

ENTREVISTA CON JULIETA FIERRO

El rojo en el universo

Equipo editorial

La astrofísica Julieta Fierro, especialista en materia interestelar que hoy se dedica a la divulgación de la ciencia, nos recibe en su departamento. Al abrir la puerta, esperaba encontrarse con un mensajero, no con nosotros, que interrumpimos su ligero desayuno. Lleva puesto un suéter rojo y la coincidencia nos alegra. Parece como si se hubiera vestido para la ocasión: agendamos esta cita con ella a mediados de noviembre de 2024 para entrevistarla sobre la presencia de dicho color en el universo. El rojo ha resultado ser crucial en su disciplina, pues indica la temperatura de las estrellas y la distancia a la que se encuentran estos y otros cuerpos astronómicos, como las nebulosas y los cuásares. Entre bocados de chapulines, el manjar rojizo que nos ofrece nuestra anfitriona y que podría formar parte de la dieta de los astronautas para sobrevivir en Marte, conversamos con Julieta Fierro sobre el rojo en el cosmos.

La región de formación de estrellas NGC 1333, 20 de abril de 2023. Imagen tomada por el telescopio espacial Hubble con cámara de infrarrojo cercano. Fotografía de la NASA, ESA, Varun Bajaj (STScI), Joseph DePasquale (STScI), Jennifer Mack (STScI) ©.



JM

ROJO

013

#917

013



L1527, la nube molecular que alberga una protoestrella. Imagen tomada por el telescopio James Webb con infrarrojo medio (MIRI), 2 de julio de 2024. Fotografía de la NASA, ESA, CSA y el STScI ©.

Revista de la Universidad de México (RUM): Podemos empezar hablando de las estrellas gigantes rojas.

JF: Y de las enanas rojas, que son las más abundantes... Hay una inmensidad de astros rojos en el universo. Las gigantes rojas son estrellas que ya terminaron de usar su combustible nuclear, cuya base es el hidrógeno, para fusionar otros elementos como el helio, el carbono, el nitrógeno y el oxígeno. El Sol se convertirá en una estrella gigante roja en 4 600 millones de años, y entonces será tan grande como la distancia que hoy lo separa de la Tierra. Cuando esto ocurra nuestro planeta se desintegrará y es posible que su materia se incorpore a una nube interestelar que dé origen a otro sistema solar.

Vale la pena señalar que el color rojo no es la manera más efectiva de conocer los astros. Una de las herramientas más poderosas de la astronomía es la espec-

troscopía, esto es, la descomposición de la luz blanca en la gama de colores. Nuestro ojo no es capaz de hacer esto, no es como nuestro oído. Tú vas a oír una orquesta y puedes escoger si escuchas los timbales o los trombones o todos los instrumentos a la vez. El ojo es un órgano más primitivo que el oído y no sabe hacer algo similar con la gama de colores que contiene la luz blanca.

Las estrellas rojas emiten más luz dentro de la longitud de onda que asociamos con dicho color; las amarillas, como el Sol, irradian mayor cantidad de luz en la frecuencia correspondiente; y en las azules domina esta tonalidad. En el caso del Sol, los colores de la espectroscopía son los del arcoíris. Al respecto, los colores de los gases incandescentes dependen de varios factores, como su temperatura y composición. Para entender cómo la temperatura determina el color, sirve pensar en un horno eléctrico: justo al encenderlo, se ve gris porque aún no ha

entrado en calor; después se pondrá rojo oscuro, luego rojo claro y finalmente naranja. Desde el siglo XVIII se construyeron filtros rojos para resaltar este color; más tarde se emplearon para fotografiar estrellas y nubes de gas, y descubrir objetos cósmicos. Volviendo a la relación entre la temperatura y el color de las estrellas, las rojas tienen una temperatura aproximada de 2 000 °C, por lo tanto, son más frías que las amarillas, de 6 000 °C, y que las gigantes azules, de 40 000 °C. En suma, aunque las estrellas emiten una gama de colores, predomina uno de ellos, que depende de la temperatura.

