

# Estudio de galaxias enanas de marea I. Análisis morfológico empleando el plano C-A

I. Vega-Acevedo<sup>1</sup>, A.M. Hidalgo-Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, ESFM-IPN, México D.F., México

Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55017 Fax (55) 5729-55015 E-mail: ivegaa@ipn.mx, amhidalgo@ipn.mx

**Resumen** — En este trabajo se calcularon los parámetros morfológicos Concentración,  $C$ , y Asimetría,  $A$ , en el óptico de una muestra de galaxias Tidal Dwarf Galaxy (TDG) y candidatas a serlo y se concluye que sí se pueden usar para distinguirlas del resto de galaxias enanas. Se encontró que las galaxias de la muestra se distinguen fácilmente de otros tipos de galaxias enanas. Por lo tanto, el uso del plano C-A puede ser un método para la identificación morfológica de candidatas a TDG u objetos enanos de ambientes muy turbulentos.

**Palabras Clave** — Galaxias enanas, Galaxias irregulares, Galaxias en interacción y morfología de galaxias

**Abstract** — In this investigation, we determined the Concentration ( $C$ ) and Asymmetry ( $A$ ) parameters in a sample of Tidal Dwarf Galaxies (TDG) or candidate galaxies. Most of the galaxies in the sample were found to be in a very precise region of the C-A plane, which clearly separates them from other galaxies. Then, we can conclude that the C-A plane can be a useful method for the morphological identification of candidates for TDG or dwarf objects from very turbulent environments

**Keywords** — Dwarf galaxies, Irregular galaxies, galaxy interactions and galaxies: structure

## I. INTRODUCCIÓN

Una galaxia enana de marea (o TDG por sus siglas en inglés) se puede definir como un objeto auto rotante, ligado gravitacionalmente con una masa bariónica de  $10^8 M_{\odot}$  conformado de gas, polvo y estrellas, que se forma durante una fusión o interacción entre galaxias masivas ([11], [17]) fue el primero en proponer que pequeñas galaxias se podían formar a partir de los escombros de la interacción entre galaxias. Desde entonces, este tema ha sido muy activo, ya que se han identificado estas galaxias y estudiando sus propiedades principales, por ejemplo: suelen tener un radio promedio de 6 kpc, una SFR promedio de  $8 \times 10^{-2} M_{\odot} yr^{-1}$ , y una metalicidad de 8.5 dex [12]. Sin embargo, no todos los objetos en las colas de marea de los sistemas interactivos son galaxias enanas de marea reales. Algunas son solo condensaciones de gas demasiado pequeñas para formar un objeto delimitado gravitacional (una galaxia) y se disipará

después de unos cuantos Myr [4]. Otros son el resultado de produce cuando las diferentes partes de la cola de marea se superponen en la línea de visión.

Utilizando solo imágenes directas, es difícil diferenciar entre galaxias enanas de marea reales, condensaciones de gas y objetos de efectos de látigo. Solo la espectroscopía y, en particular, los diagramas posición-velocidad del HI o H $\alpha$ , pueden ayudar a distinguirlos. Debido a que estos diagramas no son fáciles de realizar, el número de TDG real o genuinos es muy pequeño, de modo que hay una gran cantidad de objetos de marea que no pueden ser clasificados como TDG reales, sino solo como candidatas a TDG, TDGc. Como se puede ver la identificación y clasificación de las galaxias enanas de marea es una tarea difícil ya que en la mayoría de los casos no se puede obtener una clasificación definitiva.

En este trabajo utilizamos el sistema C-A-S [5] para clasificar morfológicamente los objetos de marea de otros tipos de galaxias, y verificamos si es posible diferenciar entre los candidatos a TDG de TDG reales. El sistema C-A-S (concentración, asimetría y aglomeración) se ha utilizado recientemente para diferenciar los tipos morfológicos de galaxias ([5], [7]). Se ha encontrado que el plano C-A es una herramienta poderosa para distinguir entre los diferentes tipos de galaxias ya que cada uno de ellos ocupa una región diferente en dicho plano ([5], [7] y [9])

Nuestro objetivo es verificar si las TDG son indistinguible de otras galaxias enanas o si están ubicadas en un lugar específico en el plano C-A, por lo que se puedan identificar fácilmente, y si los parámetros  $C$  y  $A$  son diferentes entre las TDG reales y las candidatas a TDG.

