



# Las galaxias Haro

Héctor Bravo-Alfaro



Una de las mayores contribuciones de Guillermo Haro a la astrofísica ocurrió en el campo de las llamadas galaxias azules, donde fue uno de los pioneros en la década de 1950. Muchos de esos objetos siguen ocultando elementos clave para entender la evolución de las galaxias desde épocas muy tempranas del Universo, lo que implica que su estudio todavía es de gran actualidad.

## Breve contexto histórico

Tratemos de imaginar que estamos en la década de 1950, época en la que Guillermo Haro llevó a cabo los descubrimientos que conciernen a este artículo. Tomemos en cuenta que apenas unas décadas atrás, a principios de los años veinte, el concepto de galaxia como lo entendemos actualmente estaba todavía en pleno debate. En ese entonces Harold Shapley, uno de los más influyentes astrónomos de su época, defendía la idea de que las “nebulosas espirales” (lo que hoy llamamos galaxias) se encontraban dentro de la Vía Láctea. Dicho de otro modo, la hipótesis de Shapley implicaba que la Vía Láctea constituía por sí misma todo el Universo. Aunque hoy esta postura nos puede parecer casi ingenua, es fácil de entender si tomamos en cuenta que el mismo Shapley acababa de descubrir (en 1918), con bastante precisión, el tamaño y la forma de la Vía Láctea. Él encontró que tenía dimensiones enormes, casi impensables pocos años atrás y, visto de ese modo, a Shapley le parecía difícil imaginar que cualquier objeto, incluso las “nebulosas espirales”, pudiera encontrarse a distancias todavía mayores. Pero había quienes no veían las cosas del mismo modo. Heber Curtis y sus colaboradores afirmaban exactamente lo contrario, apoyando una hipótesis conocida entonces como “los universos islas”, que retomaba una idea de finales del siglo XVIII del filósofo Immanuel Kant.

Sin embargo, en 1920 ninguno de los dos grupos contaba con los elementos suficientes para resolver dicha controversia. La discusión científica sobre este



Galaxia Haro 11. Tomada de: <http://www.spacetelescope.org>. Fuente: ESA/Hubble/ESO y NASA.

tema alcanzó su clímax en abril de ese año, durante el encuentro científico conocido como “el gran debate” que organizó en Estados Unidos el National Research Council. La cuestión sólo pudo ser resuelta unos cuatro años más tarde gracias al trabajo de Edwin Hubble, quien logró medir por primera vez la distancia a algunas de las “nebulosas espirales”. Para ello, Hubble utilizó la relación periodo-luminosidad de las estrellas Cefeidas, descubiertas en 1912 por Henrietta Leavitt. De este modo Hubble pudo calcular la distancia a la “nebulosa espiral” más prominente, Andrómeda, y encontró que estaba a una distancia casi diez veces mayor que el tamaño de la Vía Láctea estimado por Shapley. Con este y otros resultados similares para varias “nebulosas” (entre ellas la catalogada como Messier 33), quedó totalmente demostrado que dichos objetos están fuera de nuestra galaxia y que, de hecho, son sistemas muy semejantes a ella.

A partir de entonces el concepto de “galaxia” fue sustituyendo paulatinamente al de “nebulosa espiral”. Sin embargo, y como dato curioso, aún en los años cuarenta y cincuenta del siglo pasado, los astrónomos seguían usando el término de “nebulosa extragaláctica”

como sinónimo de galaxia. En cualquier caso, podemos afirmar que hacia 1925, fecha de las primeras publicaciones de Hubble sobre el tema, nació un nuevo y fascinante campo de estudio llamado justamente astrofísica extragaláctica.

En los siguientes diez años, Hubble y muchos otros astrónomos se dieron a la tarea de catalogar estos nuevos objetos tomando en cuenta distintas propiedades físicas observables; por ejemplo, su morfología. En 1936 Hubble publicó su famoso diagrama de clasificación, en forma de diapason (usado ampliamente hoy en día), el cual establecía dos tipos principales de galaxias: las elípticas y las espirales. El diagrama incluía un tipo intermedio, las lenticulares, y Hubble agregó una categoría de galaxias que no caía en ninguna de las anteriores y las llamó irregulares.

