

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

I. Vega Acevedo¹, A.M. Hidalgo Gámez¹.

¹Departamento de Física, ESFM-Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México., México., Teléfono (55) 5729-6000 Ext. 55375 Fax (55) 5729-55015 ivegaa@ipn.mx, amhidalgo@ipn.mx



RESUMEN/ABSTRACT

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.

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]). Estas galaxias suelen tener un radio promedio de 6 kpc, una SFR promedio de $8 \times 10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$, 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 producirse cuando las diferentes partes de la cola de marea se superponen en la línea de visión.

En general, es difícil diferenciar entre galaxias enanas de marea reales, condensaciones de gas y objetos de efectos de látigo. Solo la espectroscopia y, en particular, los diagramas posición-velocidad del HI o H α , 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.

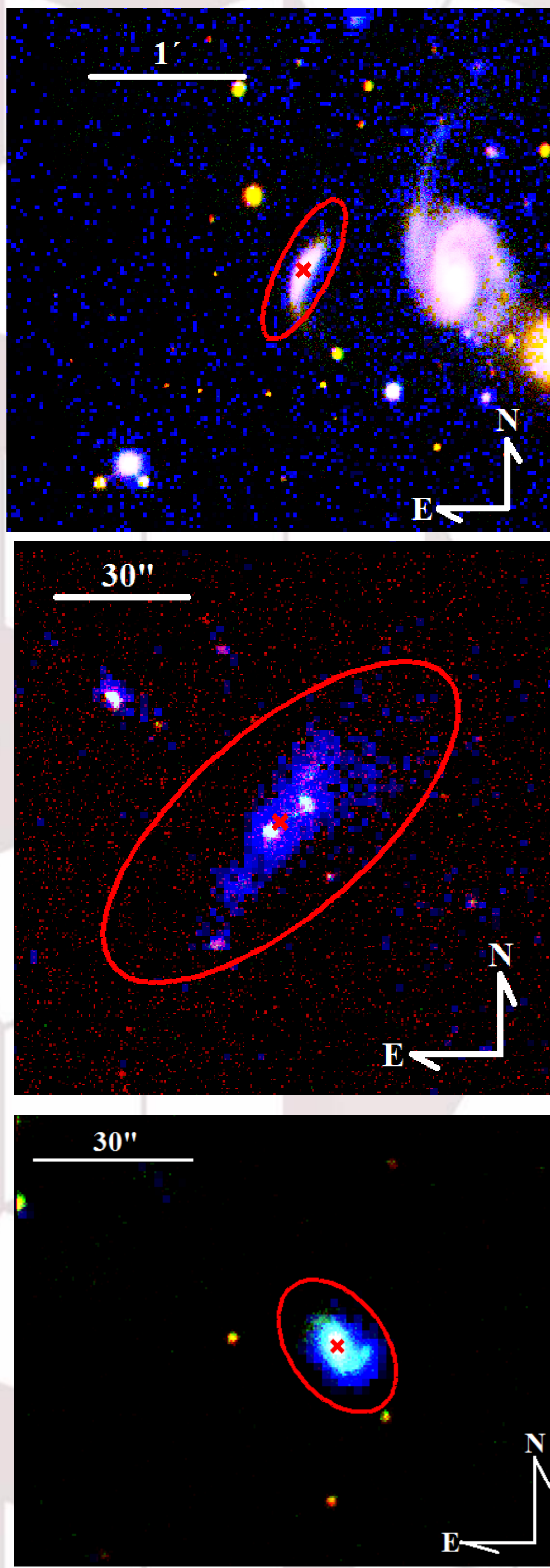


Figura 1. Composición en el óptico de los objetos Superior Arp 112E, en medio Arp305E y inferior Arp 181W. DSSr (rojo), DSSb (verde) y NUV de Galex (azul). La elipse en rojo muestra la región delimitada para el estudio de los parámetros C y A así como el centro.

En este trabajo utilizamos el sistema C-A-S [5] para clasificar morfológicamente los objetos de marea de otros tipos de galaxias, y verificar si es posible diferenciar entre los candidatas 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] y [9])

METODOLOGÍA

Selección de la muestra

Seleccionamos una muestra de objetos que incluyen TDG confirmados, candidatas 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 candidatas 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.

Determinación de C y A

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 .

