

Como las cargas del mismo signo se repelen, los electrones no quieren estar cerca de otros y, del mismo modo, los iones tampoco quieren estar cerca de otros iones. Es por esto que en un plasma los electrones y los iones se mueven muy rápidamente tratando de estar lo más lejos posible de partículas de su mismo signo.

## Ionización paso a paso...



**1** Imagina un átomo como una casa que comparten Nuria y Ernesto, en donde **Nuria** representa el **núcleo** del átomo y **Ernesto** uno de sus **electrones**.

**2** **Everardo**, otro **electrón**, entrega energía al átomo mediante una colisión que **libera** a **Ernesto**.

**3** Ahora **Ernesto** es libre de moverse y puede chocar con otros átomos y liberar otros electrones. A este proceso se le llama **avalancha de ionización**.

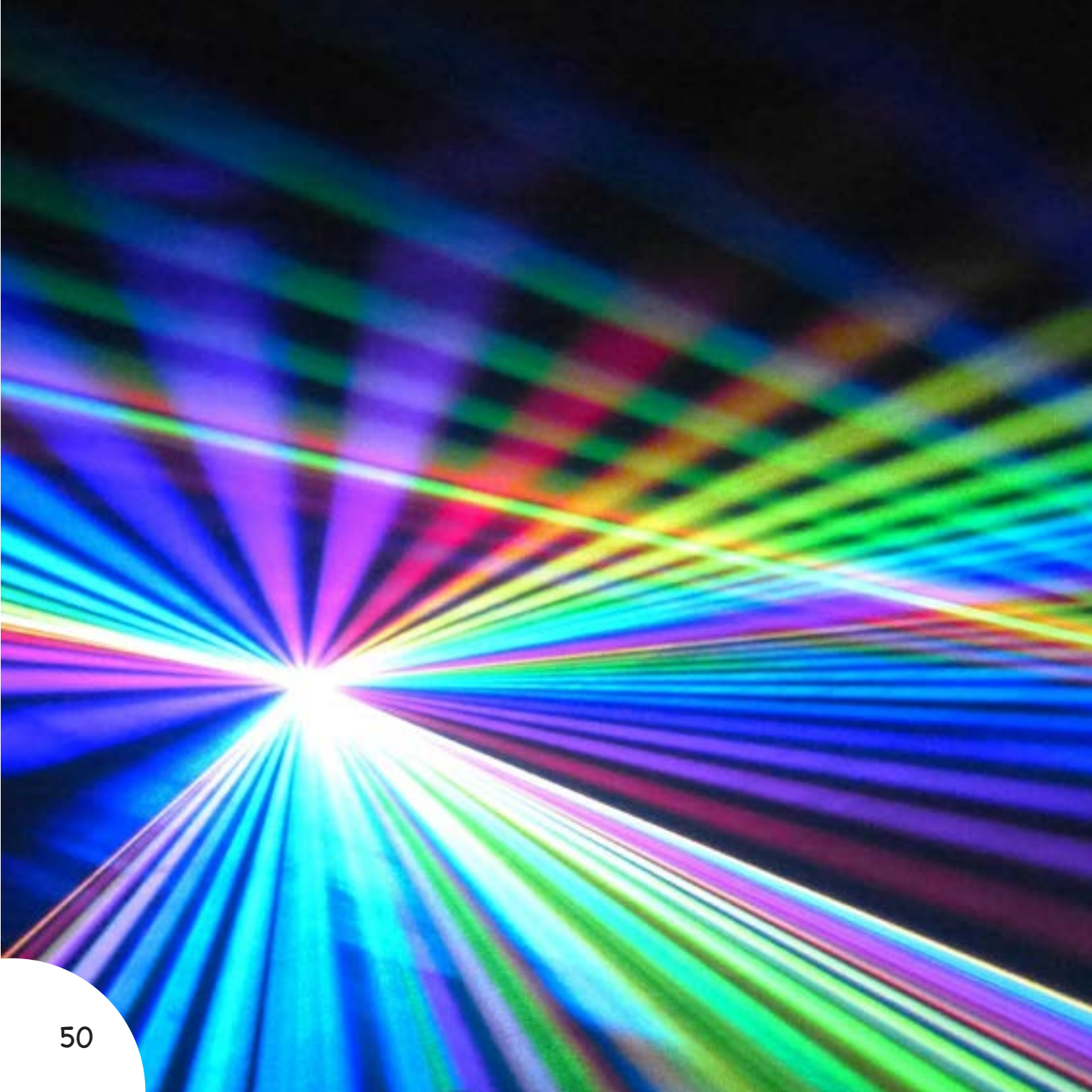




# PARTÍCULAS, ONDAS Y LUZ

La luz, ese destello luminoso, generado, por ejemplo, por centellas, es una variación del campo electromagnético que se propaga en un espacio vacío.





¿DE DÓNDE  
VIENE  
LA LUZ?

Absorción  
de energía



Cuando se aplica energía a un átomo, sus electrones comienzan a subir niveles de energía pasando de su estado fundamental a un nivel superior.

Al perder energía el electrón baja de nivel y se desprende un luminoso fotón que genera luz.



## La huella digital luminosa de los elementos

Al igual que tus huellas digitales, los elementos químicos tienen características especiales que los diferencian entre ellos, salvo que éstas son luminosas y de diferentes colores.

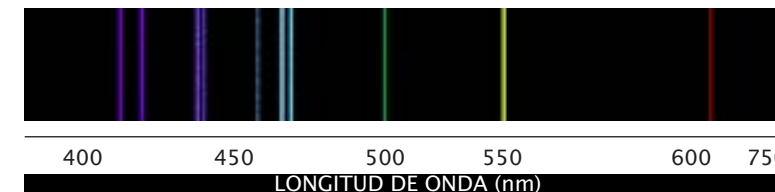
Podemos identificar a los elementos por el color que desprenden al ser sometidos a altas energías; por ejemplo, el gas helio genera un plasma de luz morada, el del kriptón es muy cercano al color blanco y el plasma de neón es color naranja.



## ¡¡¡El helio al descubierto!!!

Si queremos ver a detalle la huella de los elementos químicos necesitamos un equipo llamado monocromador.

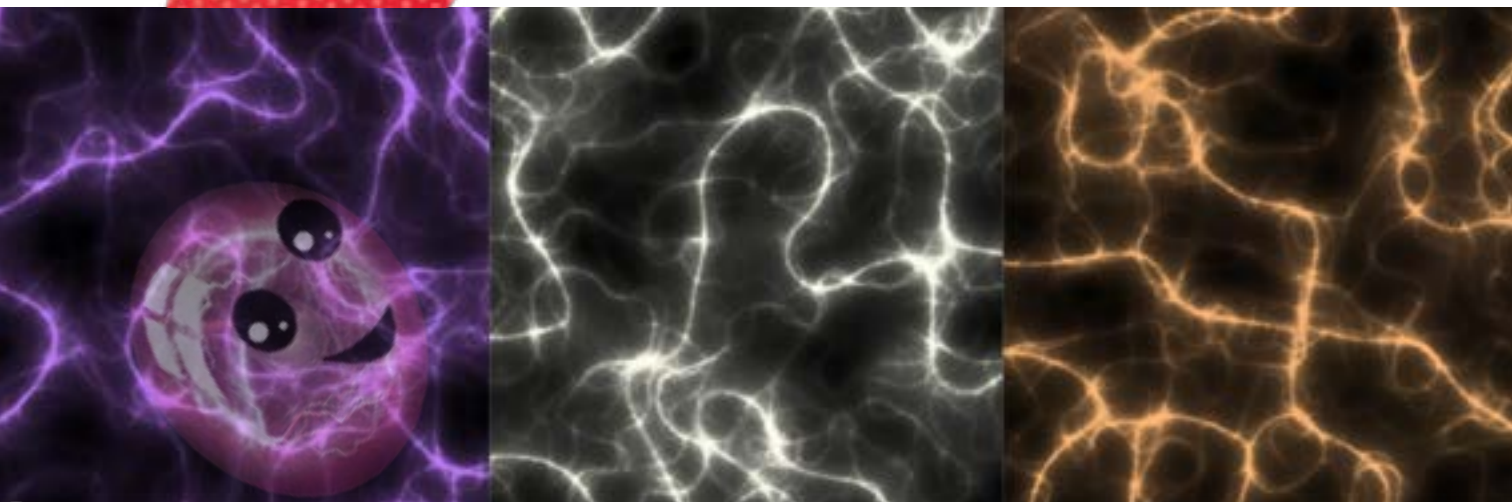
Al ingresar la luz a este equipo, la luz se descompone en líneas o bandas (conjunto de varias líneas) de emisión características de cada elemento y ubicadas en longitudes de onda bien determinadas.



En esta huella compuesta de líneas de colores se observan algunas líneas situadas en 447nm, 471nm, 502nm, 588nm, 668nm. Haciendo un trabajo digno del mejor detective podemos lograr identificar al responsable, y en este caso es el Helio.

Afortunadamente hay bases de datos\* muy completas reportadas por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos (NIST) que nos facilitan enormemente la identificación de compuestos.

Esta técnica permite identificar la composición de un plasma o hasta de sólidos si los calentamos para fundirlos, evaporarlos e ionizarlos para formar un plasma.