Este trabajo está estructurado de la siguiente manera: La Sección 2 es una descripción de la muestra, la adquisición de datos y la determinación de los parámetros. La Sección 3 presenta el resultado de los valores de la concentración y la asimetría para nuestra muestra de galaxias mientras que en la Sección 4 se estudia el plano C-A, y finalmente las conclusiones se dan en la Sección 5.

## II. METODOLOGÍA

El objetivo principal de esta investigación es estudiar si hay diferencias en la concentración,  $C$ , y asimetría,  $A$ , entre galaxias enanas, candidatas a TDG y TDG reales. Para ello se escogió una muestra de TDGc y TDG reales y una contra muestra de galaxias enanas.

## II. A Selección de la muestra

Seleccionamos una muestra de objetos que incluyen TDG confirmados, candidatos a TDG, es decir objetos cuya auto-rotación aún no se ha confirmado. Estos deben de cumplir una serie de criterios: a) Solo objetos clasificados previamente en la literatura, como TDG o candidato a TDG, b) objetos con un radio estrictamente inferior a 6 kpc, para ser considerado como galaxia enana, c) objetos que se localicen en las colas de marea o en las proximidades de galaxias con evidencia de estar en interacción, d) objetos que tengan observaciones en el óptico del catastro SDSS y E) con imágenes en la UV de GALEX. En general, todos los objetos TDG provienen de pares de galaxias y galaxias en interacción.

Siguiendo estos criterios se obtienen un total de 17 objetos, ocho de los cuales son TDGS confirmados, cinco candidatos a TDG y cuatro eran objetos con una probabilidad muy baja de ser TDG, sin embargo, no había pruebas suficientes para afirmar que no lo son. Denotaremos a estos objetos como nITDG. Debido a los criterios impuestos para la selección de la muestra, la distancia, la magnitud, así como otras propiedades de los objetos son muy diferentes.

A continuación, resumimos algunas de las propiedades de los objetos de la muestra se enumeran en la Tabla 1. En ella se proporciona el nombre del sistema progenitor junto con una letra que describe la ubicación del TDG en la columna 2. La distancia en Mpc al sistema progenitor se presenta en la columna 2. En la columna 3 se dan los radios de  $r_{80\%}$  de los objetos descrito en la Sección II.B.

Para la determinación de los parámetros C y A, se utilizó el software MIDAS. Las imágenes utilizadas en este trabajo para la determinación de C y A se seleccionaron del catastro de SDSS en el filtro g ([3], [10]), excepto ARP 244, para el cual se usaron imágenes del DSS en la banda V.

### II.B Determinación de C, A y $r(80\%)$

El índice de concentración, C, cuantifica la concentración de la luz en una galaxia, y se define como:

$$C = 5 \log \left( \frac{r(80\%)}{r(20\%)} \right) \dots \dots \dots (1)$$

donde  $r(80\%)$  y  $r(20\%)$  representan el radio que encierra, respectivamente, el 80% y el 20% flujo de la fuente en unidades de 1,5 radios inversos de Petrosian [2]. Este índice se ha utilizado ampliamente para clasificar las galaxias en dos grandes clases, tempranas y tardías ([10], [1]).

Para determinar C se siguió la metodología descrita en [20]. Los valores que suele tomar van desde muy cercanos a cero hasta aproximadamente 4 para galaxias muy poco concentradas.

