



# Creando soles en la Tierra

En noviembre de 2020 los medios periodísticos del mundo se hicieron eco de la información distribuida por los responsables científicos del experimento surcoreano KSTAR, también conocida como el sol artificial coreano. Se había conseguido mantener el *plasma* producido en su interior a una temperatura de 100 millones de grados centígrados durante 20 segundos. Esto que parece un tiempo muy corto es, en realidad, un récord y constituye un paso más en el desarrollo de la fusión nuclear controlada como fuente de energía abundante, limpia y segura. Es importante aclarar que los resultados todavía no han sido evaluados por expertos independientes y publicados en revistas internacionales dedicadas al tema.

La fusión nuclear es el proceso responsable de la producción de energía en las estrellas, incluyendo nuestro Sol. En ella se unen -fusionan- dos núcleos de átomos livianos para producir uno más pesado y otras partículas. Durante este proceso una pequeña cantidad de materia se transforma en energía cinética de los productos de la reacción, que adquieren altas velocidades. Parte de esa energía se deposita en el combustible, evitando que se enfríe, y el resto puede ser utilizada para producir electricidad. La fusión nuclear no debe confundirse con la fisión nuclear, que es el proceso utilizado en las centrales nucleares actualmente en operación en la Argentina, como Atucha y Embalse. En la fisión, el núcleo de un átomo pesado se rompe -fisiona- en varios fragmentos y se produce la transformación de una pequeña cantidad de materia en energía.

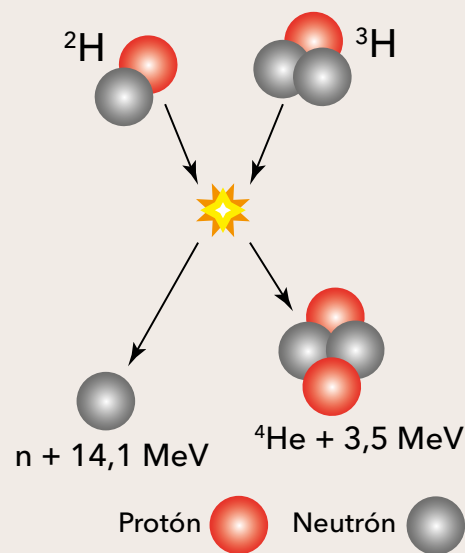
El interés en desarrollar la fusión nuclear controlada como fuente de energía se debe a la existencia de cantidades prácticamente ilimitadas de combustible y a las ventajas que esta posee respec-

to de la fisión en lo referente a seguridad y producción de desechos radiactivos. Los productos de las reacciones de fusión consideradas para la producción de energía eléctrica no pueden utilizarse para fabricar armas nucleares y no deben ser enterrados durante miles de años. Eligiendo adecuadamente los materiales con que se construye el reactor también es posible evitar que los neutrones generados en las reacciones de fusión produzcan residuos que permanezcan radiactivos durante mucho tiempo.

En las reacciones de fusión participan dos fuerzas, la eléctrica y la nuclear. La fuerza eléctrica actúa hasta grandes distancias y hace que los núcleos, que tienen carga positiva, se repelan. La fuerza nuclear solo actúa a distancias extremadamente cortas y hace que los núcleos se fusionen. Por lo tanto, para que se produzcan reacciones de fusión es necesario vencer la repulsión eléctrica y acercar los núcleos lo suficiente como para que la fuerza nuclear pueda actuar. Esto se consigue haciendo 'chocar' los núcleos a gran velocidad. Una forma de conseguir estas velocidades es calentar el combustible a muy altas temperaturas.

A estas temperaturas -millones de grados centígrados- los choques hacen que los átomos se rompan (ionicen), separándose en iones (carga positiva) y electrones (carga negativa). Por lo tanto, el medio en el que se producen las reacciones de fusión es una mezcla de iones y electrones a muy alta temperatura. A esto se lo denomina un 'plasma' -cuarto estado de la materia-, que no debe confundirse con el plasma sanguíneo. Para evitar que el plasma de alta temperatura toque las paredes del reactor se utilizan campos magnéticos de gran intensidad producidos por corrientes eléctricas.