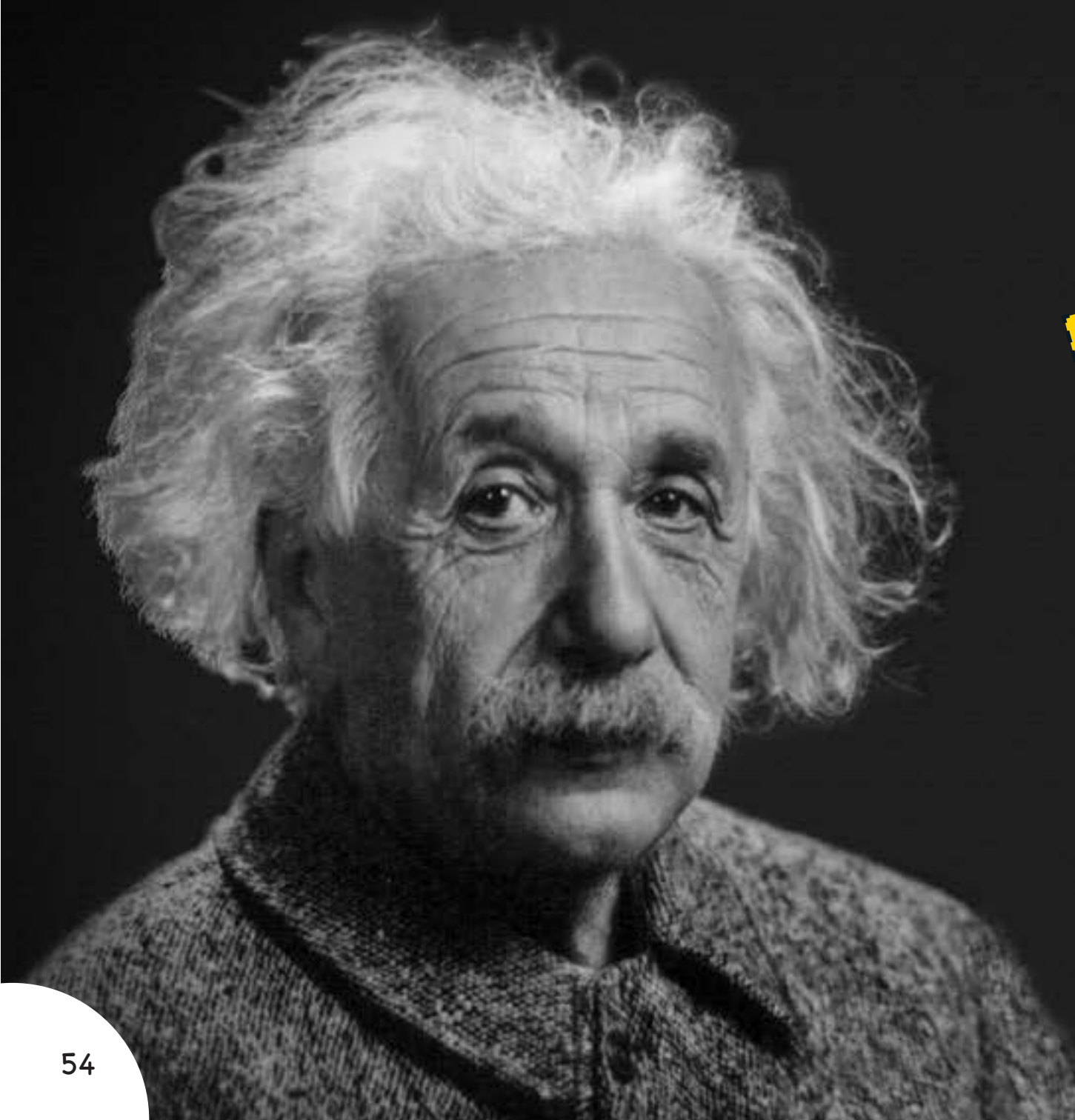


HELIO

KRIPTÓN

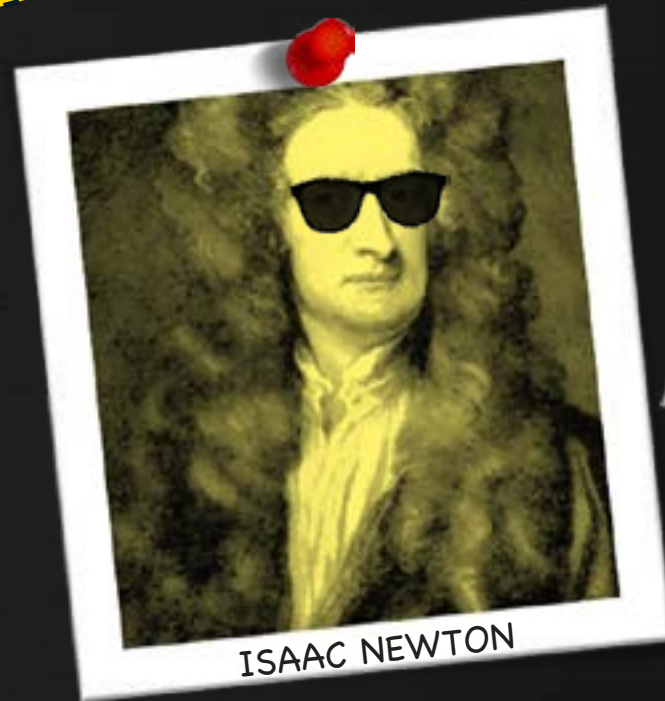
NEÓN



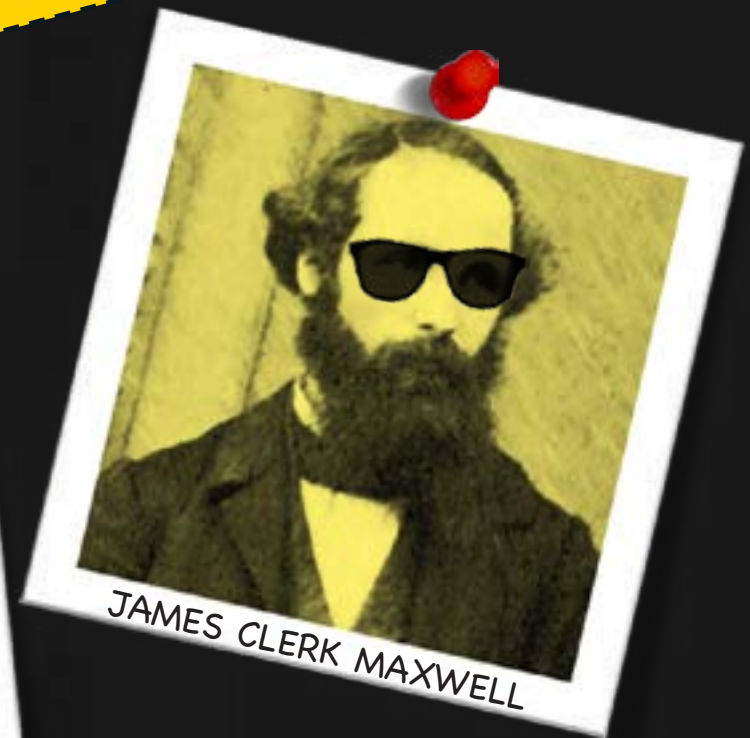


## Los ídolos de Albert

¿Te imaginas a Albert Einstein pegando en su pared las fotos de sus científicos favoritos? Pues así lo hizo con 2 personajes; él admiraba a Isaac Newton, padre de la ley de la gravitación y a James Clerk Maxwell, quien formuló la teoría del electromagnetismo y de la cual hablaremos adelante.



ISAAC NEWTON



JAMES CLERK MAXWELL





## Maxwell y las ondas electromagnéticas

Maxwell predijo la existencia de ondas asociadas a los campos electromagnéticos, similares a ondas en la superficie del agua; excepto que las ondas electromagnéticas se propagan en el espacio vacío.

Maxwell dedujo de sus ecuaciones la velocidad teórica a la que se supone que se propagan estas ondas. Su cálculo le da un resultado cercano a los 300.000 kilómetros por segundo, el mismo valor que alcanzó un experimentador francés llamado Hippolyte Fizeau cuando midió la velocidad de la luz.

Para Maxwell, esta coincidencia no podía deberse al azar: si las ondas electromagnéticas se propagaban a la misma velocidad que la luz, es porque la luz era una onda electromagnética.

## La generación de electricidad

Los metales que son conductores, contienen gran cantidad de electrones libres que son capaces de moverse de un átomo a otro. Si hacemos que los electrones libres de un conductor salten en la misma dirección y al mismo tiempo, entonces producimos un flujo, o corriente, de electrones. Si pasa un cable a través de un campo magnético generado por potentes imanes, la fuerza empuja los electrones libres de un átomo a otro y, por lo tanto, crea electricidad.





## La Radio



El micrófono recibe la voz o sonido y después la transforma en una señal eléctrica. El transmisor procesa la señal y la convierte en ondas electromagnéticas que serán enviadas a una antena receptora. Las ondas electromagnéticas van a la velocidad de la luz, se reflejan en la capa de ionosfera de la atmósfera y llegan a un receptor de antena.

Los satélites también pueden utilizarse como relés para hacer llegar las transmisiones de radio lo más lejos posible.

En algún lugar no muy lejos de donde vives, una antena emite ondas de radio. Cuando prendes tu televisión llegan a la antena receptora y crean una corriente eléctrica. Un campo eléctrico arranca los electrones de una pieza de metal que funciona como cátodo y los proyecta hacia la pantalla, en un haz muy fino que incide exactamente en los píxeles, para al final formar las interesantes imágenes que vemos.

Entre el cañón de electrones y la pantalla, hay un vacío, de modo que los electrones pueden llegar a la pantalla sin que el aire los detenga y poder tener imágenes más nítidas.

En las pantallas de plasma se utiliza una mezcla de gases (argón y xenón). Al aplicar un potencial eléctrico en el gas se forma un plasma en los píxeles que queremos iluminar. Aquí es cuando los luminóforos (como píxeles diminutos con una sustancia que emite luz al ser estimulada) convertirán esta radiación en luz roja, verde o azul. Así es como podemos crear color.





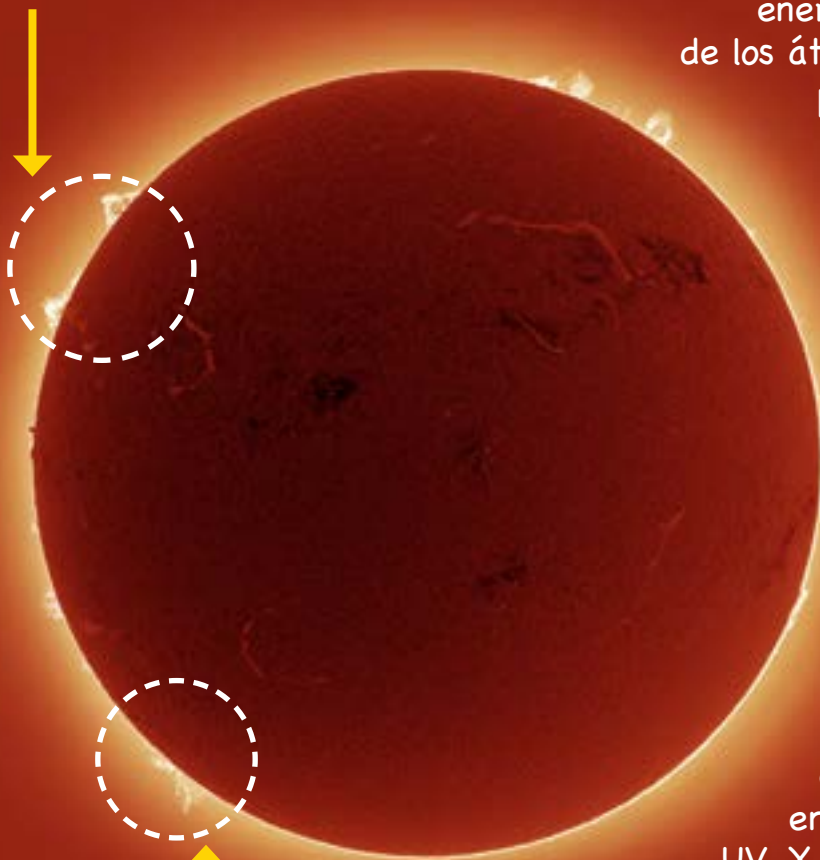
A photograph of the aurora borealis (Northern Lights) in a dark night sky. The aurora is a vibrant green, with some yellow and white highlights, appearing as a series of horizontal, wavy bands of light. The background is a deep, dark blue-black, with some faint stars visible.

# PLASMAS EN LA NATURALEZA



## El sol, esa enorme bola de plasma

ERUPCIÓN  
SOLAR



PROTUBERANCIAS  
Y FILAMENTOS  
(aproximadamente 10 000K)

En el corazón del Sol, hay suficiente energía para arrancar electrones de los átomos de hidrógeno, formados por un protón y un electrón.

Los átomos de hidrógeno se convierten en iones con carga positiva (protones).

La estrella solar es un plasma denso, formado de iones y electrones.

Las erupciones solares ocurren cuando los campos magnéticos son lo suficientemente fuertes como para vencer la atracción gravitacional. Durante la erupción se libera una enorme cantidad de energía en forma de radiación (visible, UV, X y radio), con esa energía se podría proveer de electricidad a todo el planeta durante millones de años!!!

Foto de Juan José Ortiz Servin , AAVAT, Telescopio Solar Lunt 80mm, DF=560 mm, doble etalon, filtro H-ALFA. Cámara ZWO ASI 1600, julio 2022



## Flamas

Los colores de una flama que se producen en un incendio, en una vela o en una estufa de gas podrían parecer de un plasma; sin embargo para que haya un plasma debe haber una fuerte ionización, como ocurre con las flamas de ciertos equipos para soldar. Cuando esto ocurre hay tal cantidad de iones y de electrones que la distancia entre cada una de estas partículas es muy pequeña (en una descarga de un gas en la Tierra esta distancia es de  $10^{-4}\text{m}$ ). A esta distancia se le llama longitud de Debye.

Las flamas en un incendio en un bosque pueden alcanzar  $900^{\circ}\text{C}$ , la flama de una vela cerca de  $1400^{\circ}\text{C}$ , estas temperaturas son aún bajas para crear muchos iones. Por lo tanto, estas llamas NO SON PLASMAS. Los vibrantes colores rojo-naranja-amarillo que vemos son emitidos por partículas de combustible quemadas de manera incompleta ("hollín") y están tan calientes que brillan.



## Los rayos y relámpagos

Los relámpagos y rayos son descargas eléctricas que se forman en la atmósfera entre cuerpos con cargas distintas (negativas y positivas) y tienen suficiente energía para romper y ionizar las moléculas del aire formando así el luminoso plasma.

El plasma que se forma entre las nubes es llamado relámpago y aquel que se forma entre una nube y el suelo se le conoce como rayo que se caracteriza por ser una descarga muy luminosa acompañada por un impresionante estruendo.



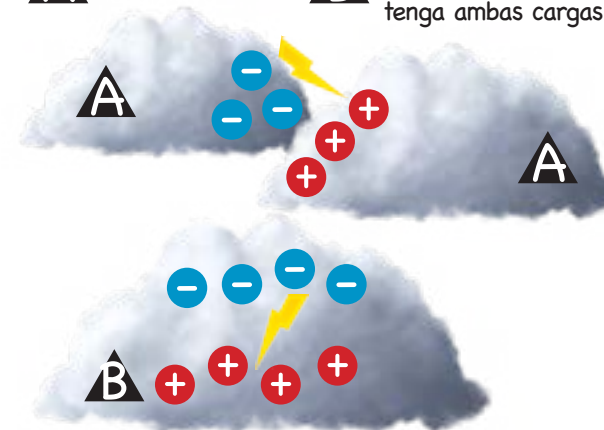
¿Cómo se forman los rayos y relámpagos?

- 1 En la nube se concentran cargas negativas  $-$
- 2 Las cargas positivas  $+$  se concentran en los objetos elevados y con conductividad eléctrica mayor que la del aire, por ejemplo construcciones, árboles, seres vivos u objetos metálicos.
- 3 El campo eléctrico va aumentando en el aire (que normalmente actúa como aislante), hasta que un flujo de electrones (como una chispa) brota de la zona negativa, éste es el precursor. La chispa permanece invisible porque se mueve demasiado rápido para que el ojo la perciba, hasta que llega al objeto (aquí lo ilustramos con un árbol) y atrae un flujo positivo. Esto forma una segunda chispa que comienza a ascender hasta formar un canal de aire ionizado o descarga eléctrica que es la que produce la línea de luz de un rayo.




LOS RELÁMPAGOS SE PUEDEN FORMAR TAMBIÉN:

**A** Entre dos nubes o **B** En una nube que tenga ambas cargas







## Pide un deseo...

Los plasmas son tan impresionantes que tienen el poder de hacernos soñar... como cuando vemos una 'estrella fugaz' y pedimos un deseo o, simplemente, como por arte de magia nos alegra el alma.

Las 'estrellas fugaces' también son plasmas que aparecen cuando un meteorito penetra a gran velocidad en la atmósfera y se produce una colisión tan brutal que fracciona al meteorito y llega a arrancar electrones, produciéndose el plasma que podemos apreciar en la cola de la 'estrella fugaz'.



## Hermosa Aurora

Las erupciones solares emiten vientos cargados de partículas energéticas que llegan hasta la magnetósfera de la Tierra. Al atravesar estos campos magnéticos las partículas ionizan el aire de la atmósfera de los polos, en este momento los electrones saltan a una capa de mayor energía. Sin embargo, los electrones quieren volver a su capa inicial porque no pueden mantenerse con esta energía por mucho tiempo y cuando regresan se emite un fotón, un pequeño estallido de luz con determinada longitud de onda.

La longitud de onda determina el color de la luz, por ejemplo los iones de nitrógeno producen luz rosa y magenta, mientras que los iones de oxígeno emiten luz verdosa. Miles de millones de átomos y moléculas que experimentan estas excitaciones electrónicas son los que producen la luz en las auroras.

Este fenómeno ocurre también en la superficie de otros planetas.



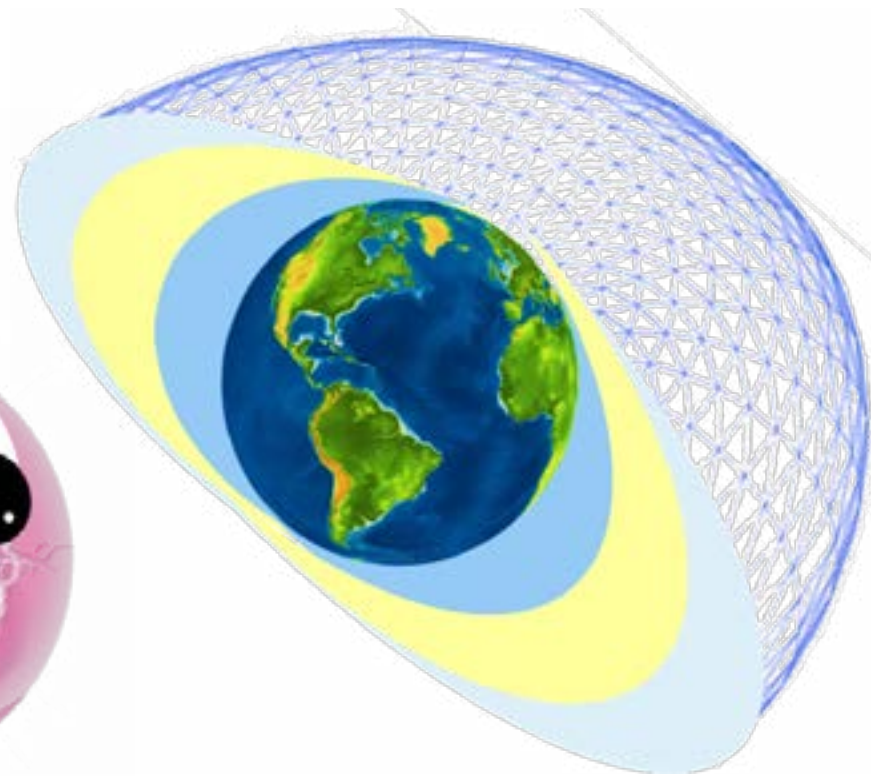
## ¿Los cinturones de quién?