En el rango de la luz visible para los humanos, el rojo tiene la menor longitud de onda y la menor temperatura. Después se encuentra la luz infrarroja, más fría aún. No podemos ver las ondas infrarrojas, las sentimos en la piel porque tenemos un detector infrarrojo: el calor.

El espectro de una fuente luminosa depende también de su composición química. Cada elemento, al calentarse y evaporarse, produce una gama distinta de colores, que incluye al rojo. Además, el color de un astro depende de la velocidad de su movimiento. Este aspecto funciona como el efecto *doppler*; si el ob-



El primer campo profundo. Esta fotografía, tomada por el telescopio espacial James Webb con cámara del infrarrojo cercano (NIRCam), es considerada la imagen infrarroja más profunda y nítida del universo lejano), 12 de julio de 2022. Fotografía de la NASA, ESA, CSA y el STScI ©.

jeto que emite la luz se acerca a la Tierra, su gama de colores se mueve hacia el azul, y si el objeto se aleja, la gama se mueve hacia el rojo.

Así, el color de un astro depende de su temperatura, su composición química y su velocidad. Es posible conocer la naturaleza del universo mediante la espectroscopía, esto es, por medio de la gama de colores.

RUM: ¿A partir de esto es posible inferir que las estrellas rojas son las más frías?

JF: Exactamente. La temperatura de los gases, como los que conforman las estrellas, depende de la frecuencia de la luz que éstas emiten. La frecuencia de la luz depende de la energía.

RUM: Y si una estrella roja está emitiendo menos energía, ¿implica que es más antigua?

JF: No. A la naturaleza le resulta más fácil crear cuerpos pequeños, por eso hay muchas más estrellas “enanas” que gigantes. El color de la estrella depende de las reacciones en su núcleo. Las más grandes tienen más presión en su interior y tanto el núcleo como toda la estrella están más calientes, éstas son las estrellas azules. Las chiquitas tienen menos presión en su interior, su temperatura es más baja y sus reacciones termonucleares son menos intensas y, por lo tanto, son más frías.

Además, las estrellas grandes son voraces, como tienen tanta energía se extinguen muy rápido; en cambio, las pequeñas viven millones de veces más; no sólo son más abundantes porque nacen en mayor número, sino también porque viven durante más tiempo. Por eso las estrellas más comunes son las enanas rojas. Cuando las estrellas intermedias terminan de “quemar” su hidrógeno y su helio, empiezan a quemar otros elementos, como carbón y oxígeno, se inflan y entonces se enfrían y se convierten en rojas.



El telescopio espacial Hubble flotando después de la misión 3B, 9 de marzo de 2002. Fotografía de la NASA ©.

RUM: Para hablar ahora de los planetas, ¿Marte es rojo por la composición de su superficie?

JF: Sí, porque contiene rocas con hierro oxidado. Marte tuvo una atmósfera con oxígeno, y tal vez vida; ahora la superficie es desértica.

RUM: En cuanto a las nebulosas rojas, ¿su color también se debe a su composición química?

JF: Sí, poseen una cantidad importante de hidrógeno, el elemento más abundante en el universo, y cuando está incandescente emite líneas rojas. Hay mucho rojo en el universo porque el 90 % de sus elementos contiene hidrógeno.

RUM: En cuanto a la expansión del universo, fue Edwin Hubble quien descubrió que las galaxias se ven rojizas y de ahí se infiere que se están alejando, ¿no es así?