TABLA I  
VALORES DE LA MUESTRA

Nombre (1)	A.R Dec [J2000] (2)	A (3)	C (4)	Dis[Mpc] (5)	Radio <sup>b</sup> [kpc] (6)	Clasificado <sup>1</sup> (7)
Arp 105N <sup>3</sup>	11:11:12.8 28:45:57.14	0.5 ± 0.1	1.7 ± 0.3	134.25	4.71	nITDG
Arp 105S <sup>2</sup>	11:11:13.4 28:41:15.96	0.4 ± 0.1	1.7 ± 0.3	134.25	4.71	TDGc
Arp 112E <sup>3</sup>	00:01:34.5 31:26:33.70	0.6 ± 0.1	2.1 ± 0.3	66.09	5.31	TDG
Arp 181W <sup>1</sup>	10:27:26.3 79:49:12.79	0.8 ± 0.1	1.7 ± 0.3	143.56	5.30	TDG
Arp 181E <sup>1</sup>	10:27:40.1 79:49:45.3	0.7 ± 0.1	1.6 ± 0.2	143.56	3.88	TDG
Arp 202W <sup>1</sup>	09:00:09.3 35:43:40.26	0.6 ± 0.1	2.1 ± 0.3	48.70	2.63	nITDG
Arp 226NW <sup>1</sup>	22:20:33.5 - 24:37:22.07	0.2 ± 0.1	1.5 ± 0.2	66.14	3.85	TDG
Arp 226E <sup>1</sup>	22:20:55.7 - 24:41:10.21	0.7 ± 0.1	1.6 ± 0.2	66.14	4.47	TDG
Arp 242N <sup>2</sup>	12:46:10.4 30:45:11.31	0.3 ± 0.1	1.7 ± 0.3	101.44	4.15	TDGc
Arp242S <sup>3</sup>	12:46:12.0 30:42:02.34	0.6 ± 0.1	1.8 ± 0.3	101.44	5.62	TDGc
Arp244S <sup>1</sup>	12:01:26.6 - 19:00:49.33	0.1 ± 0.1	1.5 ± 0.2	30.38	3.95	TDG
Arp245N <sup>1</sup>	09:45:44.1 - 14:17:34.55	0.1 ± 0.1	1.6 ± 0.2	39.15	5.81	TDG
Arp305E <sup>1</sup>	11:58:41.5 27:29:34.90	0.5 ± 0.1	2.4 ± 0.4	55.12	4.86	TDG
NGC4656N <sup>3</sup>	12:44:14.4 32:16:43.88	0.5 ± 0.1	2.0 ± 0.3	13.41	5.40	nITDG
Arp270S <sup>2</sup>	10:49:34.5 32:52:38.31	0.5 ± 0.1	1.5 ± 0.2	28.14	1.91	TDGc
Arp270N <sup>2</sup>	10:49:44.2 33:00:42.40	0.6 ± 0.1	1.9 ± 0.3	28.14	0.76	TDGc
HolmbergIX <sup>2</sup>	09:57:31.5 69:02:43.69	0.4 ± 0.1	2.0 ± 0.3	1.90	0.86	nITDG

<sup>1</sup>Clasificación confirmado que es una galaxia enana de marea, TDG, candidato a TDG, TDGc, y si es poco probables a ser TDG, nITDG.

La definición de índice de asimetría A que usamos en este artículo es

$$A = \frac{|I - R|}{|I|} \dots \dots \dots (2)$$

donde I es la imagen original y R es la imagen rotada 180 grados alrededor del centro óptico.  $|I - R|$ , representa la suma de los flujos de los pixeles dentro de una región centrada en el centro óptico y de radio  $r(80\%)$  de la imagen que se obtiene al determinar el valor absoluto de la diferencia entre las imágenes I y R. Para este procedimiento también se utilizó el software MIDAS [18]. El índice de asimetría toma valores desde 0, para aquellas galaxias completamente simétricas, hasta 1 donde la galaxia es completamente asimétrica ([9], [8]). Para valores mayores a 0.35 se considera que esa galaxia proviene de una fusión reciente [9].

## III. RESULTADOS

Los resultados de los valores de la asimetría y la concentración para las galaxias de nuestra muestra se presentan en la Tabla I. En la columna (1) está el nombre del objeto, en la columna (2) las coordenadas en J2000 del objeto, en la columna (3) la asimetría, A, en la columna (4) la concentración, C, en la columna (5) la distancia del objeto en Mpc, en la comuna (6) el radio que contiene el 80% del flujo del objeto en kpc y en la comuna (7) se clasifican entre grupos si ha confirmado que son galaxia enana de marea, TDG, si solo son candidato a TDG, TDGc o si son poco probables a ser TDG, nITDG.

### III. A Histogramas de C y A

La Fig. 1 muestra los histogramas del parámetro de Asimetría para distintos tipos morfológicos de galaxias enanas. Estos valores han sido obtenidos de [6] y [19]. Como se puede observar, hay una gran diferencia en los valores de la asimetría para las distintas galaxias enanas. Las elípticas enanas (dE) tienen un único pico a valores muy pequeños, indicando que son altamente simétricas.

Por el contrario, tanto las espirales enanas (dS) como las irregulares enanas (dI) presentan una distribución más extendida, aunque también a valores bajos, menores a 0.5. Por el contrario, las TDG de nuestra muestra ocupan casi todo el espacio del parámetro, llegando hasta valores tan asimétricos como 0.8.