En el núcleo de la Tierra existe una parte líquida de metales como hierro y níquel con un movimiento tal que genera campos magnéticos llamados magnetósfera, escudo protector de radiaciones extremas del sol y del espacio.

Los científicos han descrito estos campos magnéticos como toroides que asemejan a donas que cubren la tierra. La "dona" interna contiene iones positivos y electrones de alta energía. Esta "dona" está envuelta por otra "dona" que contiene principalmente electrones energéticos. A estas toroides de plasma se les conoce como:

### Los cinturones de Van Allen

Los campos magnéticos no pueden verse, aquí se usan colores para poder representarlos.



## Electrones que podrían viajar a la velocidad de la luz....

Existe una tercera dona que se vuelve más o menos intensa y que se encuentra entre los 2 otros cinturones de Van Allen.

Este cinturón se compone de partículas de mayor energía, conocidas como electrones ultrarrelativistas: electrones tan energéticos que se mueven cerca de la velocidad de la luz y esto sucede cada vez que el plasma se vuelve menos denso (con menos partículas).

En este mágico momento las partículas pueden aumentar de tamaño hasta 10 veces, la distancia achicarse y el tiempo ralentizarse,

**!Qué loco!, ¿no?**

Yuri Y. Shprits, et al., "Unusual stable trapping of the ultrarelativistic electrons in the Van Allen radiation belts," Nature Physics, 2013; doi:10.1038/nphys2760  
"Gyroresonant wave-particle interactions with chorus waves during extreme depletions of plasma density in the Van Allen radiation belts" by Hayley J. Allison, Yuri Y. Shprits, Irina S. Zhelavskaya, Dedong Wang and Artem G. Smirnov, 29 January 2021, Science Advances. DOI: 10.1126/sciadv.abc0380



A detailed illustration of a satellite in space. The satellite has a central body with various instruments and two large, rectangular solar panel arrays extending outwards. In the background, the Earth's blue and white horizon is visible at the bottom, and the large, cratered surface of the Moon is on the right side. The overall scene is set against the dark, starry void of space.

## Silencio interminable

¿Te imaginas el momento de incertidumbre de los astronautas al pasar por la magnetósfera durante su reentrada a la Tierra, en el que el radio de su nave deja de funcionar durante minutos?

Esto se debe a la interferencia de las ondas del radio de las naves con los campos magnéticos de la Tierra.

Otro tipo de interferencias que podría haber con las naves y satélites artificiales podrían ser los electrones ultrarrelativistas de los que hablamos antes. Estas partículas pueden tener energías tan elevadas que podrían dañar las corazas de las naves, por eso es tan importante su estudio.



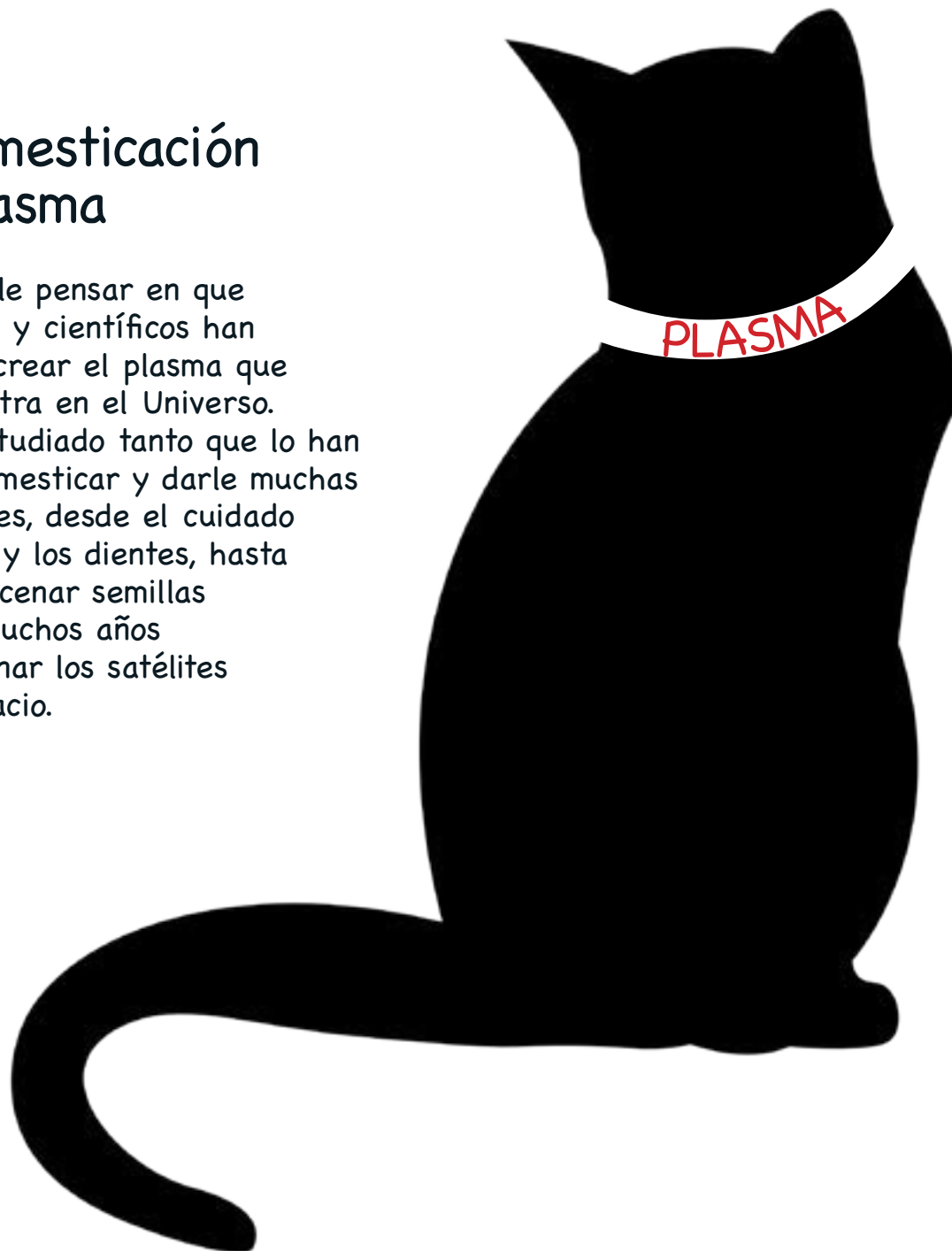


# LOS PLASMAS AYUDANDO A LA VIDA EN NUESTRO PLANETA



## La domesticación del plasma

Es increíble pensar en que científicas y científicos han podido recrear el plasma que se encuentra en el Universo. Lo han estudiado tanto que lo han podido domesticar y darle muchas aplicaciones, desde el cuidado de la piel y los dientes, hasta para almacenar semillas durante muchos años o direccionar los satélites en el espacio.



### Plasma frío o fuera de equilibrio termodinámico local (ETL)

Los electrones se mueven mucho más rápido que las moléculas más pesadas o iones. Aquí se dice que la temperatura de los electrones ( $T_e$ ) es mayor que aquella de los iones ( $T_i$ ).

$$T_e \gg T_i$$

### Plasma térmico

Los electrones se mueven tan rápido como las moléculas pesadas o iones. La temperatura de los electrones ( $T_e$ ) es similar a aquella de los iones ( $T_i$ ). Se dice que está cerca del equilibrio termodinámico porque los iones y electrones tienen temperaturas similares

$$T_e \cong T_i$$

## Tipos de Plasmas

Como recordarás el plasma es un gas ionizado compuesto de iones, moléculas y electrones. Dependiendo de la cantidad de energía que reciba el gas, podrá ionizarse en mayor o menor grado y tendrá diferentes propiedades como la velocidad a la que se mueven sus partículas (velocidad cinética o temperatura) y densidad de iones y electrones. En base a estas características se pueden clasificar los plasmas como sigue:

### Plasma de fusión

Estos plasmas también se encuentran cerca del equilibrio termodinámico, sin embargo su temperatura es superior a 100 000 000K.

En los plasmas se usan los grados Kelvin para medir temperatura.





## El nacimiento del plasma

**Había una vez...** un electrón llamado Germen que nació cuando Descarga Eléctrica abrazó a Gas Noble con tal fuerza que electroncito Germen pudo desplazarse tan rápido que al chocar con Gas Noble, creó una avalancha de luz y energía formada de más electrones como él y también de otros individuos pero más grandes y pesados llamados Iones. A este hermoso resplandor recién nacido le llamaron **Plasma**.

El electrón germen que se genera cuando se le aplica la suficiente energía (generalmente es una descarga eléctrica) a un gas noble, inicia la ionización del gas. Iones y moléculas adicionales pueden formarse a partir del aire o de la humedad que rodean al gas noble.

Se pueden crear plasmas con otros gases como los que conforman el aire, pero se necesita aplicar más energía para lograrlo. A la energía que se requiere para ionizar un gas se le conoce como potencial de ionización.

Las partículas pesadas que se forman (iones, átomos, moléculas) tienen estados de energía elevados lo que les permite destruir compuestos tóxicos. En un plasma frío se generan compuestos químicos potentes como ozono ( $O_3$ ), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), radical hidroxilo ( $\bullet OH$ ), radical oxígeno ( $\bullet O$ ), óxido de nitrógeno (NO), así como la generación de radiación ultravioleta (UV).

## Creamos materiales con plasma

La Dra. Sandra E. Rodil y la Dra. Osmary Depablos-Rivera nos introducirán en este fantástico mundo, nos explicarán cómo se forman las películas delgadas de silicio y hasta cómo un proceso de plasma puede compararse con un divertido juego de billar.



El fabuloso trabajo que realizan estas científicas no se lo imaginaban cuando eran niñas, pues a Sandra le gustaba la astronomía y Osmary quería ser maestra.



# PELÍCULAS DELGADAS

Sandra E. Rodil y Osmar Depablos-Rivera

Ya sabes lo que es un plasma...ese gas ionizado formado por átomos o moléculas neutras, iones y electrones y que además se encuentra en un estado de alta energía.

Ahora te contaremos cómo podemos usar ese plasma para hacer materiales en forma de: ¡películas delgadas!

Estas películas o capas son como una "pintura atómica" (más chica que una bacteria) que se ha colocado átomo por átomo sobre una superficie que queremos proteger o para utilizar las propiedades del material de la película.



Las películas de silicio (Si) son la base de los dispositivos electrónicos, como tu teléfono, tableta o computadora, los cuales se han reducido de tamaño justamente haciendo películas cada vez más delgadas. Otra aplicación es la creación de paneles solares para generar energía limpia.

De los plasmas utilizamos su alta energía para fabricarlas ya sea descomponiendo un gas o usando sus iones como proyectiles para arrancar átomos. Vamos a ver estos usos con dos ejemplos en las páginas siguientes.



## Obtención de Silicio a partir de Silano

Podemos hacer películas delgadas de silicio rompiendo o descomponiendo las moléculas de un gas que contenga silicio para recolectar o depositar los átomos de silicio sobre una superficie de soporte (sustrato). El gas de uso común es el silano ( $\text{SiH}_4$ ), cada una de sus moléculas contiene un átomo de silicio (Si) unido a cuatro átomos de hidrógeno (H).

Para romper los enlaces Si-H necesitamos aumentar la temperatura por encima de los  $400^\circ\text{C}$ . Pero, si en lugar de calentar, aplicamos un campo eléctrico, formamos un plasma de silano usando menos energía y con mayor rapidez. Así el proceso de plasma se hace más amigable con el ambiente.

Los átomos de Si se adhieren al sustrato (agregando átomo por átomo hasta formar una capa completa: la "pintura atómica", ¿recuerdas?), mientras que el hidrógeno prefiere formar moléculas de  $\text{H}_2$  y quedarse en forma gaseosa.