JF: Así es. Como expliqué antes, el efecto *doppler* también aplica en el caso de la luz, de modo que Hubble vio que las galaxias se habían corrido hacia el rojo. Se hicieron más investigaciones al respecto, y de esto derivó una manera de medir las distancias: el corrimiento al rojo. Mientras más lejos esté un objeto, más se alarga la longitud de onda de su radiación electromagnética, es decir, “se corre al rojo”. Dado que el universo se está ex-

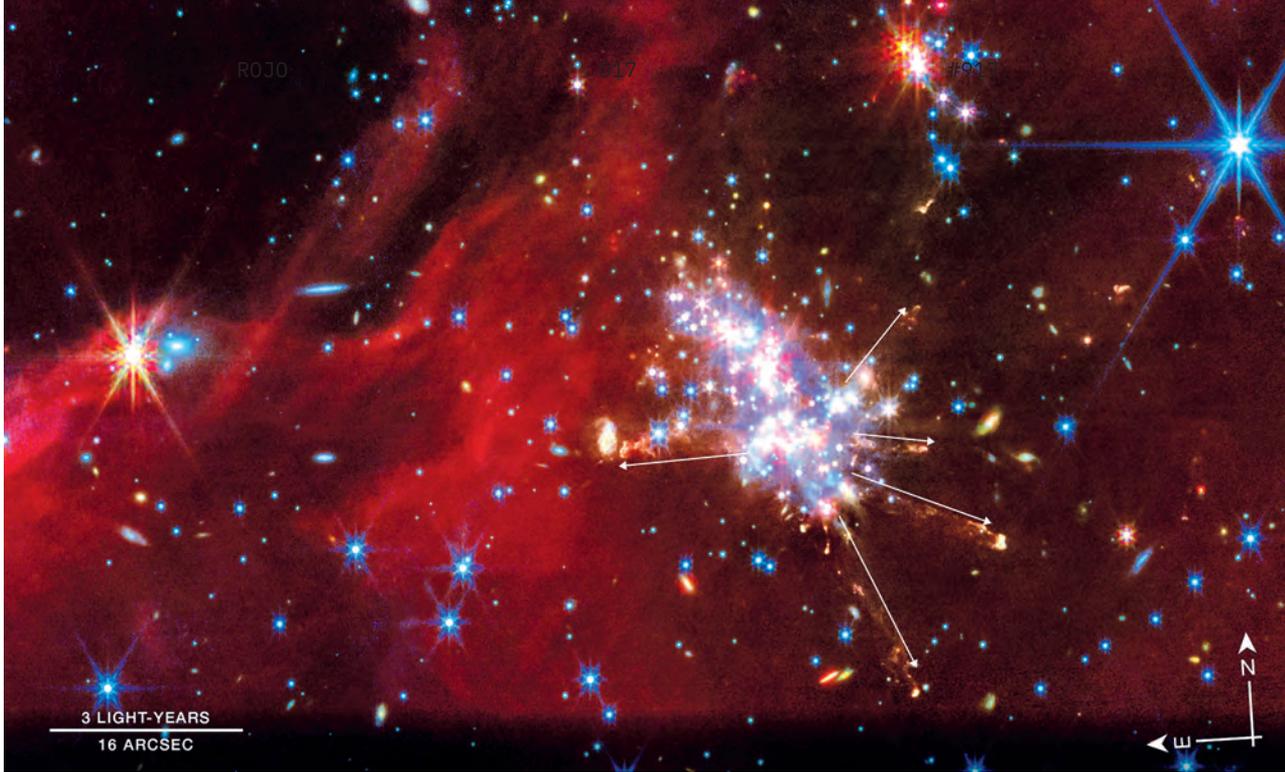
pandiendo, y lo hace cada vez más rápido, conocemos la distancia de los objetos observando su corrimiento al rojo.

RUM: En suma, mientras más rojos se vean los astros en las fotografías que tomamos de ellos, más lejos se encuentran de la Tierra.

JF: ¡Exactamente! ¿Cómo sabes a qué distancia está una estrella? Primero haces el brinco del dedo...

La doctora Fierro es célebre por sus explicaciones didácticas: como divulgadora de la astronomía, ha echado mano de la comedia y la actuación para que niños, jóvenes y adultos puedan comprender fácilmente una variedad de fenómenos y procesos cósmicos. Sentados en la sala de su casa, nos pide que levantemos, cerca del rostro, el dedo índice de una mano y que lo miremos con un solo ojo, mientras cerramos el otro. Primero lo miramos con el ojo izquierdo y después con el derecho. Al hacerlo nos parece que el dedo “brinca” de un lado a otro. Luego nos pide que alejemos el dedo y que repetamos el proceso. A mayor distancia, el dedo no parece moverse o “brincar” tanto. El juego funciona: comprendemos enseguida que el mismo principio se utiliza para calcular la distancia entre nuestro planeta y algunas estrellas.