Para aquellas TDGs con valores muy pequeños (Arp 244S y

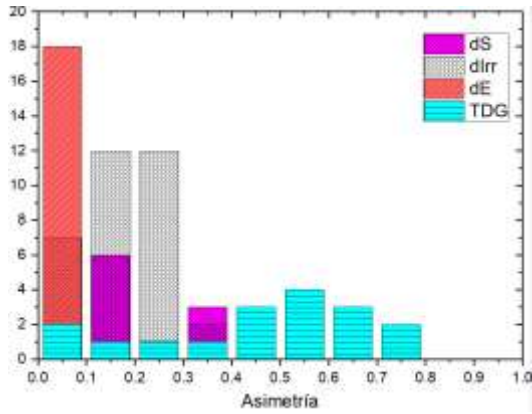


Fig. 1. Histogramas de la asimetría de galaxias: a) Elípticas enanas (dE), b) Espirales enanas (dS), c) Irregulares enanas (dIrr) y d) muestra de estudio (TDG). Datos tomados de [5] y [19]

Arp 245N) creemos que dichos valores están influenciados por el bajo brillo superficial de las estructuras en las imágenes utilizadas para la determinación de A. Esto podría conducir a un valor más bajo de la asimetría porque solo se utilizó la parte central de las galaxias, que siempre son más simétricas que las partes exteriores [19].

Para el caso de la concentración se observa que las TDG tienen valores entre 1 y 3 mientras que las dE tienen valores entre 2 y 3 y las dS y las dI tienen valores entre 2 y 4. Esto es muy interesante ya que estudios previos tienden a utilizar el parámetro C para hacer una primera separación entre galaxias tempranas y tardías, siendo las primeras aquellas que tienen un valor de C mayor a 2.6 [1].

Esto es debido a que valores altos del índice C indica una alta concentración de luz en el centro de la galaxia, que es más común en galaxias de tipo temprano. Solo una de las galaxias (Arp 305N) en nuestra muestra tiene C cerca de este valor, mientras que las otras 16 están bien dentro de los valores de

tipo tardío. La Fig. 2 muestra la distribución del histograma de los valores de C para diferentes tipos morfológicos de galaxias. Está claro que los TDG tienen la distribución más estrecha y los valores de C más bajos. Solo algunos de los dS y dE tienen valores de C similares, pero los valores promedio (enumerados en la columna 1 de la Tabla III) son muy diferentes. El valor promedio de concentración es muy similar para los tres tipos de galaxias enanas.

Además, también es interesante notar que las galaxias enanas siempre tienen valores de concentración más bajos que sus contrapartes más grandes, aunque todas las galaxias enanas tienen valores de C más grandes que los TDG. Nuevamente, los nTDG tienen los valores de concentración promedio más altos (1.9), mientras que los TDG tienen los más bajos (1.7). En cualquier caso, se puede concluir que las TDG tienen valores de índice A y C diferentes a los de cualquier otro tipo de galaxias, diferenciándose también de las otras enanas.

### III. B Comparación con otras galaxias

En la Tabla II se presentan los valores promedios y la dispersión,  $\sigma$ , de la concentración, C, y la asimetría, A, para

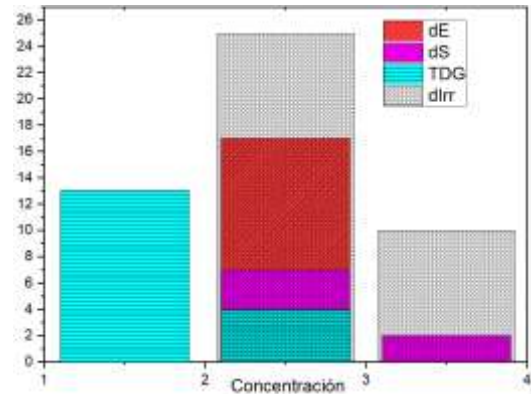


Fig. 2. Histogramas de la concentración de galaxias. Símbolos y datos igual que en la figura 1.

diferentes tipos morfológicos de galaxias distinguiendo a las enanas. En esta tabla las llamadas TDGs son las de nuestra muestra.

Aquí se puede observar que las TDGs aquí estudiadas presentan unos valores de A en promedio bastante más grandes que para el resto de las galaxias, incluyendo todos los tipos de galaxias enanas. Por otro lado, los valores de C son los menores de todos los valores promedio de las galaxias estudiadas. Esto parece indicar que las TDG sí están en un lugar diferente al resto de las galaxias en el plano C-A.