Pero además de esta clasificación morfológica también fue quedando en evidencia que había otras propiedades a catalogar, como el tamaño. Por un lado, existían galaxias “gigantes”, con brillo (intrínseco) similar o mayor al de la Vía Láctea; y, por el otro, se descubrieron las llamadas “enanas”, galaxias que podían ser hasta mil veces menos brillantes. Mencione-



Galaxia de Andrómeda. Placa obtenida con la Cámara Schmidt de Tonantzintla. Fuente: Archivo histórico, INAOE.

mos un tercer criterio de clasificación, el cual distingue a las galaxias “activas” de las galaxias “normales”. Las primeras son aquellas cuyos espectros están dominados por líneas de emisión, principalmente líneas de Balmer de hidrógeno y de oxígeno ionizado. Este tipo de objetos había sido reportado por Mayall en 1939 y por Seyfert en 1943. Los trabajos de ambos serían fundamentales para la posterior búsqueda de galaxias azules desde el Observatorio de Tonantzintla.

Los descubrimientos mencionados ocurrían pocos años antes de la inauguración del Observatorio de Tonantzintla en 1942, gracias a los esfuerzos de Luis Enrique Erro. Por su parte, en esa misma época, el joven Guillermo Haro volvió a México luego de una estancia en la Universidad de Harvard y se incorporó al grupo de astrónomos del Observatorio de Tonantzintla, del cual sería nombrado director en 1948.

Podemos entender fácilmente que hacia 1950 se habían producido notables avances descubriendo y clasificando galaxias. Sin embargo, como el hallazgo de estos objetos astronómicos era todavía reciente, a esas alturas había muchas más preguntas que respuestas. Es cierto que había cuestiones claramente establecidas; por ejemplo, la configuración global que presentaban las galaxias espirales, o las dimensiones reales de sistemas como la Vía Láctea (con diámetros de 100 000 años luz, o incluso mayores), y también el número de estrellas en las galaxias gigantes (100 000 millones o más). Pero otras preguntas más complejas seguían totalmente sin respuesta. Por ejemplo, ¿cómo y cuándo se formaron las galaxias?, ¿por qué unas tienen una elevada fracción de estrellas jóvenes (azules) y en otras dominan las estrellas de edad avanzada (rojas)?, ¿qué procesos de evolución han sufrido las galaxias desde su formación?

Una cuestión de particular interés es la que concierne a la evolución de las galaxias. En la década de 1950 aún se creía que, al igual que las estrellas, podía haber galaxias de reciente formación y, sobre todo, se debatía la cuestión de una posible secuencia evolutiva detrás de la clasificación morfológica de Hubble. Si tal secuencia existiera, las galaxias espirales podrían transformarse en elípticas (o viceversa) mediante algunos procesos físicos. Más adelante hablaremos del impacto que tuvo el trabajo de Guillermo Haro en este debate.

## El descubrimiento de Guillermo Haro: galaxias azules con líneas de emisión

Hacia mediados de la década de 1950 había otro problema astrofísico que también captaba la atención de varios astrónomos notables y que está íntimamente ligado con el tema de este artículo. Dado que se observaba que en galaxias como la nuestra la mayoría de las estrellas eran de tipo intermedio o tardío (es decir, que predominaban las amarillas y rojas), entonces se esperaba que todas las galaxias aparecieran también con colores amarillos y rojos. Como las estrellas azules eran relativamente escasas y sólo se esperaba encontrarlas sobre el disco de la Vía Láctea, resultaba interesante buscar y estudiar aquellas que, de manera excepcional, pudieran encontrarse en dirección de los polos galácticos. Por ello, durante varias décadas, los astrónomos observacionales se dedicaron exhaustivamente a la búsqueda de esas estrellas azules para su estudio. En uno de esos trabajos, en los que se intentaba detectar estrellas azules de bajo brillo, Humason y Zwicky reportaron en 1947 la detección de un objeto extragaláctico muy azul. Como veremos a continuación, estos resultados sirvieron como piedra angular a los descubrimientos de Haro sobre galaxias azules.