JF: ...Esto aplica para las estrellas más cercanas: ves la estrella desde dos puntos distintos de la órbita terrestre; en cambio, a las que están más alejadas las identificamos, en principio, por el brillo. Pero no todas son lucecitas de Navidad ni focos en la pista de un aeropuerto, ¿verdad? De modo que recurrimos al espectro para saber con qué tipo de estrella tratamos: si una gigante o una enana; si está cerca es más brillante que si está lejos. También hay estrellas que parecen campanas vibrando. Registramos la frecuencia de la vibración y así sabemos si se trata de una estrellota o de una estrellita.



Cúmulo estelar Nube Digel 2S. Imagen tomada por el telescopio espacial James Webb con cámara de infrarrojo cercano, 12 de septiembre de 2024. Fotografía de la NASA, ESA, CSA, STScI, Michael Ressler (NASA-JPL) ©.

RUM: Una menor frecuencia de sonido es indicio de una estrella y una frecuencia mayor lo es de una estrellita.

JF: Exactamente. La escalera para medir las distancias de los astros comienza con el paralaje, empleado por primera vez en 1838, y continúa con el brillo aparente. En el caso de las estrellas más distantes se utiliza la frecuencia con la que oscilan. Las estrellas que oscilan a la misma frecuencia tienen el mismo brillo; si éste es más débil, se encuentran a mayor distancia. Y para conocer la distancia de las estrellas todavía más alejadas se emplea el corrimiento al rojo.

Consideren que el universo es todo: espacio, tiempo, materia y energía. Tenemos un modelo estándar de la Gran Explosión. El universo, conforme fue evolucionando y creciendo, se fue enfriando, como los gases. Coloquen una mano frente a su boca, un poco apartada de sus labios, y soplen: ¿sienten que su aliento se calienta o que se enfría?

RUM: Que se enfría.

JF: Los gases se enfrían. Conforme pasa el tiempo, disminuye la temperatura y eso permite que los átomos se vuelvan neutros, se fusionen y formen nubes, estrellas, galaxias y planetas. Ahora mismo el universo está a una temperatura de -270°C .

Pero ¿de dónde vino el universo? De las fluctuaciones del vacío. Nada está realmente vacío porque todo está lleno de energía, como la gravedad y las fuerzas nucleares. Hendrik Casimir descubrió, en el siglo pasado, que si metía en una caja vacía dos espejos, estos se movían solos: se debe a que la energía del vacío estaba liberándose. Eso quiere decir que se pueden crear universos. ¿Y de dónde vienen? Pues del vacío. En la Gran Explosión se liberó energía del vacío; esta energía se hizo materia, que se fue expandiendo y enfriando.

RUM: ¿Y el rojo refleja algo sobre la expansión del universo? ¿Es más rojo ahora que está más frío que al principio?

JF: Al principio, el universo era más o menos de color rojo. ¿De qué está hecho el universo? El 70 % es energía que se expande y el 26% es materia oscura, o sea, la que ejerce gravedad aunque no veamos qué la origina. Sólo el 4% del universo está compuesto de átomos.

RUM: Aunque hay polémica al respecto, ¿no? La materia oscura se infiere, sobre todo, a partir de la velocidad de rotación de las galaxias, pero hay explicaciones alternativas sobre por qué rotan más rápido de lo que se esperaba.