TABLA II  
PROMEDIOS Y DISPERSIÓN  $1\sigma$  DE C Y A

Tipo	C	A
TDGs	$1.7 \pm 0.2$	$0.5 \pm 0.2$
Elípticas <sup>a</sup>	$4.4 \pm 0.3$	$0.0 \pm 0.1$
Elípticas enanas <sup>a</sup>	$2.5 \pm 0.3$	$0.0 \pm 0.1$
Espirales <sup>a</sup>	$3.3 \pm 0.6$	$0.1 \pm 0.1$
Espirales enana <sup>b</sup>	$2.4 \pm 0.6$	$0.2 \pm 0.1$
Irregulares <sup>a</sup>	$3.3 \pm 0.5$	$0.3 \pm 0.2$
Irregulares enana <sup>a</sup>	$2.9 \pm 0.3$	$0.2 \pm 0.1$

<sup>a</sup>Datos tomados de [5]

<sup>b</sup>Datos tomados de [19]

El error para C y A corresponde a una variación de  $1\sigma$  del promedio.

#### IV. RESULTADOS

Muchos investigadores han utilizado la posición en el plano de Concentración-Asimetría (C-A) para clasificar las galaxias por su morfología ([2], [13], [14], [15], [16] y [21]). Es con base en estos resultados que queremos verificar si las galaxias enanas de marea están en un lugar separado en este plano y, por lo tanto, eran fáciles de detectar.

Como se ha visto de los resultados de la sección anterior, las galaxias enanas de marea podrían tener valores particulares

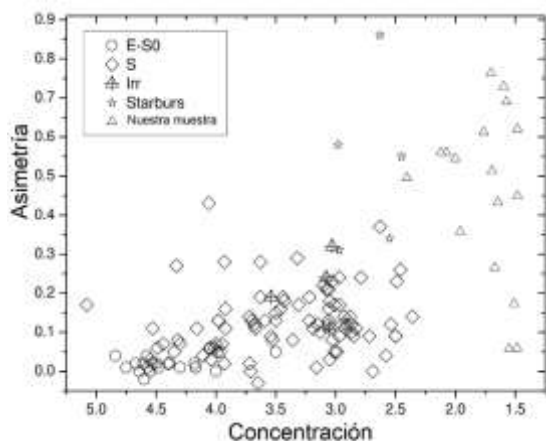


Fig. 3. Esta figura muestra el plano C – A para diferentes tipos morfológicos de galaxias. Los círculos corresponden a galaxias elípticas o esferoidales (E, S0), los diamantes a las galaxias espirales, los triángulos cruzados a galaxias irregulares, las estrellas de cinco puntas a galaxias con formación de estrellas y los triángulos son los objetos de nuestra muestra. Todos los datos, excepto los de nuestra muestra, fueron tomados de [9]

para los índices A y C. Para ver si se separan fácilmente en el plano C-A se han colocado en la Figura 3 los objetos de nuestra muestra junto con las galaxias elípticas, irregulares y espirales y galaxias starburst. Hay dos conclusiones interesantes de esta figura. En primer lugar, los TDG no se encuentran cerca de las galaxias Starburst. Esto es interesante porque algunos autores piensan que las TDG van a sufrir o lo

están sufriendo ya, un proceso de formación estelar violento y generalizado (un starburst) [9]. Sin embargo, ambos grupos de galaxias tienen un amplio rango de valores de asimetría sus valores de concentración son muy diferentes. En segundo lugar, los índices C de las TDG son muy bajos. Son los valores más bajos para todos los tipos de galaxias, a pesar de la baja concentración que tienen las galaxias enanas, como ya se ha señalado. Por lo tanto, la identificación de los TDG se puede hacer muy fácilmente usando el plano C–A porque están ubicados en una franja específica en este plano, en valores de C menores que 2. En la Fig. 4 mostramos nuevamente el plano C – A, pero solo para galaxias enanas (dE, dS, dIrr) y TDG. También se muestran las líneas que separan las regiones de tipo temprano y tardío propuestas por [2] y [1], separadas por una línea de puntos. Uno de los aspectos más llamativos es que más del 90% de las galaxias enanas tienen un índice de concentración inferior a 3, incluyendo dE, pero ningún valor específico de A. Esto es contrario a lo que ocurre con las galaxias grandes, donde más del 75% de tienen  $C > 3$  [1]. Tanto las galaxias dS como TDG se ubican en la región de tipo tardío, mientras que las dE se ubican en la parte inferior del plano (región temprana), con índices A muy bajos y valores C intermedios. Investigaciones previas propusieron que la estructura de dS puede ser explicada por interacciones menores [19]. Esto podría explicar las similitudes en el índice C entre dS y TDG. Por el contrario, las galaxias dIrr se distribuyen en un índice C grande ( $> 2.5$ ) y de tipo temprano a tardío, aunque casi el 70% de las dI se encuentran en las regiones de tipo tardío. También en esta figura se puede ver que las TDG tienen las mismas características que otros tipos de galaxias enanas, pero están separadas tanto de las dIrr como de las dS. Además, tienen