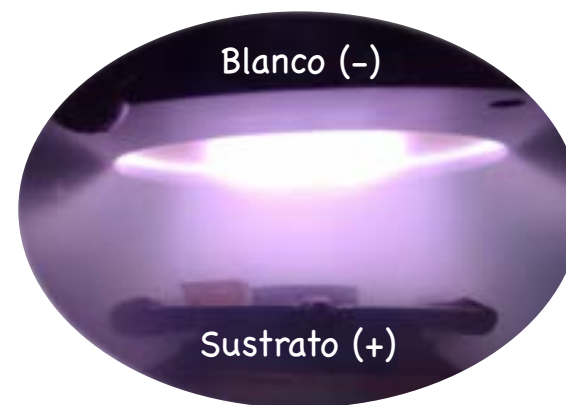
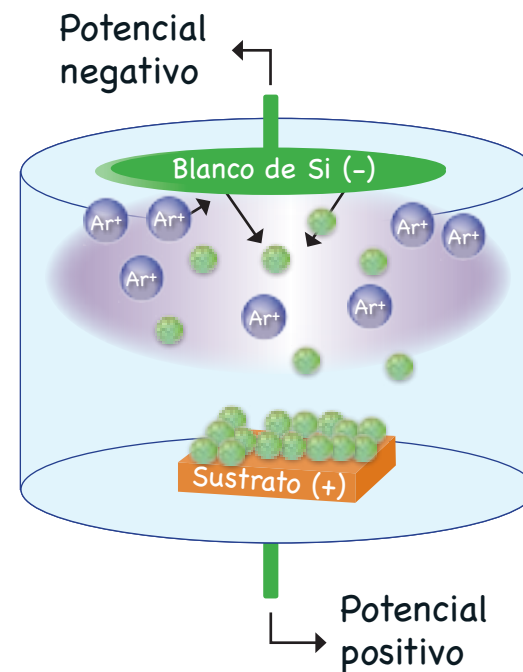


## Jugando billar con plasma

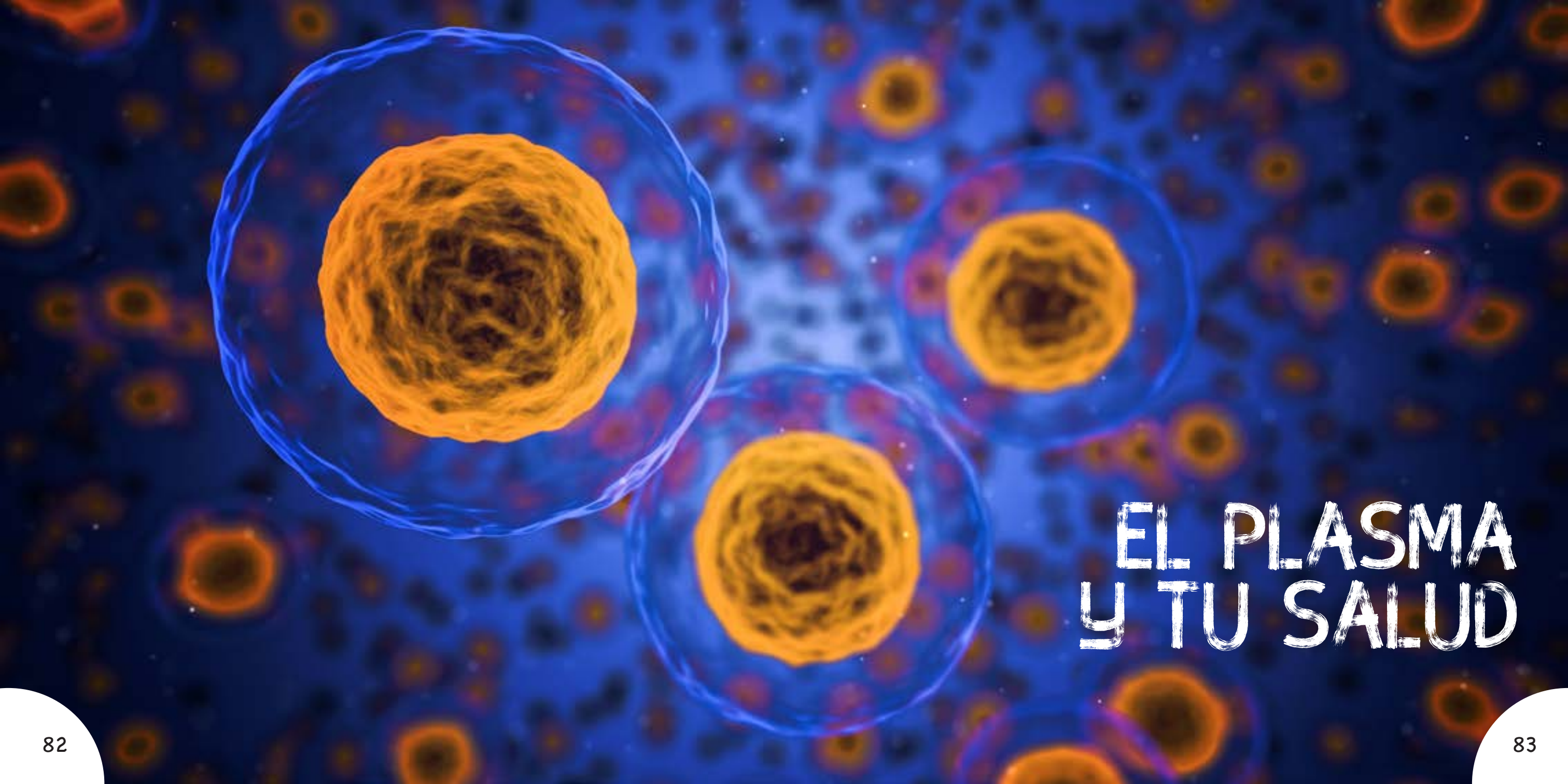
La otra forma en que podemos hacer películas de Si es muy diferente e ingeniosa, sin tener que usar el gas silano. Podemos usar los iones positivos de un plasma para jugar billar y así arrancar átomos de una superficie sólida de silicio (la cual llamamos el blanco). Primero, colocamos el blanco de Si; como segundo paso, agregamos un gas que no forme enlaces químicos con el Si. Los gases nobles son los candidatos perfectos; éstos son los que están en la última columna de la tabla periódica: He, Ne, Ar, Kr... vamos a tomar Ar porque es el más barato.

El tercer paso es crear un plasma aplicando un campo eléctrico entre el blanco de Si (lo conectamos al polo negativo) y el sustrato (lo conectamos al polo positivo), lo que generará Ar, iones positivos  $\text{Ar}^+$  y electrones.

Los iones de  $\text{Ar}^+$  son atraídos y acelerados hacia el blanco de Si (polo negativo) hasta chocar. En este choque, el ion de argón les pasa toda su energía a los átomos de Si para liberarlos. Los silicios salen disparados en dirección contraria, justo donde colocamos el sustrato y los vamos recolectando para formar la pintura atómica.







# EL PLASMA Y TU SALUD





## Los plasmas y los dentistas

Los plasmas pueden penetrar espacios microscópicos de los dientes y funcionar como un tratamiento profiláctico gracias a los compuestos químicos que se forman en el plasma (ver El nacimiento del Plasma).

El plasma puede tomar una forma tan fina como un hilo y entrar a los canales de las raíces que quedan después de extraernos un diente y desinfectarlos.

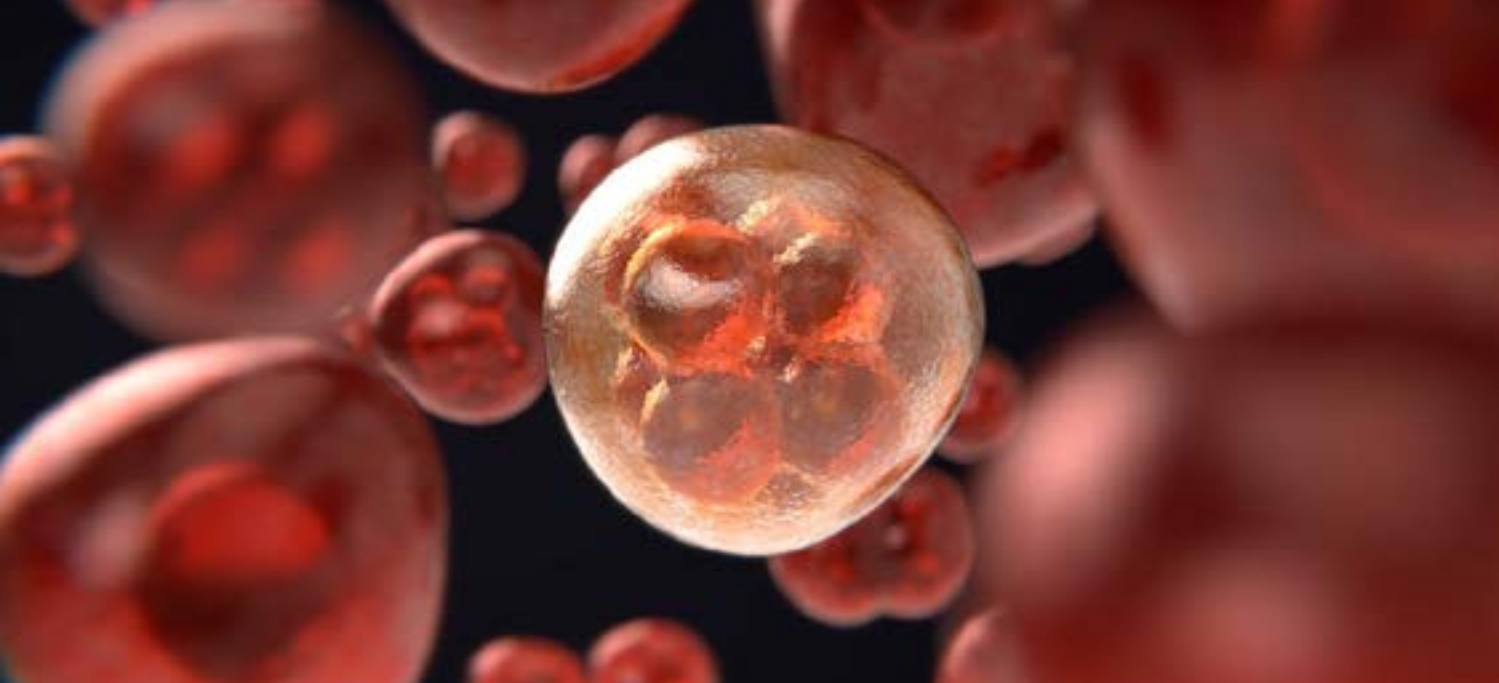
Sirve también para limpiar los implantes dentales, para que las resinas se adhieran mejor y duren más tiempo o para tratar infecciones o gingivitis y para eliminar caries.

Para que los dentistas puedan usar estos dispositivos de plasma se deben hacer más pruebas en situaciones reales (in vivo).



Borges, A. C., Kostov, K. G., Pessoa, R. S., de Abreu, G., Lima, G. D. M., Figueira, L. W., & Koga-Ito, C. Y. (2021). Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma in Dentistry. *Applied Sciences*, 11(5), 1975.  
Cha, S., & Park, Y. S. (2014). Plasma in dentistry. *Clinical plasma medicine*, 2(1), 4-10.





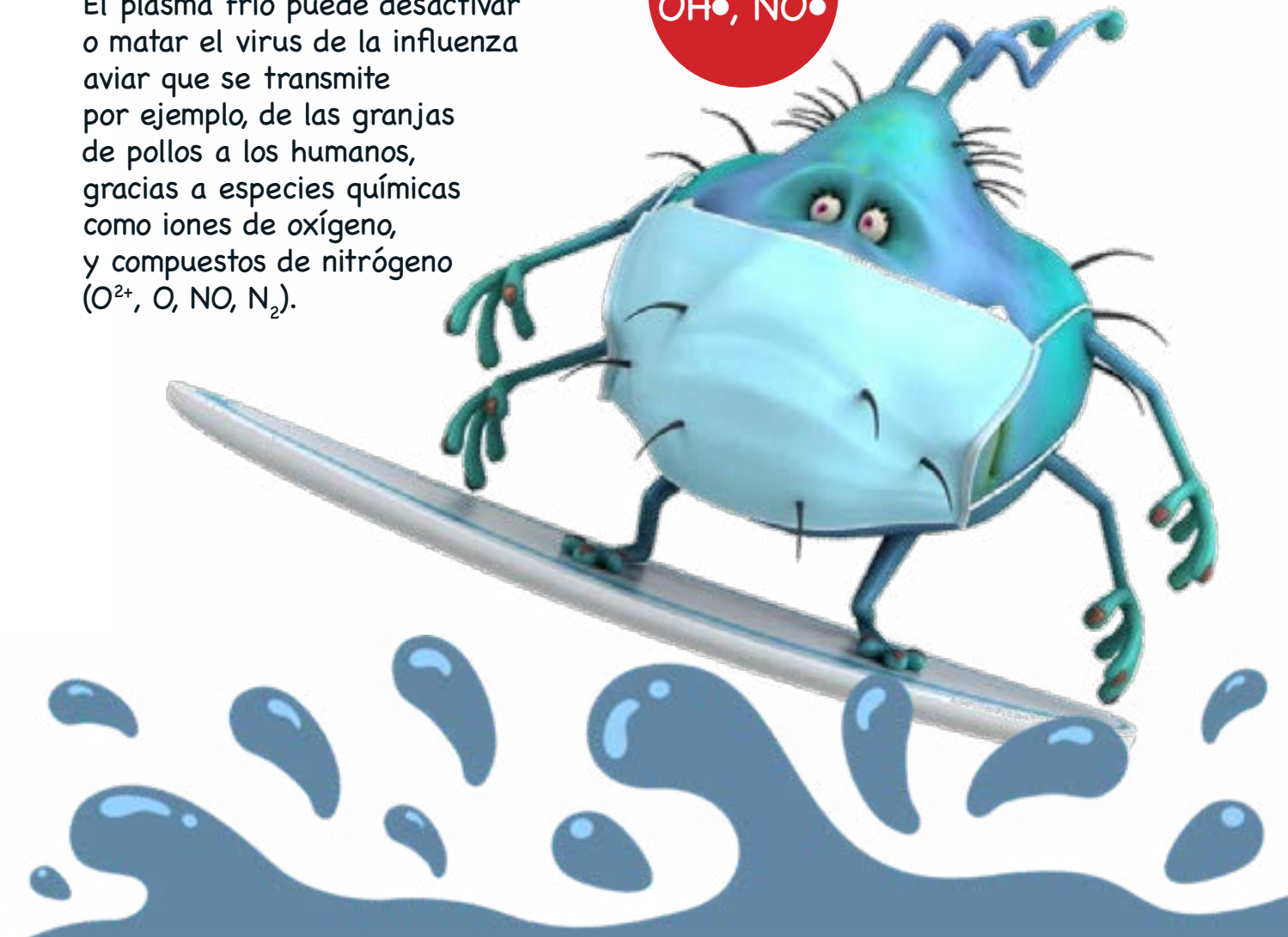
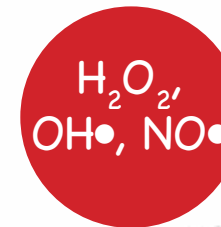
## Plasmas: esperanza para enfermedades casi imposibles de curar

Los plasmas fríos pueden servir como terapia contra el VIH o cáncer. Por ejemplo algunos componentes del plasma como  $O^{2+}$ ,  $O$ ,  $NO$ ,  $N_2$  pueden destruir al VIH si el plasma está en contacto directo con la célula dañada.

También existe la posibilidad de hacer soluciones con estos componentes y algunos otros como el  $H_2O_2$  si se ponen en contacto líquidos con el plasma. Después estos líquidos pueden lavar la superficie dañada destruyendo solamente las células cancerígenas sin dañar la parte sana. El plasma también puede sanar más rápido las heridas de las personas diabéticas.