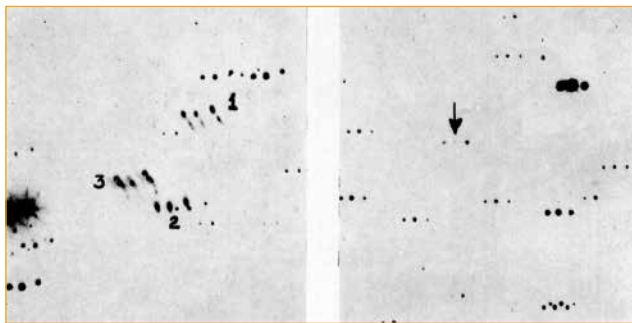
A mediados de la década de 1950 Guillermo Haro había logrado consolidar el Observatorio de Tonantzintla. Al igual que Humason y Zwicky, se había interesado en la búsqueda de estrellas enanas blancas, de estrellas azules cerca de los polos galácticos y de estrellas T-Tauri con fuerte emisión ultravioleta (UV). Para



La estrella con tonos amarillos cerca del centro es una estrella prototipo T-Tauri variable. Cercana a ella se encuentra una nube cósmica amarilla conocida como nebulosa variable de Hind (NGC 1555). Tomada de: <<http://apod.nasa.gov>>. Fuente: Adam Block, Mt. Lemmon SkyCenter, U. Arizona.

este fin, Haro perfeccionó una técnica fotográfica cuyos detalles no describiremos aquí. Sólo diremos que, a grandes rasgos, consistía en aplicar tres exposiciones de imagen directa del mismo campo observado, pero levemente desplazadas unas respecto de las otras y utilizando para cada imagen un filtro diferente (véase la Figura 1). Dichos filtros estaban centrados en las bandas del amarillo, azul y ultravioleta. Una de las ventajas de esta técnica era que podía aplicarse a las placas fotográficas de telescopios tipo Schmidt, como el del Observatorio de Tonantzintla, los cuales tienen un campo de visión muy amplio. De este modo se podían detectar, con relativa facilidad, objetos con exceso de emisión en el rango del ultravioleta, los cuales se estudiaban posteriormente mediante técnicas espectrales.

En un trabajo que ha sido toda una referencia en el estudio de galaxias azules titulado “Nota preliminar sobre galaxias azules con líneas de emisión”, Guillermo Haro publicó en 1956 los resultados de su búsqueda de galaxias similares a la “nebulosa extragaláctica” reportada por Humason y Zwicky en 1947. Haro aprovechó la técnica descrita en el párrafo anterior y publicó un catálogo de 44 objetos con exceso de emisión ultravioleta; en este catálogo numeró sus galaxias del 1 al 44, a lo que llamó “número de serie Tonantzintla”. Con el tiempo, y hasta nuestros días, dichas galaxias se fueron conociendo internacionalmente (en inglés) como “Haro galaxies”, seguidas por el mismo número de identificación de aquel artículo: Haro 01, Haro 02, etcétera.



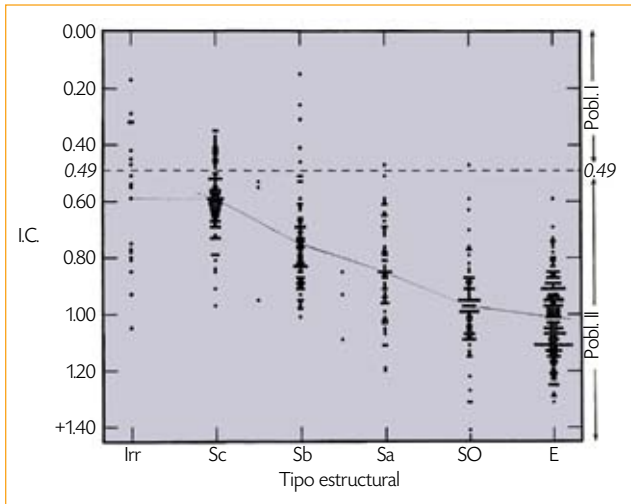
**Figura 1.** Fotografías obtenidas por G. Haro donde se ilustra la técnica de búsqueda de galaxias con exceso de ultravioleta. Cada triplete de puntos corresponde al mismo objeto astronómico, levemente desplazado y observado (de izq. a der.) con filtros azul, amarillo y ultravioleta. La galaxia señalada con una flecha muestra claramente que su emisión azul es mayor que la amarilla, y que la emisión ultravioleta es aún más brillante que la azul. Se trata de la galaxia Haro 4 (imagen tomada de Haro, 1956).

En el artículo al que hacemos referencia, Guillermo Haro hizo notar la similitud de la emisión ultravioleta de sus galaxias con la de aquellas reportadas por Seyfert en 1943 (las futuras galaxias Seyfert, con núcleo activo, descritas en otra contribución de este mismo número). Sin embargo, Haro también destacó una importante diferencia: los colores integrados son diferentes; es decir, tomando las muestras en su conjunto, las galaxias de Seyfert eran considerable y sistemáticamente más rojas. Pasaron varios años antes de que se entendiera que, en efecto, se trataba de objetos intrínsecamente diferentes, y la perspicacia de Haro fue fundamental para establecer dicha diferencia.