Concentración

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].

Asimetría

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 píxeles 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 .

TABLA 1
VALORES DE LA MUESTRA

| Nombre (1) | A.R Dec [J2000] (2) | A (3) | C (4) | Dis[Mpc] (5) | Radio ^a [kpc] (6) | Clasificado ^b (7) |
|--------------------------|---------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| Arp 105N ¹ | 11:11:12.8 28:45:57.14 | 0.5 ± 0.1 | 1.7 ± 0.3 | 134.25 | 4.71 | nITDG |
| Arp 105S ² | 11:11:13.4 28:41:15.96 | 0.4 ± 0.1 | 1.7 ± 0.3 | 134.25 | 4.71 | TDGc |
| Arp 112E ³ | 00:01:34.5 31:26:33.70 | 0.6 ± 0.1 | 2.1 ± 0.3 | 66.09 | 5.31 | TDG |
| Arp 181W ¹ | 10:27:26.3 79:49:12.79 | 0.8 ± 0.1 | 1.7 ± 0.3 | 143.56 | 5.30 | TDG |
| Arp 181E ¹ | 10:27:40.1 79:49:45.3 | 0.7 ± 0.1 | 1.6 ± 0.2 | 143.56 | 3.88 | TDG |
| Arp 202W ¹ | 09:00:09.3 35:43:40.26 | 0.6 ± 0.1 | 2.1 ± 0.3 | 48.70 | 2.63 | nITDG |
| Arp 226NW ¹ | 22:20:33.5 24:37:22.07 | 0.2 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 66.14 | 3.85 | TDG |
| Arp 226E ¹ | 22:20:55.7 24:41:10.21 | 0.7 ± 0.1 | 1.6 ± 0.2 | 66.14 | 4.47 | TDG |
| Arp 242N ² | 12:46:10.4 30:45:11.31 | 0.3 ± 0.1 | 1.7 ± 0.3 | 101.44 | 4.15 | TDGc |
| Arp 242S ¹ | 12:46:12.0 30:42:02.34 | 0.6 ± 0.1 | 1.8 ± 0.3 | 101.44 | 5.62 | TDGc |
| Arp 244S ¹ | 12:01:26.6 19:00:49.33 | 0.1 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 30.38 | 3.95 | TDG |
| Arp 245N ¹ | 09:45:44.1 14:17:34.55 | 0.1 ± 0.1 | 1.6 ± 0.2 | 39.15 | 5.81 | TDG |
| Arp 305E ¹ | 11:58:41.5 27:29:34.90 | 0.5 ± 0.1 | 2.4 ± 0.4 | 55.12 | 4.86 | TDG |
| NGC 4656N ³ | 12:44:14.4 32:16:43.88 | 0.5 ± 0.1 | 2.0 ± 0.3 | 13.41 | 5.40 | nITDG |
| Arp 270S ² | 10:49:34.5 32:52:38.31 | 0.5 ± 0.1 | 1.5 ± 0.2 | 28.14 | 1.91 | TDGc |
| Arp 270N ² | 10:49:44.2 33:00:42.40 | 0.6 ± 0.1 | 1.9 ± 0.3 | 28.14 | 0.76 | TDGc |
| Holmberg IX ² | 09:57:31.5 69:02:43.69 | 0.4 ± 0.1 | 2.0 ± 0.3 | 1.90 | 0.86 | nITDG |

¹Clasificación confirmado que es una galaxia enana de marea, TDG, candidato a TDG, TDGc, y si es poco probable a ser TDG, nITDG.

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 columna (6) el radio que contiene el 80% del flujo del objeto en kpc y en la columna (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.

DISCUSIÓN

En la Fig. 2 mostramos 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 los índices C más pequeños de todas las galaxias enanas, 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. 2, 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 candidatas 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 nITDG.