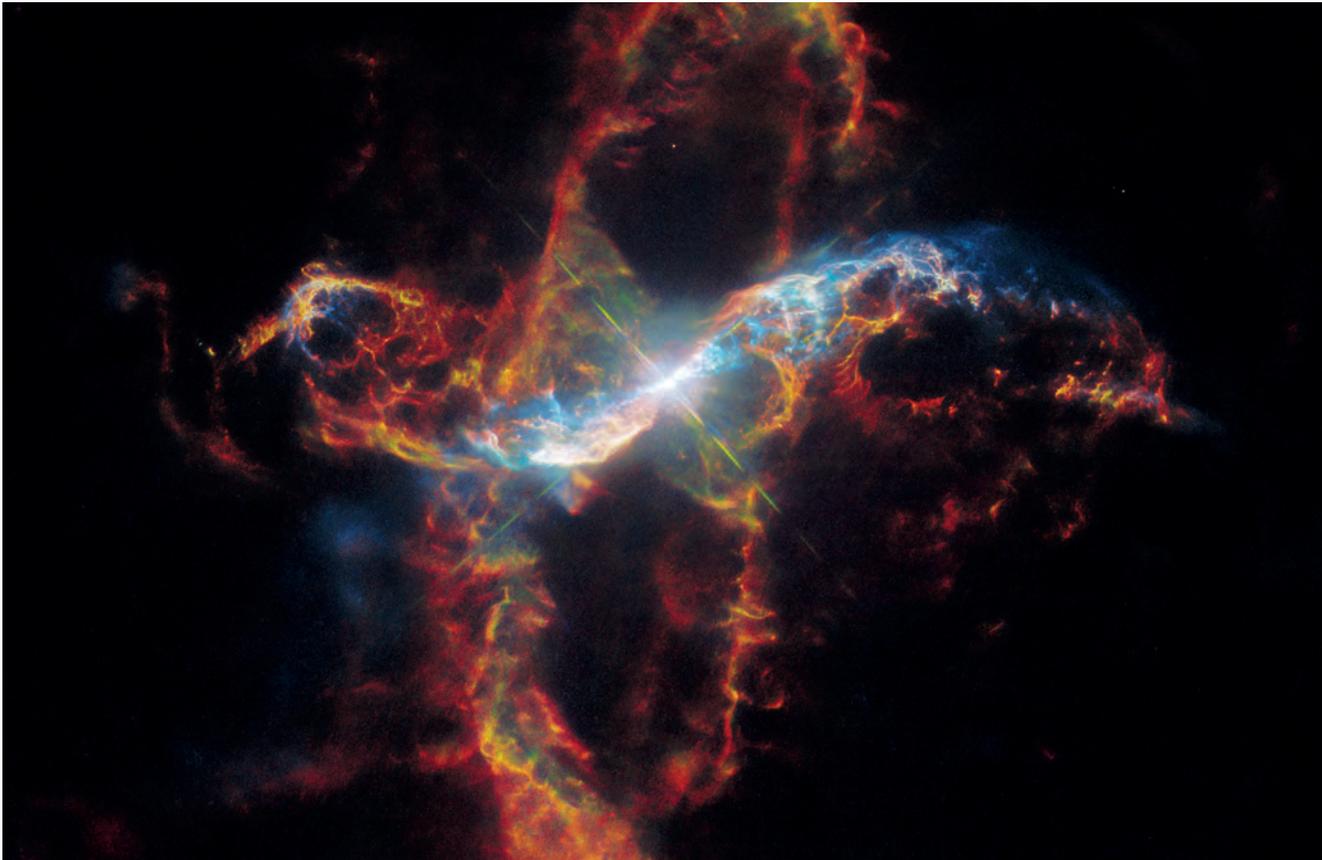
JF: Eso se pensaba hace diez años. Ahora tenemos un telescopio hecho de miles de cámaras que están tomando fotos de todo el universo. Gracias a él se ha descubierto la red de materia oscura, la telaraña cósmica, que atrae a la materia visible. Hay imágenes en las que se ve el universo temprano, si lo hubiéramos

podido ver recién nacido, cuando era rojo.

RUM: En la radiación de fondo hay puntos rojos...