Como se mencionó anteriormente, otro de los problemas fundamentales por resolver en el campo de las galaxias era averiguar si la clasificación morfológica de Hubble implicaba, en sí misma, una secuencia evolutiva. Dicho sea de paso, este debate sigue vigente en nuestros días, aunque de una manera muy distinta a la de aquellos años. Una vez más la comunidad astronómica estaba dividida. Había autores que defendían (con base en argumentos dinámicos) una progresión evolutiva que iría de las galaxias esferoidales a las espirales; los otros, entre ellos Shapley, defendían una secuencia evolutiva en dirección opuesta, principalmente con base en la distribución de poblaciones estelares jóvenes y viejas. Era bien sabido que las estrellas jóvenes (y azules) abundan en las galaxias espirales, mientras que en las esferoidales dominan estrellas más viejas (y rojas). Ya desde su artículo de 1956, Haro tuvo la agudeza de poner en duda una “simplista interpretación evolutiva de la secuencia nebulosa de Hubble”, estableciendo que para resolver la cuestión se debían tomar en conjunto, no sólo el tipo morfológico y los rasgos espectrales, sino también los índices de color y la distribución de poblaciones estelares, que son dos elementos íntimamente ligados entre sí.

En un diagrama que ha sido ampliamente citado por décadas (véase la Figura 2), Guillermo Haro estableció con claridad algunos de los elementos que debían estudiarse a fondo antes de aceptar, o rechazar, la existencia de una secuencia evolutiva de los tipos morfológicos. En dicho diagrama, Haro subrayó el hecho de que a pesar de que las galaxias irregulares y las Sc (un tipo de galaxia espiral con los brazos muy sueltos alrededor





**Figura 2.** Diagrama de G. Haro donde muestra la relación entre el color (eje vertical) y el tipo morfológico de las galaxias (eje horizontal). La parte superior corresponde a galaxias dominadas por estrellas azules; la parte inferior, por debajo de la línea punteada horizontal, a galaxias dominadas por estrellas rojas. La gráfica demuestra que, aunque las irregulares y Sc tienen en promedio índices de color más azules que las elípticas, individualmente hay casos de irregulares y espirales tan rojas como algunas elípticas (tomado de Haro, 1956).

de un núcleo pequeño) están dominadas por estrellas jóvenes (lo que produce que tengan, en promedio, un color más azul), de todas formas se encuentra que, individualmente, algunas irregulares y Sc presentan índices de color tan rojos como algunas elípticas. Esta observación es de fundamental importancia, ya que implica que todas las galaxias, en cada tipo morfológico, contienen una mezcla de distintas poblaciones estelares, tanto jóvenes como viejas, y que incluso las más azules (irregulares y Sc) contienen una cierta fracción de estrellas de edad avanzada. El impacto de este resultado fue enorme, pues ayudaría a descartar la hipótesis de que las galaxias “azules” constituyen sistemas más jóvenes que las galaxias elípticas. En la siguiente sección veremos el papel que han tenido algunas galaxias Haro en este fascinante tema.

Para terminar esta sección vale la pena recordar una de las hipótesis que Haro planteó, a manera de conclusión, en su artículo de 1956. Sin descartar la posibilidad de una secuencia evolutiva entre espirales y elípticas, Guillermo Haro sugirió la alternativa de que cada tipo estructural (morfológico) de galaxia pudo tener su propio proceso evolutivo, en donde las condiciones físicas iniciales al momento de su forma-

ción serían las que determinan el tipo morfológico y la población estelar dominante. Por ello, podemos afirmar que Haro contribuyó de manera significativa a establecer los cimientos de otro gran debate, denominado coloquialmente como *nature or nurture*, donde la polémica sigue siendo esencialmente la misma: ¿Cuáles mecanismos físicos son más importantes en la evolución global de las galaxias: las condiciones iniciales en la época de su formación o, por el contrario, son los efectos ambientales (ocurridos a lo largo de la evolución de las galaxias) los que tienen el papel decisivo para definir las características que observamos en las galaxias del Universo cercano? A pesar de los avances de la astrofísica moderna, esta pregunta, planteada de manera muy objetiva por Guillermo Haro hace casi 60 años, se mantiene vigente en nuestros días.