## Desactivación de virus

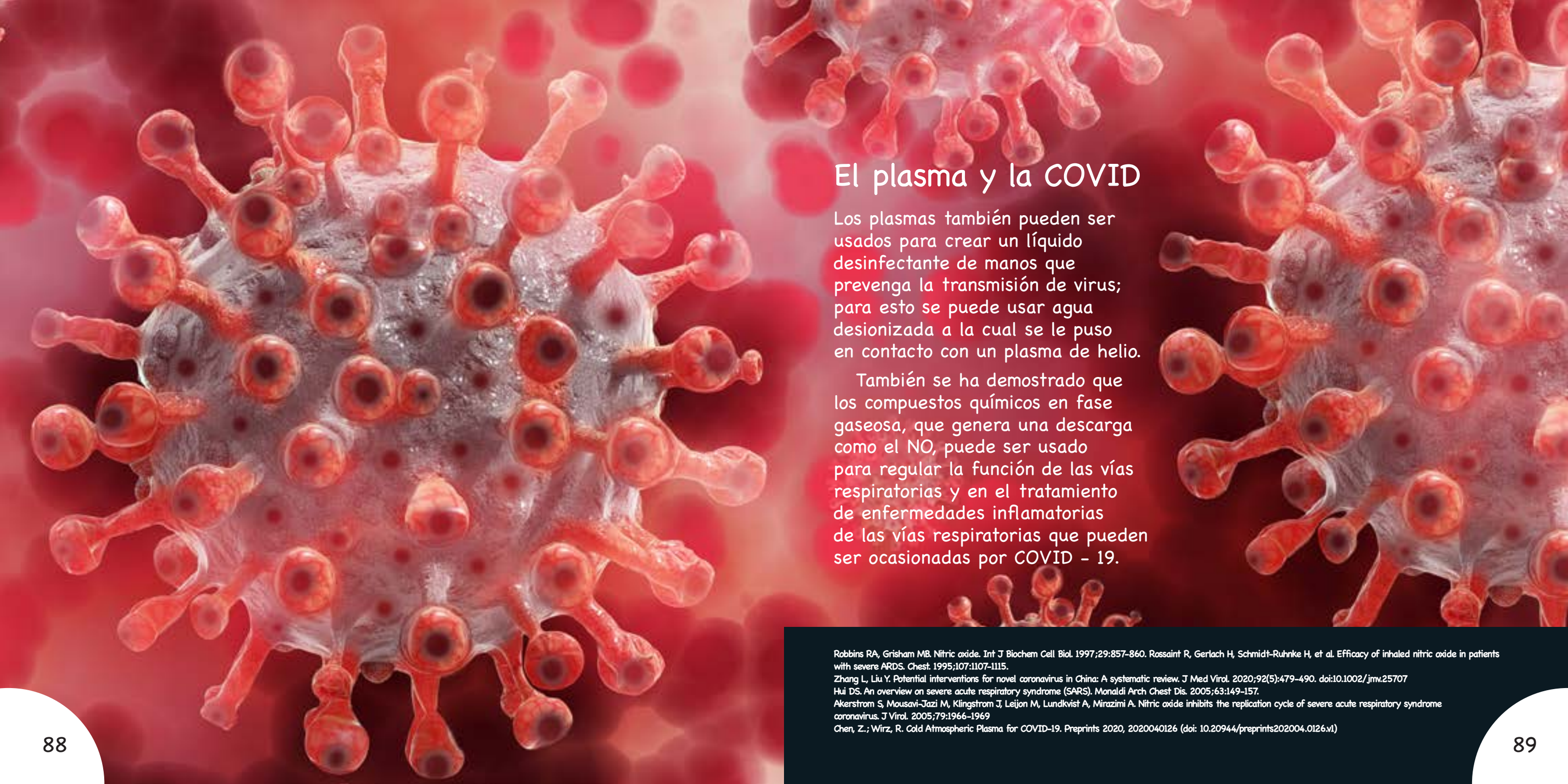
El plasma frío puede desactivar o matar el virus de la influenza aviar que se transmite por ejemplo, de las granjas de pollos a los humanos, gracias a especies químicas como iones de oxígeno, y compuestos de nitrógeno ( $O^{2+}$ ,  $O$ ,  $NO$ ,  $N_2$ ).



Volotskova O, et al (2016) Cold Atmospheric Plasma Inhibits HIV-1 Replication in Macrophages by Targeting Both the Virus and the Cells. PLOS ONE 11(10): e0165322.  
Tanaka, H., et al . (2021). Plasma-treated solutions (pts) in cancer therapy. Cancers, 13(7), 1737.  
Mirpour, S., et al (2020). Cold atmospheric plasma as an effective method to treat diabetic foot ulcers: A randomized clinical trial. Scientific Reports, 10(1), 1-9.

Su, X. et al. (2018) Inactivation efficacy of nonthermal plasma activated solutions against Newcastle disease virus Appl. Environ. Microbiol. 84, e02836-17  
Sakudo, A., et al . (2014).  $N_2$  gas plasma inactivates influenza virus mediated by oxidative stress. Frontiers in bioscience (Elite edition), 6, 69.  
Mohamed, H. et al (2021). Non-thermal plasma as a novel strategy for treating or preventing viral infection and associated disease. Frontiers in Physics, 9, 286.





## El plasma y la COVID

Los plasmas también pueden ser usados para crear un líquido desinfectante de manos que prevenga la transmisión de virus; para esto se puede usar agua desionizada a la cual se le puso en contacto con un plasma de helio.

También se ha demostrado que los compuestos químicos en fase gaseosa, que genera una descarga como el NO, puede ser usado para regular la función de las vías respiratorias y en el tratamiento de enfermedades inflamatorias de las vías respiratorias que pueden ser ocasionadas por COVID - 19.

Robbins RA, Grisham MB. Nitric oxide. *Int J Biochem Cell Biol.* 1997;29:857-860. Rossaint R, Gerlach H, Schmidt-Ruhnke H, et al. Efficacy of inhaled nitric oxide in patients with severe ARDS. *Chest.* 1995;107:1107-1115.


Zhang L, Liu Y. Potential interventions for novel coronavirus in China: A systematic review. *J Med Virol.* 2020;92(5):479-490. doi:10.1002/jmv.25707

Hui DS. An overview on severe acute respiratory syndrome (SARS). *Monaldi Arch Chest Dis.* 2005;63:149-157.

Akerstrom S, Mousavi-Jazi M, Klingstrom J, Leijon M, Lundkvist A, Mirazimi A. Nitric oxide inhibits the replication cycle of severe acute respiratory syndrome coronavirus. *J Virol.* 2005;79:1966-1969

Chen, Z.; Wirz, R. Cold Atmospheric Plasma for COVID-19. Preprints 2020, 2020040126 (doi: 10.20944/preprints202004.0126.v1)





# PLASMAS EN LA AGRICULTURA

**A**ctualmente enfrentamos una escasez de alimentos debido a que hay un aumento constante de los humanos en el planeta (se esperan 10 mil millones de habitantes en la Tierra para el año 2050).

Adicionalmente hay problemas como el cambio climático, la escasez de agua, la toxicidad y la deficiencia de minerales en los suelos, que inducen a condiciones de estrés en las semillas y que inhiben la germinación y el crecimiento adecuado de las plantas.

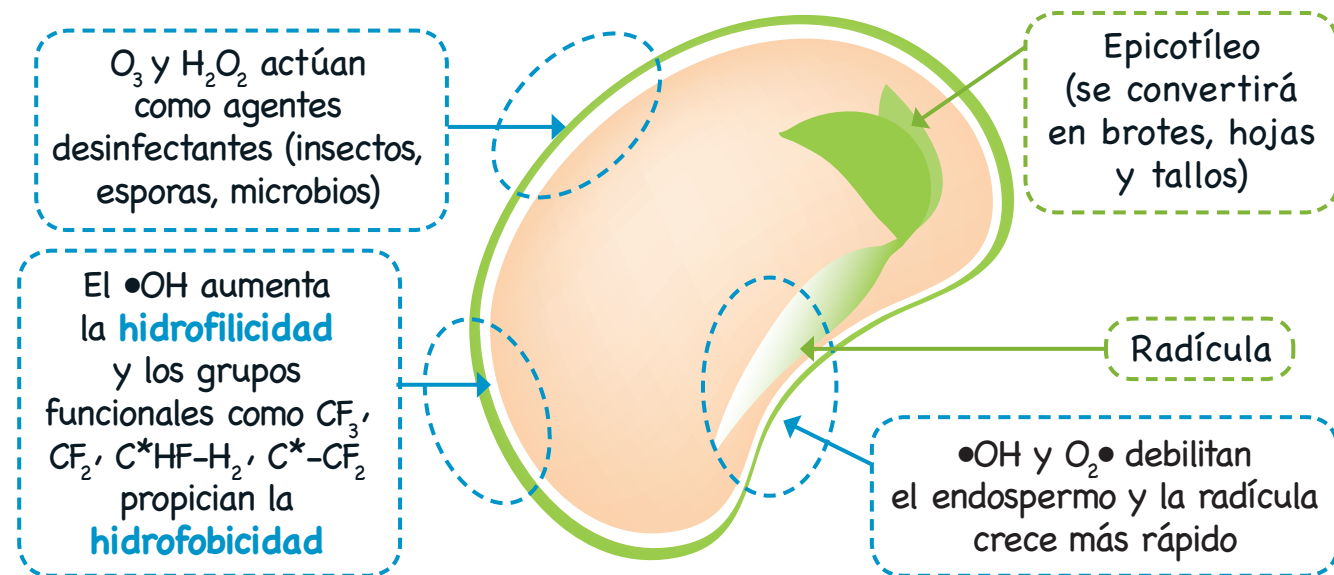
El uso de la tecnología de plasma puede apoyar a mejorar el crecimiento de las plantas.



## Crecimiento de plantas y almacenamiento duradero de semillas

Los compuestos químicos del plasma pueden acelerar el tiempo de germinación y de crecimiento de las plantas, disminuyendo además el consumo de agua. Esto se explica porque algunos radicales del plasma ( $\bullet\text{OH}$  y  $\text{O}_2\bullet$ ) desgastan la superficie de donde sale la raíz (radícula). El  $\bullet\text{OH}$  sirve además para que la semilla absorba más rápido el agua.

Si a un plasma de helio, se le agrega otro gas con compuestos de flúor, se formarían otros radicales como  $\text{CF}_3\bullet$ ,  $\text{CF}_2\bullet$ , etc... que servirían para formar una capa protectora en la semilla y evitar que la humedad penetre y germine. Esto se podría utilizar para guardar intactas las semillas durante mucho tiempo en almacenamiento sin que pierdan sus propiedades.



## Control de patógenos y contaminantes

Se han hecho estudios de la aplicación del plasma frío para descontaminar semillas, por ejemplo se han limpiado de bacterias como la llamada *Escherichia coli* (E. coli) que se encuentra en residuos fecales.

El plasma puede ser tan eficaz que incluso mata pequeños insectos como el pulgón, por ejemplo el ozono que produce el plasma mata las células del sistema respiratorio de los pulgones y estos mueren por asfixia.

Si ponemos en contacto un plasma frío con agua, ésta puede ser después usada para regar las plantas y fumigarlas, así se sustituirían los nocivos insecticidas por una opción más amigable con el ambiente.

Bourke, P., et al. (2017). Microbiological interactions with cold plasma. *Journal of applied microbiology*, 123(2), 308-324.

Richards, S. L., et al. (2014). The hydroxyl radical in plants: from seed to seed. *Journal of experimental botany*, 66(1), 37-46

Măgureanu, M., et al. (2018). Stimulation of the germination and early growth of tomato seeds by non-thermal plasma. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 38(5), 989-1001.

Ohta, T. (2016). Plasma in agriculture. *Cold Plasma in Food and Agriculture*, 205-221.

Hashizume, H., Ohta, T., Fengdong, J., Takeda, K., Ishikawa, K., Hori, M., & Ito, M. (2013). Inactivation effects of neutral reactive-oxygen species on *Penicillium digitatum* spores using non-equilibrium atmospheric-pressure oxygen radical source. *Applied Physics Letters*, 103(15), 153708.



A vibrant, stylized illustration of tropical leaves in shades of teal, blue, and orange, filling the background of the left page.

# AL CUIDADO DE NUESTRO PLANETA TIERRA



**N**uestro Planeta está enfermo de tanta contaminación, los plasmas pueden ayudarlo.

Los componentes del plasma no solo pueden exterminar virus y bacterias sino también contaminantes del aire, del agua y del suelo, así como crear energía y combustibles limpios.



Aire contaminado



Aire limpio

## PLASMA PARA PURIFICAR EL AIRE QUE RESPIRAMOS

Los plasmas fríos pueden destruir los gases tóxicos que emiten automóviles y fábricas. Estos residuos pueden causar olores desagradables, enfermedades respiratorias graves, lluvia ácida y hasta el cambio climático.

El dispositivo de plasma se puede colocar a la salida de los tubos de escape de los automóviles o en las chimeneas de las

industrias y salir casi completamente limpio!!! Un filtro adicional a la salida del dispositivo de plasma puede eliminar ácidos y material particulado que no pudieron ser destruidos por el plasma.

Faltan los últimos pasos en la investigación para poderlos ver purificando el aire. ¿No te gustaría ser la próxima persona que logre esta hazaña?

Alva, E., et al (2015). Nitrogen oxides and methane treatment by non-thermal plasma. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 591, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.  
N. Estrada, et al, (2011) "Chemical and electrical diagnosis of two configurations of dielectric barrier discharges applied to nitric oxides degradation", Superficies y Vacío, Vol. 24, No. 3, pp 88-91.  
Holub, M., et al. (2014). Plasma supported odour removal from waste air in water treatment plants: An industrial case study. Aerosol and Air Quality Research, 14(3), 697-707.



# PLASMAS PARA CUIDAR EL AGUA

Los plasmas pueden tratar los residuos de agua de empresas farmacéuticas, de sedimentos marinos contaminados, estanques de oxidación, áreas de decapado y pulverización de pintura, áreas en donde se mezclan pesticidas y herbicidas. Estos residuos generalmente contienen compuestos halogenados (bromo, cloro, flúor) y pueden causar cáncer, entre otras enfermedades graves.



Kim, H. J., Won, C. H., & Kim, H. W. (2018). Pathogen deactivation of glow discharge cold plasma while treating organic and inorganic pollutants of slaughterhouse wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(7), 1-10.  
Tang, S., Yuan, D., Rao, Y., Zhang, J., Qu, Y., & Gu, J. (2018). Evaluation of antibiotic oxytetracycline removal in water using a gas phase dielectric barrier discharge plasma. *Journal of environmental management*, 226, 22-29.  
Bruggeman, P. J., Bogaerts, A., Pouvesle, J. M., Robert, E., & Szili, E. J. (2021). Plasma-liquid interactions. *Journal of Applied Physics*, 130(20), 200401.