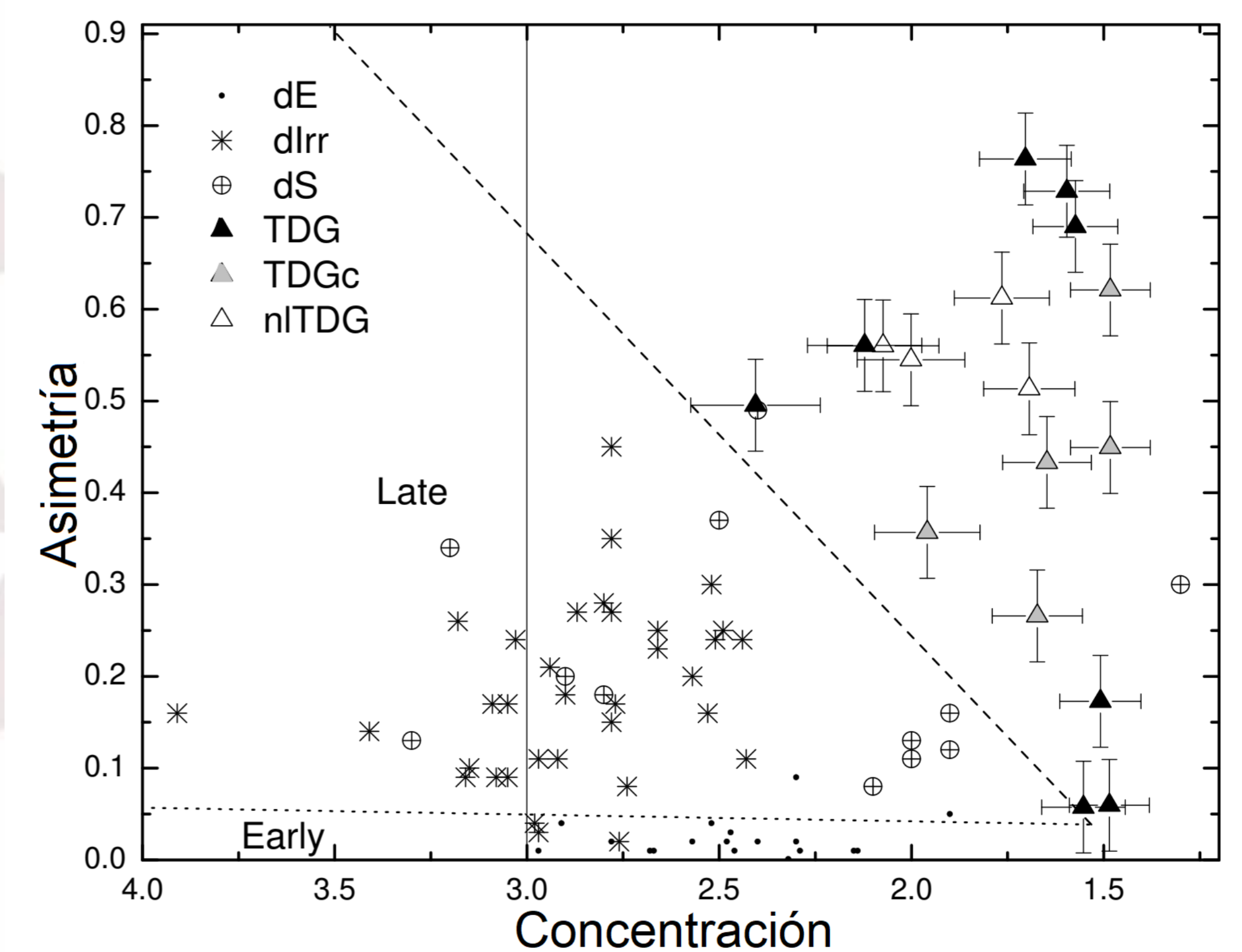


Figura 2. Asimetría contra Concentración solo para galaxias enanas. Esta figura muestra el plano C - A con diferentes tipos de galaxias enanas. Los puntos negros son para galaxias elípticas enanas (dE), las estrellas corresponden a galaxias enanas irregulares (dIrr), las espirales enanas son círculos cruzados (dS), los triángulos negros son galaxias enanas de marea confirmadas (TDG), los triángulos grises son candidatas 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].

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.

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 E., 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 Z., 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., Weibacher 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 Fevre O., 2008, A&A, 478, 971
[14] Lauer 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-Gómez A. M., 2014, ASPC, 239, ASPC, 480
[20] Vega-Acevedo I., Hidalgo-Gómez A. M., 2022, RMx&A 58, 61
[21] Yagi M., Nakamura Y., Doi M., Shimazaki K., Okamura S., 2006, MNRAS, 368, 211