### Galaxias Haro: los misterios por resolver

De los 44 objetos que Guillermo Haro reportó en su artículo original de 1956, muchos siguen siendo conocidos como galaxias Haro. Prácticamente todas ellas son sistemas con una gran cantidad de gas, es decir, una fracción mayor de hidrógeno atómico y molecular que el detectado en las espirales. Por otro lado, se trata de galaxias de baja masa, por lo que caen en la categoría de las enanas. Esto significa que la mayoría de estos objetos tienen una masa que puede rondar entre una milésima y una centésima parte de la masa de la Vía Láctea. En cuanto a su morfología, Haro ya había hecho notar que, debido a sus pequeñas dimensiones, era complicado determinar el “tipo estructural” a partir de las imágenes disponibles en su tiempo. Hoy sabemos que la mayoría aparecen como elipsoides, por lo que se les asignan categorías tales como enanas elípticas y enanas lenticulares, aunque también hay algunas de tipo irregular, similares a las Nubes de Magallanes.

En cuanto a sus características espectrales, se encontró que los espectros de muchas galaxias Haro eran prácticamente idénticos a los que se observan en las regiones de formación de estrellas, por lo que este tipo de galaxias suelen llamarse también galaxias HII (en astronomía, “HII” denota hidrógeno ionizado). No es una coincidencia, ya que el exceso de radiación azul



y ultravioleta que presentan estas galaxias es producido por una importante población de estrellas jóvenes. Esto dio lugar a una categoría especial para algunas de las galaxias del catálogo de Haro: galaxias azules compactas (o BCD, por sus siglas en inglés), cuyo campo de estudio sigue siendo muy activo en nuestros días.

Otra característica de las galaxias azules compactas, no menos importante que las anteriores, es la baja fracción de elementos químicos más pesados que el helio (en astronomía este indicador suele llamarse “metalicidad”), el cual es muy bajo comparado con la metalicidad que presentan las galaxias espirales y elípticas. La elevada tasa de formación de estrellas, por un lado, y la baja metalicidad, por el otro, ha llevado a creer que algunas galaxias Haro y galaxias azules compactas constituían galaxias primordiales, es decir, sistemas que estaban formando estrellas por vez primera en su historia. Esta hipótesis lanzó a las galaxias Haro y a las azules compactas, en general, a un sitio de interés muy especial en la astrofísica de finales del siglo XX y hasta nuestros días. Para abordar estas cuestiones los astrónomos han diseñado estrategias que incluyen observaciones en diversas longitudes de onda, desde rayos X hasta ondas de radio, y han llevado a cabo simulaciones numéricas que, combinadas con las observaciones, permiten tener un panorama más amplio sobre estas y otras galaxias.

Luego de dar a conocer las propiedades físicas de las galaxias azules compactas, ahora planteamos tres de las cuestiones abiertas más interesantes, todas ligadas entre sí, y que continúan generando un número importante de publicaciones a nivel internacional:

- a. ¿Cuál es el origen de la tasa anómala de formación de estrellas?
- b. ¿Qué tipos morfológicos tienen las galaxias azules compactas?
- c. ¿Cuál es el origen de la baja metalicidad de estas galaxias?

#### **a. El exceso de emisión ultravioleta y la elevada tasa de formación de estrellas**

Como ya mencionamos antes, el exceso de emisión azul y ultravioleta hizo notar la peculiaridad de estas galaxias por vez primera. No es de extrañar entonces que una de las preguntas más interesantes sea precisamente: ¿cuáles son los mecanismos físicos que producen estos brotes de formación estelar?, ¿se trata de un proceso secular, es decir, relacionado con las condiciones iniciales al momento de formarse la galaxia y con la posterior dinámica interna? Estas condiciones iniciales a las que hacemos referencia serían principalmente la masa inicial de la nube protogaláctica, su momento angular y la composición química en dicha nube. Pero, alternativamente, las elevadas tasas de formación de estrellas que observamos en las galaxias Haro también podrían haber sido detonadas mediante procesos externos, entre los cuales podemos citar las interacciones (directas o indirectas) con otras galaxias, o incluso la acreción “reciente” de nubes aisladas de gas intergaláctico. La misma cuestión también se aborda desde otro ángulo: ¿la elevada tasa de formación estelar en las galaxias azules compactas se debe a un proceso continuo?, ¿o resulta de una o varias erupciones violentas de formación estelar a lo largo de la vida de la galaxia? Los resultados de algunos autores, como los de Terlevich y colaboradores en 1991, apuntan en la dirección de un proceso continuo, pero hay algunos casos peculiares que parecen ir en contra de esta regla, como el de la galaxia Haro 2 que mencionaremos un poco más adelante.