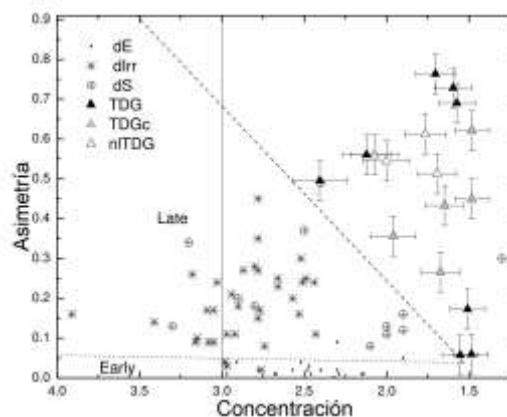


Fig. 4. Asimetría contra Concentración solo para galaxias enanas. Esta figura muestra el plano C – A con diferentes tipos de galaxias enanas. Los puntos negros son para galaxias elípticas enanas (dE), las estrellas corresponden a galaxias enanas irregulares (dIrr), las espirales enanas son círculos cruzados (dS), los triángulos negros son galaxias enanas de marea confirmadas (TDG), los triángulos grises son candidatos a galaxias enanas de marea (TDGc), y los triángulos blancos representan las poco probables galaxias enanas de marea (nITDG). Las líneas punteadas separan las galaxias tempranas de las tardías y las tardías de las TDG, mientras que la línea vertical representa el valor máximo que normalmente pueden obtener las galaxias enanas. Los datos para dE y dIrr son de [9] mientras que los datos para dS son de [19].

los índices C más pequeños de todas las galaxias enanas, estando en el intervalo de  $1,5 < C < 2,5$ , y se pueden localizar en una región a la derecha de la línea discontinua de la Fig. 4, que viene dada por:

$$\log(A) = 1.21C - 3.37 \dots \dots \dots (3)$$

Ninguna otra galaxia enana se encuentra a la derecha de esta línea excepto una dS. Aunque se necesitan más datos sobre las galaxias enanas de tipo tardío, así como de candidatos a TDG para reforzar esta conclusión, esto podría indicar que las TDG son morfológicamente diferentes del resto de las galaxias enanas, con un origen y una evolución diferentes. Por último, hay que hacer notar que no hay una diferencia real en la posición en el plano C–A entre los objetos TDG genuinos, los TDG candidatos y los objetos nTDG.

#### IV. CONCLUSIONES

En esta investigación determinamos los parámetros C y A de una muestra de TDGs para saber si tienen valores similares al resto de galaxias. En nuestra muestra, incluimos cinco objetos de marea, que podrían no ser TDG solo para verificar si hay alguna diferencia entre los TDG reales y genuinos y cualquier otro objeto de marea.

Notamos que los TDG tienen los valores de C más bajos que cualquier otro grupo de galaxias. Esto indica que son las galaxias con estructuras menos concentradas, lo cual es bastante esperado si asumimos que estos objetos aún están en una etapa de formación. Por otro lado, las TDG son las galaxias con valores altos del parámetro A, a excepción de las galaxias Starburst. Esto también es esperable en un escenario de formación de estas galaxias.