JF: Esos puntos rojos son colores falsos, en realidad se trata de microondas, que originariamente eran gases a 3 000 °C, con una longitud de onda de cientos de nanómetros, pero ahora se detectan en microondas. Aunque eso es lo que se ve hoy, si pudiéramos viajar al pasado, el universo se vería rojo. El universo temprano no era transparente. Antes había más universo, pero sólo es posible verlo a partir de que se hizo transparente. Además, la radiación que observamos se ha dilatado veinte veces, la luz emitida era ultravioleta y ahora es infrarroja. Estos hallazgos resultan muy difíciles de explicar con las teorías alternativas a la materia oscura. En fin, la telaraña cósmica no se puede explicar sin ese tipo de materia.

La estrella R Aquarii. Imagen tomada por el telescopio espacial Hubble con cámara de gran angular 3, 16 de octubre de 2024. Fotografía de la NASA, ESA, Matthias Stute, Margarita Karovska, Davide De Martin (ESA/Hubble), Mahdi Zamani (ESA/Hubble) ©.



RUM: Al menos culturalmente, asociamos el rojo con el calor, pero astronómicamente indica lo que está más frío. Desde la Tierra, desde la perspectiva humana, parece paradójico.

JF: Sí, es contraintuitivo, en efecto. En un hotel, la llave del agua caliente de la regadera se señala con el color rojo. Todos los alumnos de astronomía, al principio, se hacen bolas.

RUM: Y el azul lo asociamos con el frío. En cambio, el violeta es un color que incluso parece familiar del rojo, aunque en realidad están en los extremos opuestos del espectro. ¿Por qué los vemos parecidos?

JF: Porque nuestro ojo es un órgano muy primitivo.

RUM: Volviendo al corrimiento hacia el rojo, ¿cómo le explicaría esto a nuestros lectores?

JF: La longitud de onda se expande porque el universo se está expandiendo. ¿Por qué se está dilatando? No lo sabemos, pero se utiliza el corrimiento al rojo para medir distancias. Además, la radiación infrarroja atraviesa los gases interestelares con mayor facilidad que la azul y así podemos ver objetos muy distantes. Por otro lado, el telescopio Webb se hizo infrarrojo para poder ver esa luz corrida al rojo.

RUM: ¿Se trata de un telescopio exclusivamente infrarrojo?

JF: Cuando se diseñó, hace treinta años, se sabía del corrimiento al rojo. A finales del siglo pasado se descubrieron los primeros exoplanetas. Sus atmósferas pueden tener vida, moléculas, amoníaco, agua, dióxido de carbono. Entonces se cambió el diseño del Webb para poder estudiar planetas. La sonda también tie-

ne la misión de estudiar los objetos más alejados y la evolución del universo. Ahora, por ejemplo, se cree que los exoterrrestres deben ser morados.

RUM: ¿En serio?

JF: Se estaban buscando planetitas con tonos verdes, lo que sería un indicador de que en ellos se produce fotosíntesis. Pero se han encontrado algunos planetas con superficies moradas. Los astrobiólogos propusieron una explicación al respecto: en la Tierra hay unas bacterias que, en lugar de usar oxígeno, utilizan nitrógeno para realizar la fotosíntesis; éstas viven en el subsuelo y emplean radiación infrarroja en lugar de luz visible. Es posible que ese tipo de bacterias generaran organismos más complejos que poblaran sus planetas. Dado que las estrellas enanas rojas son más abundantes y tienen una vida más prolongada, se analizan para descubrir exoplanetas que giren en torno a ellas.

Las campanas que usó la Dra. Fierro para explicar el tamaño de las estrellas descansan sobre la mesa, está en reposo la computadora en la que nos mostró sus presentaciones sobre el universo y el fracso de chapulines ha regresado a su sitio en el estante. La entrevista termina. Una vez que estamos al pie del edificio donde vive, la astrofísica nos llama desde las alturas. Asomada desde el descanso de su piso, agita con la mano un zapato tipo *ballerina*: el par llegó con el mensajero al que estaba esperando. El calzado es color rojo. La coincidencia ahora nos alegra a los tres. \mathcal{M}