### **b. Los tipos morfológicos de las galaxias azules compactas y la cuestión de la secuencia evolutiva**

Otro de los problemas clave para entender a las galaxias Haro y las azules compactas es la determinación del tipo de galaxia “huésped”; es decir, averiguar cuál es el tipo morfológico de cada objeto. Utilizando imágenes fotométricas en el cercano infrarrojo se ha encontrado que estas galaxias se distribuyen principalmente entre los siguientes tipos: enanas elípticas, enanas irregulares y galaxias de bajo brillo superficial. Un tema muy controversial, similar al que se enfrentaron Guillermo Haro y sus colegas hace 60 años, es la posible secuencia evolutiva entre estos tipos morfológicos, esto es: la posible transformación de las enanas irregulares en enanas elípticas. Una vez más, los argumentos a favor y en contra no han resuelto la cuestión en forma definitiva, cuestión íntimamente ligada al problema de la formación y evolución de estas galaxias.

### **c. La baja metalicidad y las galaxias “primordiales”**

Un dato fundamental en astrofísica para la comprensión de la formación y evolución de cada sistema, sean estrellas o galaxias, es la composición química que presentan. Hoy sabemos que el Sol, así como la mayoría de las estrellas y galaxias, tienen una composición química muy similar, la cual es dominada por hidrógeno (aproximadamente 75%) y helio (20%), dejando la fracción restante (la “metalicidad”) a una mezcla de elementos químicos más pesados, principalmente carbono, oxígeno y nitrógeno. Desde hace varias décadas se encontró que algunas de las galaxias Haro tienen una metalicidad extremadamente pobre, llegando hasta 1/30 veces la composición química estándar observada en el resto del Universo cercano. Tal como mencionamos antes, la baja metalicidad y una población estelar que parecía puramente azul llevó a los astrónomos en la década de 1970 a reconsiderar la hipótesis de las galaxias primordiales. Posteriormente, las observaciones profundas de estas galaxias revelaron que incluso las galaxias dominadas por estrellas azules y con baja metalicidad siempre contienen una reducida población subyacente de estrellas viejas: algo a lo que Guillermo Haro hizo mención ¡desde 1956! Esto ha dejado en claro que prácticamente todas las galaxias se formaron al mismo tiempo, tanto espirales como elíp-

ticas, y tanto gigantes como enanas. Esto, sin excluir los (a veces violentos) procesos de transformación y evolución de galaxias que ocurren a lo largo de toda la historia de éstas.

Para ilustrar lo complejo que pueden ser las galaxias azules compactas, mencionemos brevemente el caso de una de ellas: Haro 2. Se trata de una pequeña galaxia de un diámetro aproximado de 15 000 años luz (alrededor de un sexto del diámetro de la Vía Láctea), situada a unos 50 millones de años luz de nosotros. Su imagen en el visible puede no despertar gran interés pero es clasificada como galaxia azul compacta y, como es de esperar, presenta un violento proceso de formación de estrellas y un contenido de gas (hidrógeno) extremadamente elevado. Sin embargo, su morfología no estaba del todo establecida y distintos autores la consideraban enana elíptica, mientras que otros, en congruencia con el gran contenido de gas, la clasificaban como enana irregular. Estas dos propiedades juntas (elíptica y abundancia de hidrógeno) implicaban una cierta paradoja, pues es bien sabido que las elípticas se caracterizan justamente por su bajo contenido de gas. El misterio de Haro 2 quedó resuelto cuando Bravo-Alfaro y sus colaboradores reportaron en 2004 observaciones cinemáticas del gas mediante técnicas de radio (usando la línea de 21 centímetros del hidrógeno atómico). La aparente contradicción de la abundancia de gas en una elíptica quedó resuelta cuando se com-



Galaxia azul compacta Haro 2 (Arp 233, UGC 5720). Tomada de: <<http://www.spacebanter.com/attachment.php?attachmentid=3318&d=1295164583>>.



paró la cinemática de esta componente gaseosa con la distribución de estrellas a lo largo de toda la galaxia. Sorprendentemente se halló que el gas en Haro 2 tiene un eje de rotación perpendicular al eje mayor de distribución de estrellas. Dicha cinemática disociada, entre gas y estrellas, hizo concluir a estos autores que el gas provenía del exterior de la galaxia. O dicho de otro modo, Haro 2 había “robado” ese hidrógeno atómico a otro objeto extragaláctico mediante algún mecanismo físico de acreción (véase Figura 3).