AGUA CONTAMINADA con residuos de industrias farmacéuticas, con pintura, aceites...

REACTOR DE PLASMA

Después de un proceso de tratamiento de plasma el agua puede quedar POTABLE.

Pag 94. Colocar un circulito antes de OH, asi: □OH

## Plasmas para destruir contaminantes muy tóxicos del agua

Los plasmas pueden tratar agua contaminada; sin embargo, debido a que es más difícil mantener el contacto directo del plasma dentro del agua (porque se apaga o extingue el plasma), se sugiere que se aplique en pequeñas cantidades de agua con contaminantes muy peligrosos que no pueden ser tratados por otro tipo de técnicas. Estos contaminantes pueden ser aquellos que son desechados por la industria farmacéutica, mejor conocidos como contaminantes emergentes.

Los radicales  $\bullet\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  u ozono que se forman en un plasma frío son muy importantes para degradar rápida y eficientemente estos contaminantes.



# PLASMAS Y CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático en nuestro Planeta es ya una realidad muy triste. El secretario general de la ONU advierte que "vamos en la dirección equivocada" y que "el mundo sigue un rumbo catastrófico" ya que con el ritmo de vida que llevamos, para el año 2100 la temperatura en nuestro planeta aumentará 2.7°C, lo que implicará la aparición de fenómenos climáticos desastrosos.

En este aspecto los plasmas fríos podrían ayudar a descomponer los gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), que salen de industrias que aún funcionan con combustibles fósiles, y hasta para generar energía limpia como la producida por los reactores nucleares.



¿Es posible destruir los gases de efecto invernadero y al mismo tiempo generar combustibles limpios?

¡Sí! Cuando hacemos pasar los gases de efecto invernadero a través de un reactor de plasma, éstos se transforman en combustible limpio.



Si durante la generación de un plasma frío, se va subiendo la potencia a 200W o a casi 1000W, el plasma tendrá la energía suficiente para romper moléculas de los GEI y generar hidrógeno (H<sub>2</sub>), y/o una mezcla de CO y H<sub>2</sub> (se le llama syngas) o metanol que pueden ser usados como combustibles limpios.

Otra ventaja es que el proceso de plasma puede tratar de 10 a 100 veces más volumen de GEI que los procesos convencionales de electrocatalisis.



Por ejemplo, en los rellenos sanitarios donde va a parar la basura, se almacenan los gases del biodigestor, si una parte de éstos se les aplicara plasma se generaría H<sub>2</sub>, el gas más limpio y energético que existe.

Li, D., Rohani, V., Fabry, F., Ramaswamy, A. P., Sennour, M., & Fulcheri, L. (2020). Direct conversion of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> into liquid chemicals by plasma-catalysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 261, 118228.  
Pacheco, J., Valdivia, R., Pacheco, M., & Clemente, A. (2020). H<sub>2</sub> yielding rate comparison in a warm plasma reactor and thermal cracking furnace. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(55), 31243-31254.  
J. Pacheco, R. Valdivia, M. Pacheco, J. J. Montoya, J. A. Salazar, "Warm Plasma Torch for Hydrocarbon Reforming," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 46, no. 7, pp. 2413-2419, July 2018. doi: 10.1109/TPS.2018.2826445



Reactores nucleares: plasmas que generan energía limpia



En esta crisis climática, la generación de energía con reactores nucleares, además de otras fuentes renovables como la solar y eólica, son la solución.

Para generar energía, estos reactores utilizan un plasma de fisión, esta sección la explicará Raquel Heredia.

Desde niña Raquel era muy curiosa, siempre quería entender cómo funcionaba el mundo a su alrededor y, ahora, investiga la sustentabilidad de los sistemas de generación de electricidad. Le encanta conocer nuevas personas, cosas y lugares. Su sueño es lograr llevar electricidad limpia a todo el mundo.

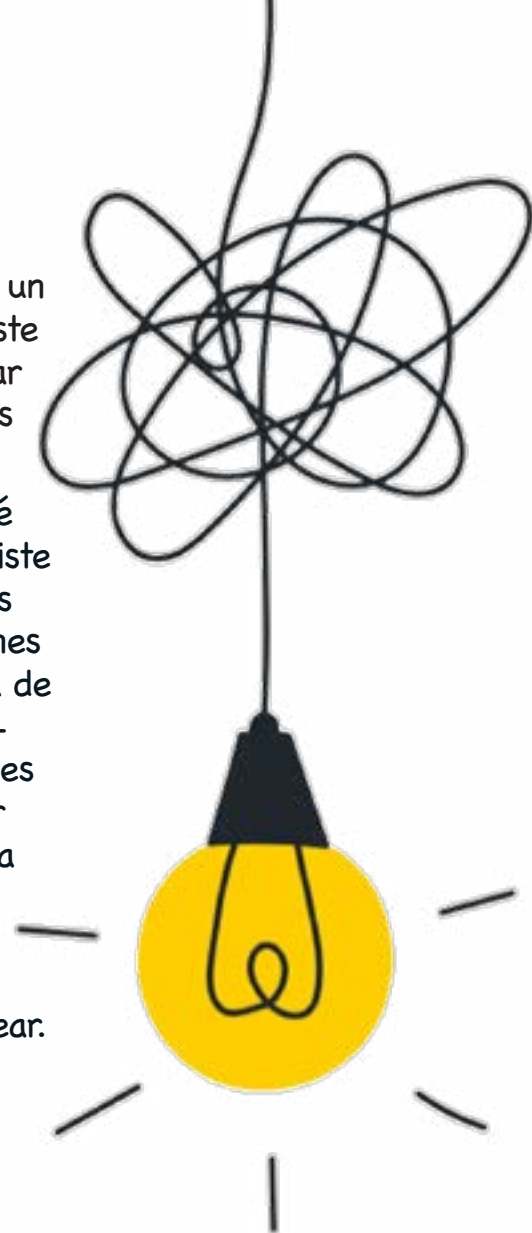




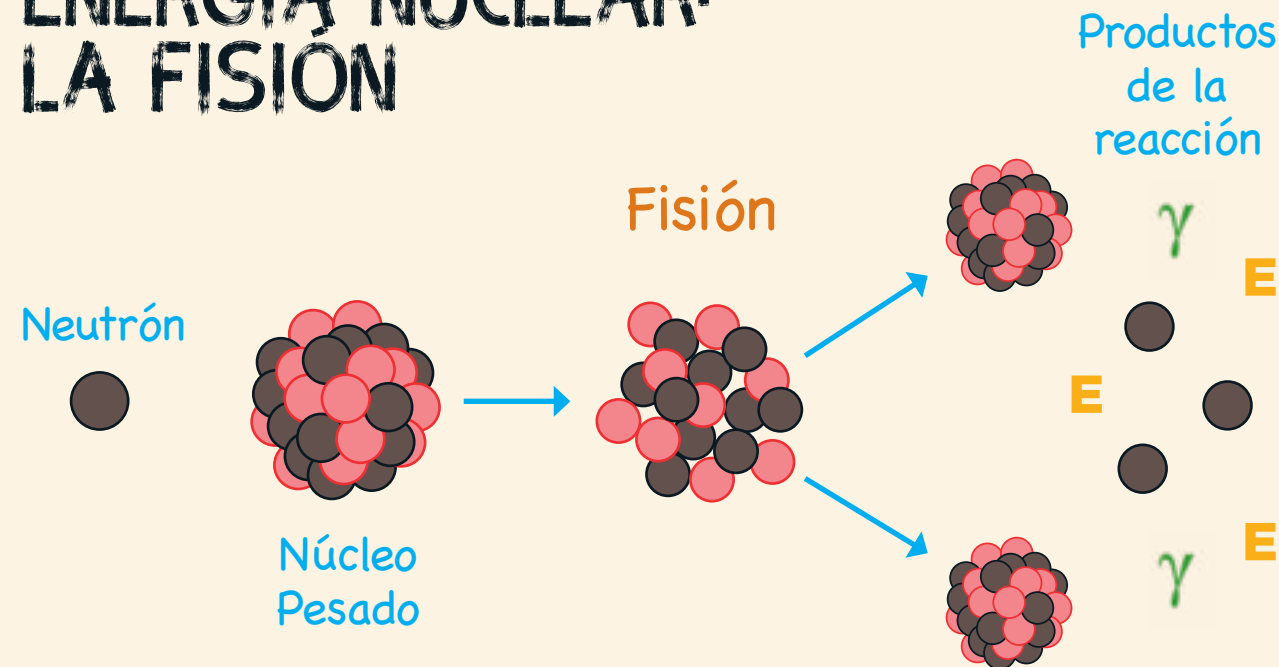
Quizás alguna vez hayas escuchado hablar de las centrales nucleares y la energía que se genera en ellas, a la cuál comúnmente nos referimos como Energía Nuclear. Y tal vez tu mente curiosa se detuvo un segundo a preguntarse ¿y cómo funciona eso? Si es este el caso ó si esta es la primera vez que escuchas hablar de esta energía, ¡abróchate el cinturón! Por qué vamos a embarcarnos en una gran aventura para descubrirlo.

Primero, empecemos por la pregunta del millón ¿qué es la energía nuclear?. En capítulos anteriores aprendiste sobre los átomos, sus partes y más. Recordarás que los átomos tienen un núcleo en el que encontramos protones y neutrones. Mantener a este núcleo unido es la tarea de diferentes fuerzas, entre ellas la fuerza nuclear fuerte. Si el núcleo se separa puede llegar a liberar grandes cantidades de energía en forma de calor. Es este calor el que vamos a aprovechar en un Reactor Nuclear para generar electricidad. Te preguntarás ¿electricidad? ¿como la que tenemos en casa al prender la luz? Así es, esta tarde cuando prendas la luz antes de dormir recuerda que esta podría provenir de una central nuclear.

Entonces, ¿cómo se libera esta energía contenida en el núcleo? Por medio de reacciones nucleares. Para esta aventura nos vamos a centrar en la reacción de fisión. Ya que esta es la reacción que se utiliza hoy día en todo el mundo para producir electricidad a partir de energía nuclear.



## ENERGÍA NUCLEAR: LA FISIÓN



La fisión es una reacción en la que el núcleo de un átomo se divide en dos o más núcleos más pequeños, liberando al mismo tiempo grandes cantidades de energía en forma de calor y radiación. Un ejemplo es cuando un neutrón impacta el núcleo de un átomo de uranio 235 ( $^{235}\text{U}$ ), provocando que se divida en un núcleo de bario y un núcleo de criptón, liberando también dos o tres neutrones y energía. Para poder aprovechar esta energía necesitamos que muchos núcleos se fisionen; esto es lo que hacemos en un reactor nuclear.

Dentro de un reactor nuclear tenemos muchos núcleos de  $^{235}\text{U}$ . Cuando uno de ellos se fisiona liberando neutrones estos impactarán otros átomos de uranio 235, que también se dividirán y generarán, a su vez, más neutrones en un efecto multiplicador, desatando así una reacción en cadena. Gracias a la cual podemos producir el calor necesario y aprovecharlo.



# ENERGÍA NUCLEAR: TRANSFORMAR ELECTRICIDAD EN CALOR

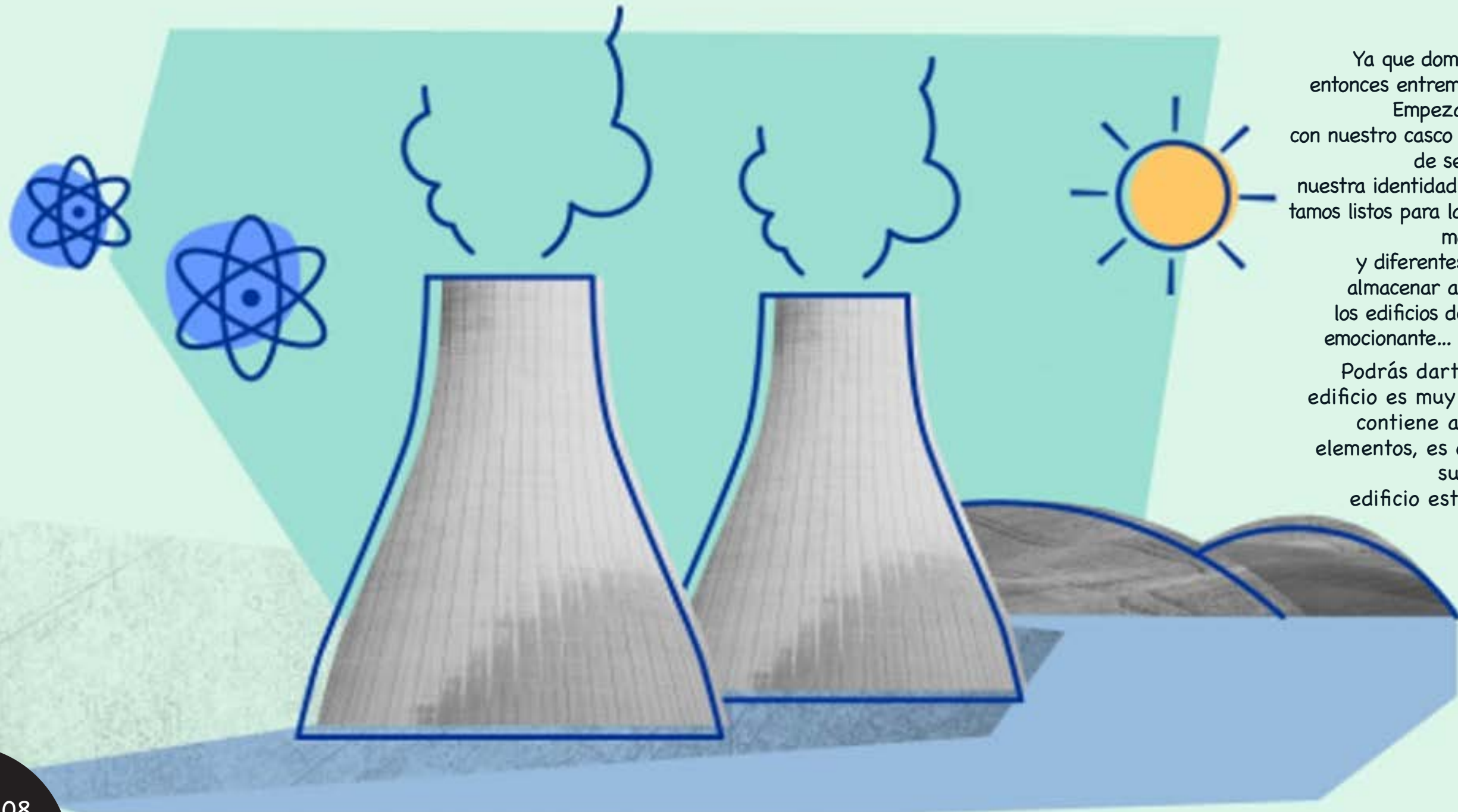
Ahora, ¿cómo transformamos ese calor en electricidad? Si sabes como funciona una central termoeléctrica de carbón, gas o combustóleo, entonces sabes cómo funciona una central nuclear ya que éstas también son centrales termoeléctricas. Pero, hay una muy importante diferencia, las centrales nucleares no emiten  $\text{CO}_2$  por lo que son una fuente de energía limpia; pero no nos adelantemos.