La reacción de fusión más fácil de producir, la que requiere menor tem-



Fusión de un núcleo de deuterio con uno de tritio para crear un núcleo de helio-4, liberar un neutrón y entregar una energía cinética de estos productos de 17,6 MeV (1 MeV, megaelectronvoltio, es una medida de energía equivalente a unas 2 veces la masa del electrón, usando la relación  $E = mc^2$ ).

peratura, es la fusión de un núcleo de deuterio (D) con uno de tritio (T). Esta produce un neutrón y un núcleo de helio (partícula alfa). Tanto el D como el T son isótopos del hidrógeno (H). El D es muy abundante ya que puede extraerse del agua de mar. El T prácticamente no existe en estado natural y deberá ser producido dentro del reactor a partir de litio (Li). Hay muchas otras reacciones de fusión posibles. Por ejemplo, la energía de las estrellas se produce generalmente mediante ciclos de reacciones (varias reacciones encadenadas), siendo el más conocido el del hidrógeno.

El objetivo de las investigaciones realizadas en Corea del Sur, y en muchos otros países, es desarrollar un reactor que produzca electricidad a partir de la energía liberada en las reacciones de fusión. Para que las reacciones de fusión produzcan suficiente cantidad

de energía, mucha más que la utilizada para calentar el combustible, es necesario que se cumplan varias condiciones. Una de ellas es que la temperatura del combustible se mantenga entre 100 y 200 millones de grados centígrados. Las otras se relacionan con la densidad del plasma (cuyo valor en KSTAR no fue informado) y con la tasa de pérdida de energía del plasma, que depende fundamentalmente del tamaño del dispositivo. Otros experimentos de fusión han alcanzado temperaturas de 100 millones de grados y aún superiores, pero no han podido sostenerlas durante tanto tiempo como KSTAR.

El KSTAR es uno de los pocos dispositivos en operación que utiliza bobinas fabricadas con cables superconductores para producir el campo magnético. Esto permite sostener las altas corrientes necesarias durante mucho más tiempo sin que se recalienten los cables. Los mate-

riales utilizados en los cables de KSTAR requieren temperaturas extremadamente bajas (-269°C) para comportarse como superconductores y no pueden utilizarse para producir campos magnéticos demasiado intensos. Esto complica y encarece el diseño y la operación de un reactor que utilice estos materiales.

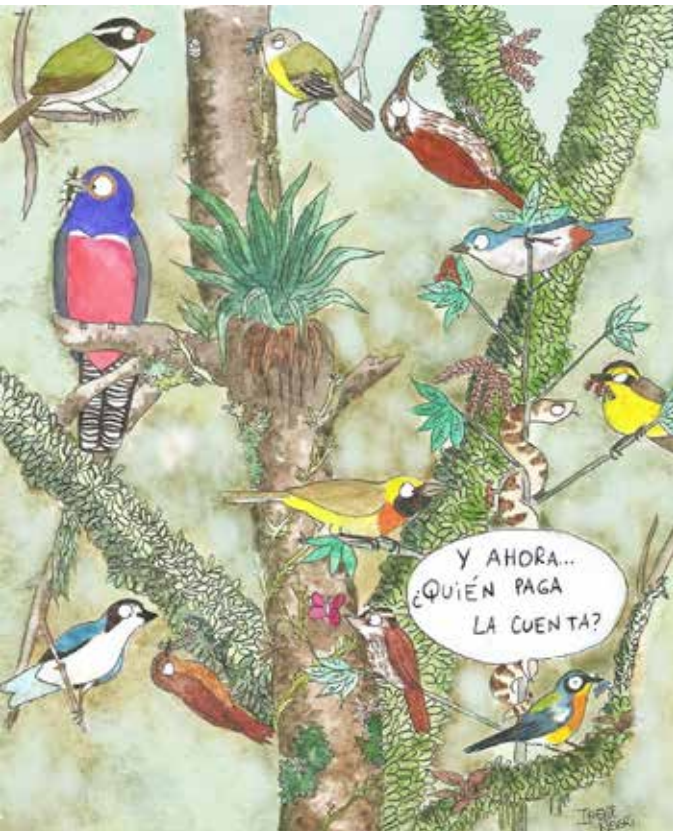
El KSTAR y los demás experimentos actualmente en operación son demasiado pequeños para alcanzar todas las condiciones necesarias para producir grandes cantidades de energía por fusión. Por ello, se constituyó un consorcio internacional en el que participan 35 países para construir un dispositivo mucho más grande, conocido como ITER (Reactor Termonuclear Experimental Internacional). En ITER participan la Unión Europea (incluyendo Suiza y el Reino Unido), Japón, Rusia, China, Estados Unidos, Corea del Sur e India. El objetivo de ITER, cuya construcción ya superó el