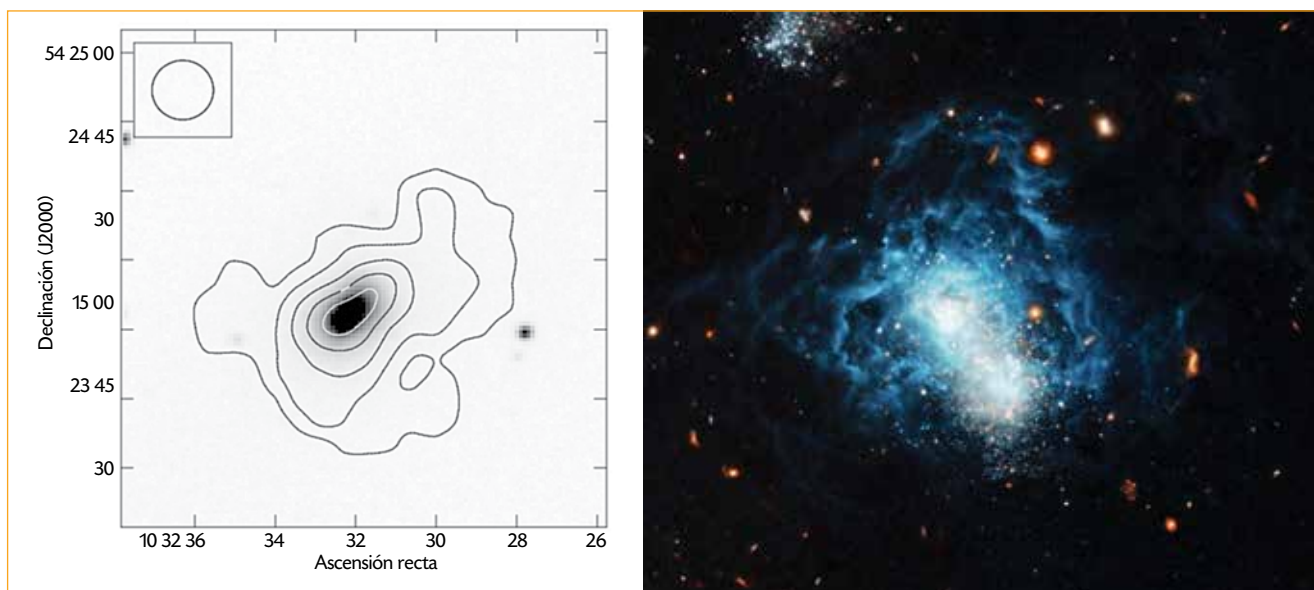
### Reflexiones finales

Casos peculiares como el de Haro 2 están en el centro del debate de las galaxias azules compactas, a saber: ¿cuál es el papel de las interacciones con otras galaxias tanto para producir brotes de formación estelar, como para determinar su morfología y metalicidad? Si bien muy pocos casos siguen el patrón de Haro 2, no podemos dejar de notar que se conocen galaxias azules compactas con condiciones aún más extremas; por ejemplo, en cuanto a la baja metalicidad. En este sentido el campeón es un objeto descubierto por Fritz Zwicky en 1930, llamado I Zw 18. Esta galaxia (Figura 3)

presenta una de las metalicidades más bajas que se hayan encontrado en una galaxia del Universo cercano y sigue encerrando varias de las claves para entender estos pequeños pero extraordinarios objetos.

La importancia de galaxias como Haro 2 no reside únicamente en entender sus propios procesos de evolución, sino también en que su estudio puede servir para entender otros procesos a mayor escala. Un ejemplo, aún poco explorado, es la investigación sistemática de galaxias enanas en los cúmulos masivos de galaxias, en donde por cierto son las más abundantes (superan en una proporción de diez a uno a las galaxias gigantes). Debido a su abundancia y pequeñas dimensiones, las galaxias azules compactas y otras galaxias enanas pueden ser las “partículas de prueba” idóneas para estudiar los efectos del ambiente del cúmulo sobre las galaxias que caen y orbitan en el interior de estos gigantes sistemas.