En una central termoeléctrica vamos a utilizar una fuente de calor para convertir un líquido, por ejemplo agua, en vapor a alta temperatura. Luego utilizaremos este vapor para mover una serie de turbinas y con un generador transformar esta energía de movimiento en energía eléctrica. En el caso de las centrales de carbón, gas, etc.. generamos calor por medio de la reacción de combustión y en las nucleares por medio de la fisión.



¿Cómo puedes ver esto más fácilmente? Imagina que vas a preparar una deliciosa comida, y pones a hervir agua en una tetera. Cuando el agua está hirviendo puedes ver vapor salir por el pequeño hoyo que tiene. Ahora si colocamos un rehilete de tal forma que el vapor pegara en sus aspas estas se moverían y entonces habríamos transformado energía calorífica en energía de movimiento. Ahora bien, si ese rehilete lo conectamos a un generador, entonces esa energía de movimiento se podría transformar en energía eléctrica.





Ya que dominamos estos conceptos entonces entremos a la central nuclear. Empezamos el viaje equipados con nuestro casco y dosímetro en el área de seguridad. Aquí verifican nuestra identidad y se aseguran que estamos listos para la visita. Entrando podemos ver muchos jardines y diferentes edificios algunos para almacenar agua, otros combustible, los edificios de las turbinas y el más emocionante... ¡El edificio del reactor!

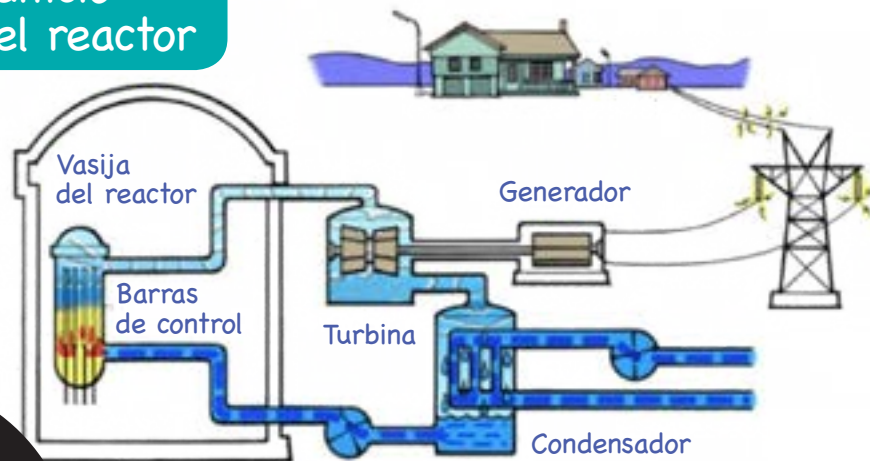
Podrás darte cuenta de que este edificio es muy alto, esto es por que contiene al reactor y todos sus elementos, es dentro de este donde sucederá la fisión. Este edificio está hecho de hormigón y acero que van a proteger la vasija del reactor de cualquier cosa como huracanes, tormentas y terremotos.



Dentro del reactor existen diferentes equipos como las barras de combustible, las de control y el moderador. Todos estos elementos van a ayudarnos a contener y controlar la reacción en cadena para asegurarnos de que se produzca la cantidad de calor exacta que necesitamos, ni más ni menos.

Junto a este edificio vamos a encontrar el edificio de turbinas y los sistemas de enfriamiento. El vapor que generamos en el reactor va a mover las turbinas y gracias a diferentes elementos y sistemas vamos a poder retirar calor de este vapor y regresarlo a su estado líquido. De esta forma recuperamos el agua que usamos para que vuelva a entrar a la zona del reactor y se vuelva a transformar en vapor empezando de nuevo el ciclo ¿no te parece fascinante? Pero antes de regresar al sistema el vapor va a mover las turbinas y gracias al generador vamos a poder producir electricidad para que llegue a todos lados donde la necesitemos.

## Edificio del reactor



Quizás te estés preguntando ¿y quién opera todo esto? Bueno, ciertamente como intervienen muchos equipos vamos a tener muchas personas haciendo diferentes tareas.



Pero, las centrales nucleares tienen una especie de "cerebro" que es el cuarto de control. Es aquí donde las y los operadores pueden monitorear y controlar todo lo que sucede en el reactor. Y es aquí donde vamos a concluir nuestra aventura del día de hoy en la que aprendimos cómo vamos desde los átomos a la electricidad.

Ahora, es tu turno de enseñarle de energía nuclear a quien tu quieras. Aquí te dejo un par de cosas que debes recordar y que te pueden ayudar. Espero hayas disfrutado y nos vemos en la próxima aventura.



# DATOS INTERESANTES

## La energía nuclear

Esta forma de generación se lleva muy bien con otras energías limpias como las renovables e incluso les da soporte

El calor generado se puede usar para diferentes aplicaciones industriales además de para generar electricidad.

Existen muchos tipos de reactores nucleares con diseños cada vez más increíbles y súper seguros, aprender sobre ellos es una aventura por sí sola.

El combustible nuclear tiene mayor densidad energética que cualquier otro que tengamos ahora disponible; es decir, puede producir más energía usando menos combustible.

Es muy segura, confiable y está disponible ¡día y noche!

La energía nuclear es limpia pues no produce emisiones de gases de efecto invernadero en su operación





Una pista adicional que tenían los científicos para entender qué sucedía en el sol provenía de saber de qué estaba hecho.

Observando la luz que viene del sol, los científicos determinaron que el sol estaba hecho principalmente de hidrógeno y de helio, como con el que se inflan los globos.



# LA ENERGÍA NUCLEAR DE FUSIÓN



# ENERGÍA PURA

Gracias a los avances científicos y tecnológicos durante las primeras 3 décadas del siglo XX, fue posible medir con mucha exactitud la masa de los núcleos de los átomos, incluidos el hidrógeno (cuyo núcleo es un protón) y el helio (con dos protones y dos neutrones). La masa del protón es 1.0072 unidades de masa atómica (uma), y la masa del núcleo de helio es 4.0026 uma. Si suponemos que la reacción es la siguiente:



La masa de los cuatro núcleos de hidrógeno es 4.0288 uma, y el producto de combinarlos tiene una masa de 4.0026uma. ¿Te das cuenta de que hay 0.0262 uma que desaparecieron? Esto contradice aquella cantaleta que el maestro de química nos repitió una y otra vez: "la masa no se crea ni se destruye, sólo se transforma". Pues bien, estamos ante una transformación muy peculiar de la masa: **su transformación en energía pura.**



Para saber cuánta energía liberó nuestra estrella al convertir 4 de sus átomos de hidrógeno en uno de helio, vamos a usar una de las ecuaciones más famosas del mundo:

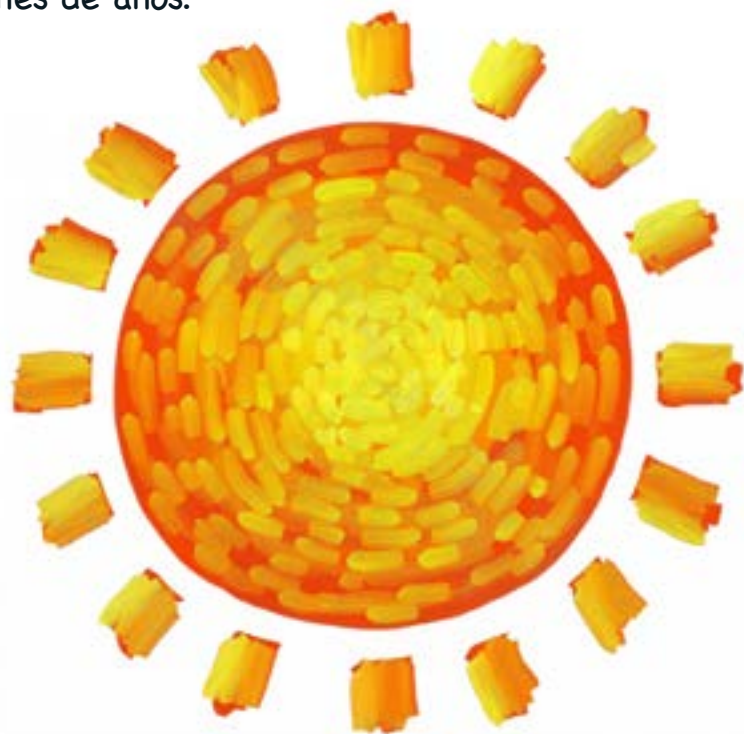
$$E = mc^2$$

Nuestra  $m$  será la masa que se convirtió en energía,  $c$  será la velocidad de la luz (que es de 300,000 km/s, como se mencionó en otra parte de nuestro viaje), y  $E$  es la energía que se va a liberar debido a la reacción. Si nos sentamos a hacer las cuentas y cuidamos nuestras unidades, llegaremos a la conclusión de que por cada átomo de helio que hay en el sol, se liberan 4 billonésimas de Joule (como recordarás, el Joule es la unidad de energía).



Eso te puede parecer un número extremadamente pequeño, pero ten en cuenta que el número de átomos de helio en el Sol es inmensamente grande. Para darte una idea, si tuviéramos una botella con 4 g de hidrógeno adentro, y pudiéramos hacer que reaccionara como en el Sol, la energía que se libera podría mantener una televisión de 60 W encendida continuamente durante 100 años.

Considerando que la cuarta parte de los átomos que componen al Sol son helio, no es difícil darte cuenta de que la cantidad de energía que el sol ha liberado a lo largo del tiempo es gigantesca, y puede explicar fácilmente una edad del Sol y de la Tierra que pueda rondar en los miles de millones de años.



Hans Bethe, un físico alemán, ganó el premio Nobel de física en 1967 por haber propuesto esta reacción nuclear (y otras más) como la fuente primordial de energía del sol en 1939. ¿Te das cuenta de que apenas llevamos un centenar de años entendiendo de dónde saca el sol su energía?



## Una estrella en la Tierra

En las estrellas, ocurre una fusión, lo inverso a la fisión.

Como su nombre lo indica una fusión consiste en hacer uno solo a, por ejemplo, 4 átomos.

En el ejemplo anterior veíamos que a partir de cuatro átomos de hidrógeno al fusionarlos podemos formar el helio.



Lograr la fusión nuclear no es fácil porque tenemos que acercar los núcleos para que puedan reaccionar; ¿y qué crees? Los núcleos tienen carga positiva, y recuerda: "cargas iguales se repelen". Quiere decir que los núcleos oponen resistencia, ¡y la resistencia se hace más grande mientras más los acercamos! Entonces, para que las reacciones de fusión nuclear puedan ocurrir, los núcleos tienen que tener una energía muy alta, para que se puedan acercar lo suficiente y fusionarse.



Las 2 tienen que empujar más fuerte mientras más cerca estén

Si calculáramos qué temperatura debe tener nuestro hidrógeno para que venza la repulsión de cargas y que forme helio, resulta ser que tenemos que elevar la temperatura a varios millones de grados.

El interior del Sol se encuentra a esa temperatura, y por eso no tiene problema en realizar la reacción y bañarnos constantemente con la energía liberada.

Pero, ¿será posible que podamos llevar a cabo ese proceso que ocurre en el sol para poder generar energía aquí en la Tierra?







La respuesta es sí, pero tenemos que ser muy creativos. Lo primero que necesitaremos es calentar el gas hidrógeno a millones de grados, y entonces no será un gas en estado normal, sino un gas completamente ionizado, que gracias a nuestro viaje ahora sabes que se conoce como plasma. Nuestra sopa de iones y electrones puede ser manipulada por campos eléctricos y magnéticos, y en principio podemos diseñar una "botella" que pueda contener un gas a millones de grados sin necesidad de una pared sólida.

Así como en una popular película de superhéroes, donde el Dr. Otto Octavius usa un campo magnético (¡y sus tentáculos!) para encerrar un plasma súper caliente sin necesidad de una pared.





# TOKAMAK





El Tokamak T-1 se instaló en el Instituto Kurchatov de Moscú en 1958.