50%, es producir 500 megavatios (MW) de potencia y mantener las reacciones de fusión durante al menos una hora (eventualmente en forma continua). En ITER se probarán todos los componentes necesarios para un reactor comercial y se producirá al menos diez veces más potencia que la empleada para calentar el combustible. El paso siguiente sería un reactor comercial de demostración.

En ITER se utilizarán cables superconductores del mismo tipo que los empleados en KSTAR. Recientemente se ha conseguido producir cables utilizando materiales que son superconductores a temperaturas más altas (entre 20 y 70°C mayores) y pueden soportar campos magnéticos más intensos. Esto abre la posibilidad de desarrollar reactores más compactos y económicos. **[H]**

**Ricardo Farengo**

farengo@cab.cnea.gov.ar



## BANDADA MIXTA

Si te gustan las aves, al caminar por un bosque o una selva, una de las cosas más lindas que te pueden pasar es cruzarte con una bandada mixta. Una bandada mixta (abreviada como bmx) es un grupo de varias especies de aves desplazándose juntas y alimentándose. Por convención, para ser bmx, debe cumplir las siguientes condiciones: un mínimo de tres individuos de al menos dos especies distintas, moviéndose juntas por al menos cinco minutos y con una distancia no mayor a diez metros entre cada individuo. Además, el alimento no debe provenir de una única fuente (por ejemplo, chingolos, palomas y torcazas comiendo migas no serían una bmx).

Además del motivo fundamental de que salir a comer con amigos siempre es divertido, pertenecer a una bmx favorecería a sus integrantes porque, al volar juntos, van haciendo volar bichitos a su paso, de los cuales se alimentan. Otra ventaja es que dentro del grupo existen pájaros-alarma, que avisan cuando aparecen depredadores, y que, entre todos los integrantes, pueden hacerle *mobbing* (una especie de *bullying* entre animales).

Las bmx son muy interesantes por varios motivos, por ejemplo:

- Hay especies líderes que dirigen a la bmx. Al parecer, uno de los más comunes, en las bmx de las yungas, es el pitiayumi.
- Algunas de las especies que funcionan como vigías a veces mienten y asustan a los demás para quedarse con la mejor comida.
- En Amazonia anillaron a una bmx y descubrieron que sus individuos pasaron juntos aproximadamente diez años.

En el dibujo, se ve una bmx típica de las yungas con las siguientes especies de aves: saí celeste (*Conirostrum speciosum*), frutero cabeza negra (*Nemosia pileata*), sairá dorado (*Hemithraupis guira*), pitiayumi (*Setophaga pitiayumi*), picolezna rojizo (*Xenops rutilans*), tarefero (*Sittasomus griseicapillus*), cerquero de collar (*Arremon flavirostris*), cerquero amarillo (*Atlapetes citrinellus*), surucú aurora (*Trogon curucui*), chincherito chico (*Lepidocolaptes angustirostris*) y picochato grande (*Tolmomyias sulphurens*).

**Irene Negri**

irenitannegri@gmail.com