Con estos valores, es claro que las TDG están ubicados en una región bien definida en el plano C–A, separadas de otros tipos morfológicos de galaxias. No hay otras galaxias, incluidas las galaxias enanas, en esta parte del plano. Esto podría indicar que las TDG tienen un origen muy diferente al resto de las galaxias enanas. O al revés, las galaxias enanas (dE, dS y dIrr) no se forman a partir de los desechos de los sistemas que interactúan. El problema que sigue manteniéndose es que no hay posibilidad de diferenciar entre los TDG confirmados, los candidatos TDG y los objetos TDG poco probables, ya que los valores promedio son muy similares de A y C para las tres submuestras.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte de la tesis de doctorado del M. en C. I. Vega Acevedo. Tesis patrocinada por CONACYT. Esta investigación ha hecho uso de la base de datos extragaláctica de la NASA / IPAC (NED), que es operada por el laboratorio de propulsión a chorro, el Instituto de Tecnología de California, bajo contrato con la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). El sitio web SDSS-III es <http://www.sdss3.org/>.

SDSS-III es administrado por el consorcio de investigación astrofísica para las instituciones participantes de la colaboración SDSS-III, incluida la Universidad de Arizona, el Grupo de Participación de Brasil, Laboratorio Nacional de Brookhaven, Universidad Carnegie Mellon, Universidad de Florida, el Grupo de Participación Francés, el grupo de participación germana, universidad de harvard, el instituto de astrofísica de canarias, el grupo de participación del estado de Michigan /Notre Dame/Jina, Universidad de Johns Hopkins, Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley, Max Planck Institute for Astrophysics, la Universidad Estatal de Nueva York, la Universidad Estatal de Ohio, la Universidad Estatal de Pennsylvania, la Universidad de Portsmouth, la Universidad de Princeton, el Grupo de Participación Española, Universidad de Tokio, Universidad de Utah, Universidad de Vanderbilt, Universidad de Virginia Washington y la Universidad de Yale.

#### REFERENCIAS

- [1] Bell E. F., McIntosh D. H., Katz N., Weinberg M. D., 2003, ApJS, 149, 289
- [2] Bershady M. A., Jangren A., Conselice C. J., 2000, AJ, 119, 2645
- [3] Blanton M. R., Bershady M. A., Abolfathi B., Albareti F. D., Allende Prieto C., Almeida A., Alonso-García J., et al., 2017, AJ, 154, 28. doi:10.3847/1538-3881/aa7567
- [4] Bournaud F., Duc P.-A., Amram P., Combes F., Gach J.-L., 2004, A&A, 425, 813. doi:10.1051/0004-6361:20040394
- [5] Conselice C. J., 2003, ApJS, 147, 1
- [6] Conselice C. J., 2006, MNRAS, 373, 1389
- [7] Conselice C. J., Bershady M. A., Gallagher J. S., 2000, A&A, 354, L21
- [8] Conselice C. J., Bershady M. A., Jangren A., 2000, ApJ, 529, 886
- [9] Conselice C. J., Bershady M. A., Dickinson M., Papovich C., 2003, AJ, 126
- [10] Doi M., Tanaka M., Fukugita M., Gunn J. E., Yasuda N., Ivezić Ž., Brinkmann J., et al., 2010, AJ, 139, 1628. doi:10.1088/0004-6256/139/4/1628
- [11] Duc P.-A., Brinks E., Springel V., Pichardo B., Weilbacher P., Mirabel I. F., 2000, AJ, 120, 1238. doi:10.1086/301516
- [12] Duc P.-A., Mirabel I. F., 1994, A&A, 289, 83
- [13] Huertas-Company M., Rouan D., Tasca L., Soucail G., Le Fèvre O., 2008, A&A, 478, 971
- [14] Lauger S., Burgarella D., Buat V., 2005, A&A, 434, 77
- [15] Menanteau F., Ford H. C., Motta V., Benítez N., Martel A. R., Blakeslee J. P., Infante L., 2006, AJ, 131, 208
- [16] Neichel B., Hammer F., Puech M., Flores H., Lehnert M., Rawat A., Yang Y., et al., 2008, A&A, 484, 159. doi:10.1051/0004-6361:20079226
- [17] Schweizer, F. 1978, "Galaxies with Long Tails", Proceedings of the Symposium Structure and Properties of Nearby Galaxies, No. 77, pag. 279
- [18] Vega-Acevedo I., 2013, Mc thesis 'Estudio del parámetro de asimetría en galaxias espirales enanas', Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional, México
- [19] Vega-Acevedo I., Hidalgo-Gamez A. M., 2014, ASPC, 239, ASPC..480
- [20] Vega-Acevedo I., Hidalgo-Gamez A. M., 2022, RMx&A 58, 61
- [21] Yagi M., Nakamura Y., Doi M., Shimasaku K., Okamura S., 2006, MNRAS, 368, 211