## TOKAMAK

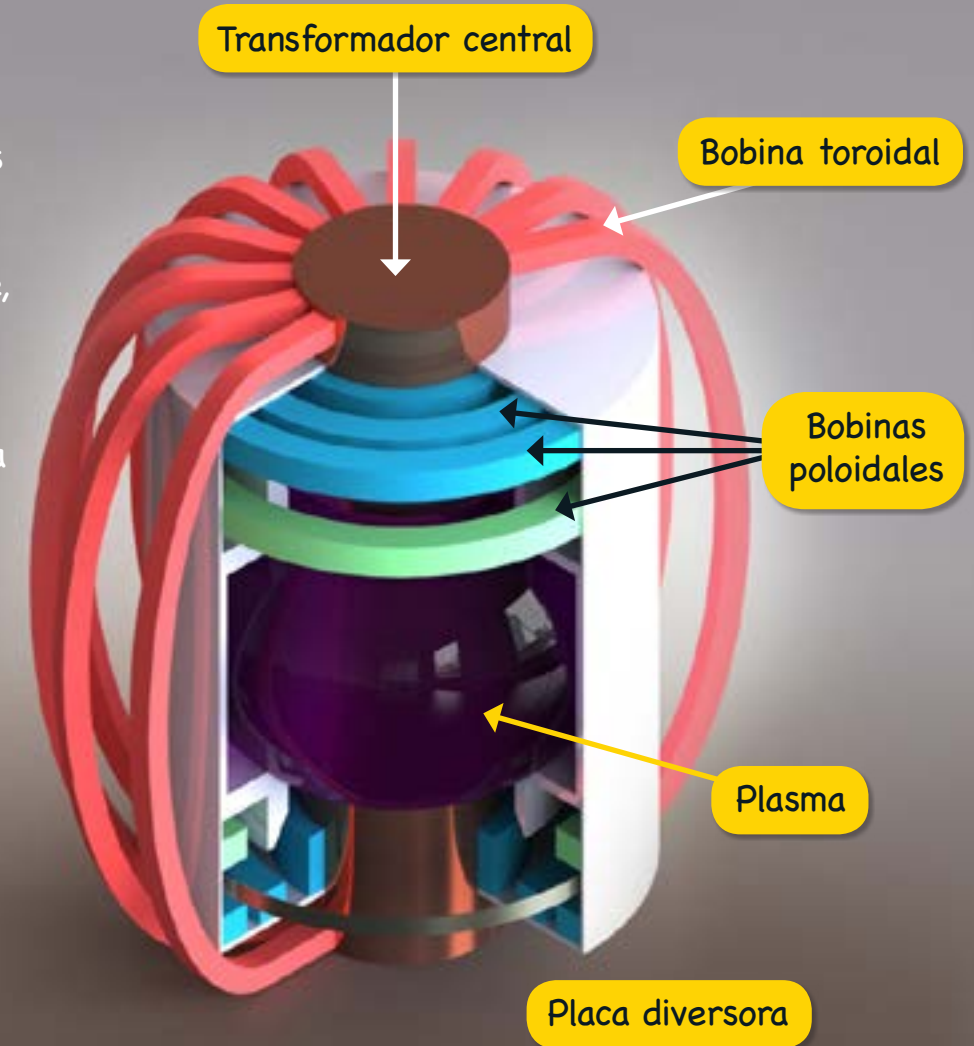
Alrededor de 1950, en la Unión Soviética (lo que hoy conocemos como Rusia), científicos comenzaron a experimentar con botellas magnéticas. Ya se habían hecho algunos estudios con estas botellas magnéticas en forma de cilindro, pero tenían el problema de que el material se escapaba por los extremos, como cuando aprietas una pasta de dientes en el centro. Los soviéticos tuvieron una idea genial: ¿por qué no hacer una botella magnética cilíndrica y doblarla para que sus extremos queden conectados? No es difícil ver que el resultado de hacer esto es una dona o un toroide. El resultado fue el tokamak, acrónimo de

**тороидальная камера с магнитными катушками,**

que en ruso quiere decir "cámara toroidal con bobinas magnéticas".

Desde que se inventó el tokamak en la década de los 1950s hasta hoy, las máquinas de fusión basadas en éste concepto han avanzado rápidamente, y hoy en día se construye la más grande, en la costa del sur de Francia en la ciudad de Cadarache.

Esta máquina, denominada ITER, es el resultado de un esfuerzo colaborativo de la Unión Europea, Rusia, Estados Unidos, China, Corea del Sur, Japón e India.



Se espera que para 2035 esté completamente construida y operando; pese a ser todavía un proyecto científico, esperamos aprender mucho sobre las máquinas de gran tamaño que esperamos que durante la segunda mitad del siglo XXI puedan comenzar a producir energía limpia y accesible para todos los seres humanos.

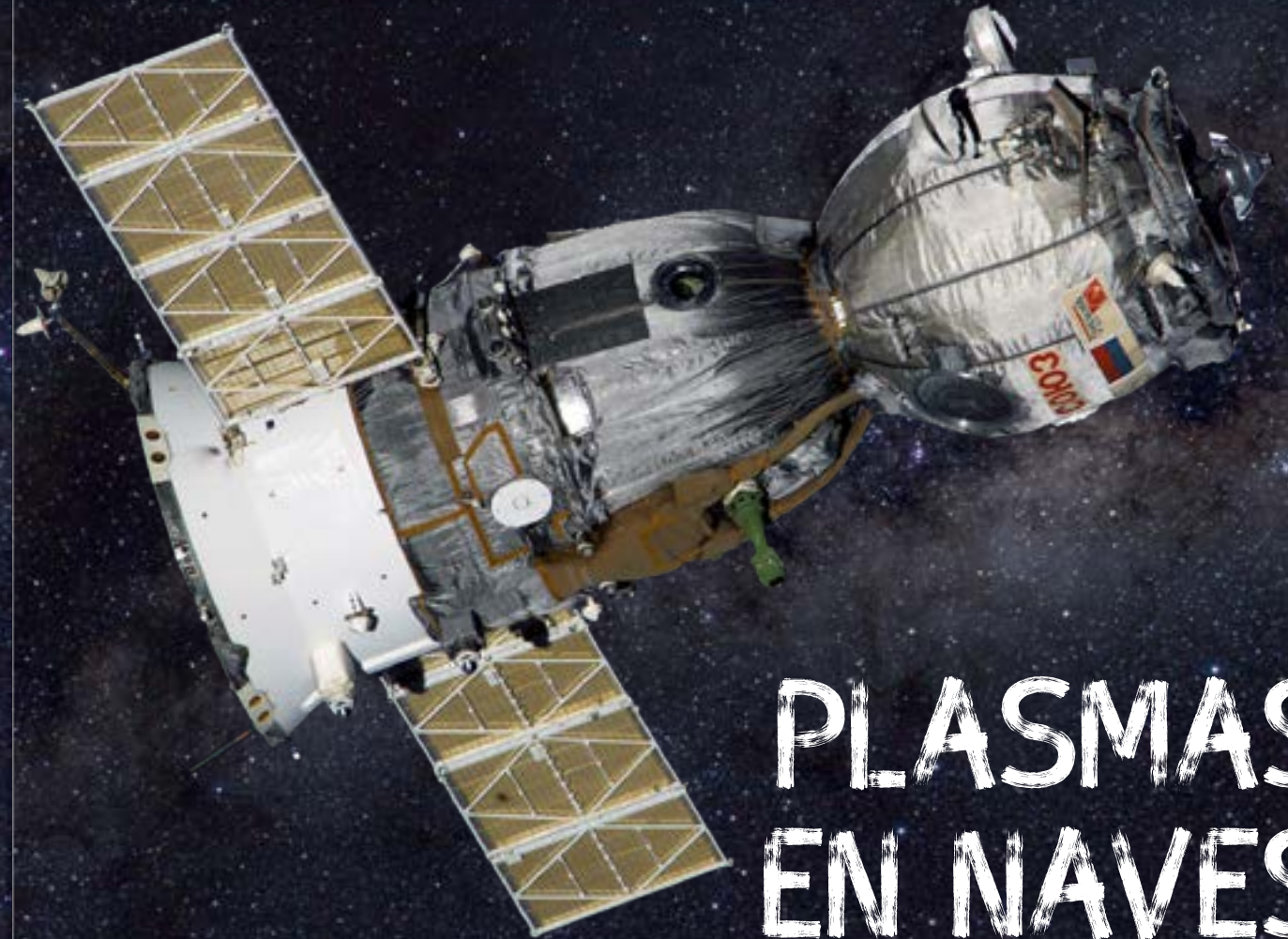




La tecnología de plasma se ha utilizado en satélites y cohetes como la principal fuente de propulsión para moverlos y direccionarlos por el espacio exterior.


Los cohetes de plasma funcionan al aplicar campos eléctricos y magnéticos para transformar primero un gas, generalmente xenón o criptón, en plasma y luego acelerar los iones en el plasma fuera del motor a más 70 000 km/h, creando un impulso en la dirección de viaje deseada.

Meisa Salaita, How Plasma Rockets Work, 5 Febrero 2021, <https://science.howstuffworks.com/plasma-rockets.htm>



# PLASMAS EN NAVES ESPACIALES





El combustible de plasma en los cohetes es tan eficiente que podría permitir a una nave ir de la órbita de la Tierra a la órbita de la luna con solo unos 100 litros de gas con posibilidad de alcanzar una velocidad de aproximadamente 50km/s y mantenerla durante 23 días, que es cuatro veces más rápido que cualquier cohete químico. Menos tiempo dedicado a viajar significa menos riesgo de que la nave experimente fallas mecánicas y los astronautas estén expuestos a la radiación solar, pérdida ósea y atrofia muscular.

Cerramos con broche de oro con una de las aplicaciones más impresionantes de los plasmas; si podemos crear un plasma de fusión en las naves, éste nos permitiría viajar a Marte en menos de 2 meses...o soñar en ir más lejos, como a la nebulosa mariposa NGC 2899...

**Definitivamente: ¡¡El Plasma es Maravilloso!!**



# SOLUCIÓN A LOS JUEGOS



# ¿QUÉ TAL SI JUGAMOS UN POCO?

En esta sopa de letras encuentra estas palabras:

R	U	A	S	O	L	U	B	E	N
O	N	C	I	S	R	G	O	P	O
M	I	R	O	P	I	N	M	O	I
E	V	G	A	M	S	A	L	P	S
T	E	D	U	W	M	B	A	M	O
E	R	E	R	R	E	G	T	E	L
O	S	A	A	A	C	I	U	L	P
T	O	P	L	G	G	B	A	Z	X
L	X	L	O	T	P	O	S	A	E
O	Q	U	A	R	C	K	N	R	I

- UNIVERSO
- PLASMA
- DRAGON
- BIGBANG
- EXPLOSION
- NEBULOSA
- OMETEOTL
- QUARCK







Queremos agradecer primero primero a tí por leer este libro que hemos hecho con mucho cariño y con la esperanza de despertar tu interés por conocer más sobre el maravilloso 4º estado de la materia.

Agradecemos a las Doctoras Citlalli, Sandra, Osmary y Raquel por transmitirnos con mucha alegría parte de sus conocimientos.

A *The Progressive Wing* por el diseño e ilustración.

La realización de este libro fue posible gracias al apoyo económico de la Nuclear and Plasma Sciences Society (NPSS), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)\*; su iniciativa de apoyar la difusión de la ciencia y la integración de las mujeres en áreas de ingeniería y ciencias ha permitido atenuar las desigualdades.

Gracias a la Asociación Astronómica del Valle de Toluca, A.C. por algunas de sus fotografías.



Finalmente agradecemos a Evan, Dorian, Andy, Diego, Luis, Ana Pau, Mía, Diana, Dana, Jesús, Abigail, Carlos Miguel, Íñigo, Fermín Emmanuel y a tod@s l@s niñ@s, ya que con sus sonrisas ¡nos motivan a soñar y a trabajar para hacer un mundo mejor para tod@s!



AGRADECIMIENTOS

\*Sociedad de Ciencias Nucleares y Plasma del Instituto de Ingenieros Eléctricos y en Electrónica



# SOBRE LOS AUTORES

**H**ola! mi nombre es **Marquidia Pacheco**, soy mexicana y me gusta aplicar la ciencia y tecnología para mejorar el medio ambiente y disminuir las desigualdades, me encanta trabajar con niñ@s y jóvenes porque siempre tienen ideas innovadoras. Estudié ingeniería química en el Instituto Tecnológico de Toluca y después me apasionaron las aplicaciones posibles del cuarto estado de la materia, por lo que decidí hacer mi maestría y doctorado en física e Ingeniería de plasmas en la Universidad Paul Sabatier, Francia.

Ahí empleé la tecnología de plasma para solucionar problemas ambientales y de síntesis de nanotubos de carbono. Años después hice una estancia postdoctoral en el "Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports (ISAT)" de la Universidad de Borgoña y trabajé en el tratamiento de gases tóxicos emitidos por vehículos empleando un plasma.

Actualmente laboro en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en donde me he enfocado al ámbito energético con la finalidad de atenuar el cambio climático elaborando supercapacitores a base de nanoestructuras de carbono para mejorar el aprovechamiento de energía en vehículos híbridos y eléctricos o fuentes de energía renovables. Paralelamente trabajo con un proyecto sobre plasmas para desactivar virus.



Mi trabajo se ha publicado en artículos, congresos, patentes y libros, lo que me ha permitido tener algunos premios como el Galardón otorgado por la AMC-UNESCO-L'OREAL para las Mujeres en la Ciencia y fui finalista del evento internacional Women for Climat 2020.

En el 2022 fui seleccionada por el British Council como mentora de mujeres y niñas en la ciencia

Soy cofundadora del movimiento Sembrando ConCiencias cuyo objetivo es difundir la ciencia a jóvenes. Soy miembro de la Sociedad Mexicana de Física, de la IEEE Women in Engineering, de WIN-Mx Women in Nuclear, de la Asociación Astronómica del Valle de Toluca, A.C, así como de la Catedra Matilda que reagrupa ingenieras en Latinoamérica.





Yo soy Martín Nieto Pérez, un mexicano que desde niño supo que quería dedicarse a la ciencia, me encanta investigar, descubrir, ¡saber muchas cosas!

Realicé mis estudios de licenciatura en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa recibiendo mi título en 1997. Dejé mi país debido a que tuve el honor de ser becario Fulbright para estudios de posgrado en el periodo 1998-2000, apoyo con el que obtuve los grados de maestría (2001) y doctorado (2004) en Ingeniería Nuclear, ambos por la Universidad de Illinois en Urbana Champaign, Estados Unidos.

Fui asociado posdoctoral en el Laboratorio Nacional de Argonne, perteneciente al Departamento de Energía de los Estados Unidos de América de 2004 a 2006. Regresé a México y de 2008 a 2021 me desempeñé como profesor titular del Instituto Politécnico Nacional adscrito al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro. He sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el periodo 2007 - 2021. Fui acreedor al Premio a la Investigación en el IPN 2010 en la categoría de Investigador Joven.

Cuento con más de 35 publicaciones técnicas en revistas internacionales y participaciones en foros académicos y tecnológicos relacionados a energía nuclear y física aplicada tanto en México como en el extranjero, así como múltiples tesis de maestría y doctorado asesoradas en el IPN.



Actualmente soy profesor asociado en el departamento de ingeniería nuclear en la Universidad Estatal de Pennsylvania. Me encanta enseñar y compartir el conocimiento, y pienso que el interés por la ciencia se debe divulgar entre las nuevas generaciones, ya que existe mucho potencial en niños y jóvenes. Me siento orgulloso de ser mexicano y soy de la idea de que la ciencia es fundamental en el progreso y bienestar de la sociedad. Independientemente de nuestras nacionalidades, los científicos debemos luchar desde nuestra trinchera por un mundo mejor.





# El PLASMA para chic@s list@s

Marquidia Pacheco • Martin Nieto





**IEEE**  
**NPSS**  
NUCLEAR & PLASMA  
SCIENCES SOCIETY

ISBN 978-607-8120-05-5



9 786078 120055