Otra interesante aplicación que puede tener el estudio sistemático de las galaxias azules compactas fue ideada por Melnick y sus colaboradores; en el año 2000 ellos propusieron usar estos objetos como “candelas de brillo estándar” gracias a que, en conjunto, sus luminosidades son muy similares entre sí. Esto implica que



**Figura 3.** El panel izquierdo muestra la galaxia Haro 2. En tonos de gris se aprecia la galaxia en el cercano infrarrojo (banda J) y en contornos la distribución de gas, obtenida de la línea de 21 centímetros del hidrógeno con el radiotelescopio Very Large Array (NRAO, USA). Tomado de Bravo-Alfaro *et al.* (2006). El panel derecho muestra una imagen de I Zw 18 obtenida con el Telescopio Espacial Hubble (Fuente: HST/NASA/ESA).

podrían utilizarse como indicadores de distancia muy confiables, aun en sitios remotos del Universo (hasta corrimientos al rojo de  $z = 3$ ). Estos autores proponen aprovechar las galaxias azules compactas para hacer estimaciones independientes de la constante cosmológica y la densidad promedio en el Universo, parámetros fundamentales para definir cuál modelo cosmológico describe con mayor fidelidad al Universo, como señaló Terlevich en 2011.

Guillermo Haro difícilmente pudo haber sospechado lo lejos que llegarían los estudios de sus primeras 44 galaxias azules, reportadas en 1956. Al respecto hay que subrayar que su contribución en este campo no se limitó a implementar y perfeccionar una técnica de observación astronómica. Y tampoco se trata sólo de haber descubierto, con la colaboración de otros colegas (como Braulio Iriarte, Enrique Chavira y Graciela González), una gran cantidad de estos enigmáticos objetos. Ambos logros serían, por sí solos, dignos de trascendencia. Pero la contribución de Guillermo Haro fue más allá, tanto en éste como en otros campos de la astrofísica donde incursionó: obtuvo resultados observacionales novedosos que le permitieron plantear preguntas e hipótesis que ayudaron a dar grandes saltos en el conocimiento que tenemos del cosmos y de muchos objetos fascinantes que en él se encuentran.

**Héctor Bravo-Alfaro** estudió la licenciatura en Física en la Universidad Autónoma de Puebla, la maestría en Ciencias en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica y el doctorado en el Observatorio de París. Trabaja en el campo de la radioastronomía y la evolución de galaxias en cúmulos masivos. Es investigador del Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato desde 1998 y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y del Sistema Nacional de Investigadores.

hector@astro.ugto.mx

### Lecturas recomendadas

- Bravo Alfaro, H., E. Brinks, A. J. Baker, F. Walter y D. Kunth (2004), "H I and CO in Blue Compact Dwarf Galaxies: Haro 2 and Haro 4", *Astronomical Journal*, 127, 264-278.
- Bravo Alfaro, H., R. Coziol y E. Brinks (2006), "Multifrequency Study of the Blue Compact Dwarf Haro 2: NIR Imaging and Optical Spectroscopy", *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 42, 261-272.
- Haro, G. (1956), "Nota preliminar sobre galaxias azules con líneas de emisión", *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, 2, 8-18.
- Humason, M. L. y F. Zwicky (1947), "A Search for Faint Blue Stars", *Astrophysical Journal*, 105, 85-91.
- Mayall, N. U. (1939), "The occurrence of  $\lambda 3727$  [OII] in the spectra of extragalactic nebulae", *Lick Observatory Bulletin*, 19, 33-39.
- Melnick, J., R. Terlevich y E. Terlevich (2000), "HII galaxies as deep cosmological probes", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 311, 629-635.
- Moreno, M. A. (comp.) (1986), *Historia de la astronomía en México*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Seyfert, C. K. (1943), "Nuclear Emission in Spiral Nebulae", *Astrophysical Journal*, 97, 28-40.
- Terlevich, R., J. Melnick, J. Masegosa, M. Moles y M. V. F. Copetti (1991), "A Spectrophotometric Catalogue of HII Galaxies", *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 91, 285-324.
- Terlevich, E. (2011), "On 'Preliminary Note on Blue Emission-line Galaxies' by Haro (1956)", *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (SC)*, 39, 69-74.