

# Estudio de la estructura en gran escala usando el fenómeno de lentes gravitacionales débiles: Voids y Filamentos.

Elizabeth Gonzalez<sup>1,2</sup>, Diego García Lambas<sup>1,2,3</sup>, Mariano Domínguez<sup>1,2,3</sup>, Osvaldo Moreschi<sup>2,4</sup>, Gael Foëx<sup>5</sup>, José L. Nilo<sup>6</sup>, M. Vactoria Alonso<sup>1,2,3</sup>, M. Sol Alonso<sup>1</sup>, Paz Dante<sup>1,2,3</sup>, Ceccarelli M. Laura<sup>1,2,3</sup>, M. Rosa Muñoz Jofré<sup>1,2</sup>, Peñaloza Leandro<sup>3,6</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Astronomía, Teórica y Experimental (CONICET-UNC), Córdoba, Argentina

<sup>2</sup>Observatorio Astronómico de Córdoba, Córdoba, Argentina

<sup>3</sup>Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

<sup>4</sup>Instituto de Física Enrique Gaviola, (CONICET-UNC), Córdoba, Argentina

<sup>5</sup>Departamento de Física y Astronomía, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile

<sup>6</sup>Departamento de Física, Universidad de La Serena, La Serena, Chile

<sup>7</sup>Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (CONICET), Mendoza, Argentina



## RESUMEN

Describimos la elaboración y testeo de un *pipeline* para la determinación de la distribución de masas de *voids* y filamentos mediante el fenómeno de lente débil. El mismo lleva a cabo el análisis de mosaicos de imágenes del SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) en los filtros  $i'$  y  $r'$ . Luego, a partir de la aplicación de técnicas de *stacking*, el código permite elaborar el perfil de *shear* de estos sistemas de baja señal. Así mismo, presentamos algunos resultados preliminares de la aplicación del código.

## INTRODUCCIÓN

Las lentes gravitacionales débiles han demostrado ser una poderosa herramienta para obtener la distribución de masa del universo. Sin embargo, dado que la deformación que se requiere detectar es considerablemente débil, las lentes han sido mayormente utilizadas para la determinación de masas de cúmulos de galaxias, debido a que en este caso la deformación de las galaxias de fondo ocasionada por el cúmulo, es considerable y por lo tanto más fácilmente detectable.

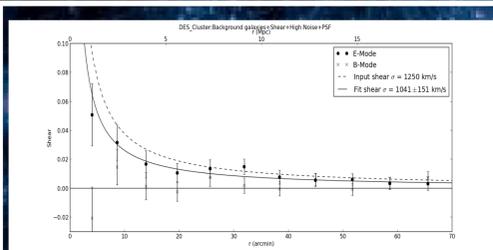
Es importante entonces, llevar a cabo el desarrollo y la aplicación de técnicas que permitan el análisis de objetos menos masivos mediante este fenómeno. Con esta motivación se elaboró un *pipeline* para el análisis de lente débil de objetos astronómicos. Presentamos los detalles del código para la posterior aplicación a *voids* y a la detección de filamentos, componentes principales en la estructura en gran escala del universo.

## PIPELINE DE ANÁLISIS Y MEDICIÓN DE LENTES DÉBILES

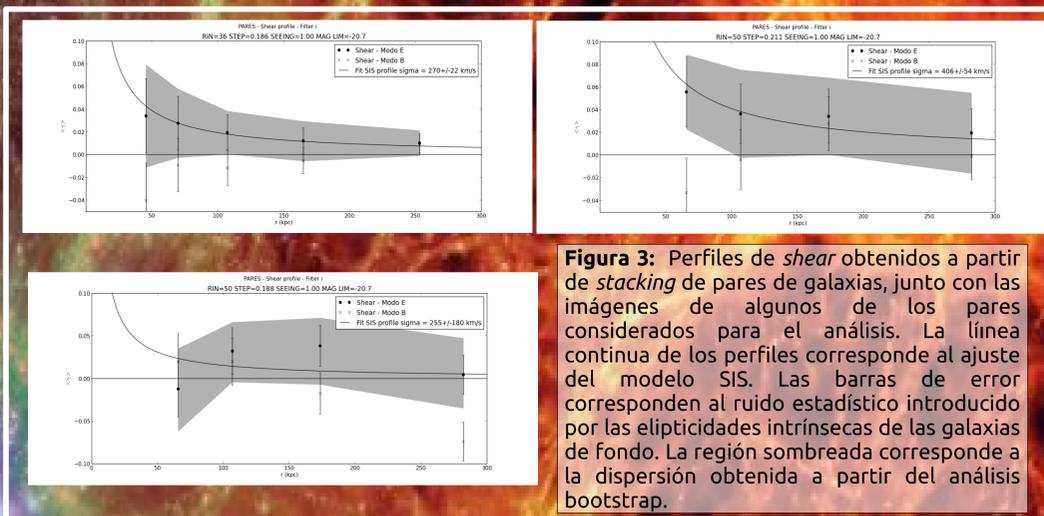
En principio se llevó a cabo la elaboración de un *pipeline* para el análisis de lentes débiles en cúmulos de galaxias, debido a que en este caso la señal de lente es significativa, lo que nos permitió el testeo y la calibración del código. Los detalles sobre la detección y clasificación de los objetos, determinación de la PSF y la medición de las formas están descritos en Gonzalez et al. (en preparación).

Para llevar a cabo el testeo del *pipeline*, se aplicó a las *DES Cluster simulations* (Gill et al. 2009), con resultados satisfactorios (Figura 1). Posteriormente, realizamos el primer análisis de lentes de un conjunto de 7 cúmulos de galaxias de baja emisión en rayos-X (Gonzalez et al., en preparación). Se obtuvo señal para cuatro de estos sistemas (Figura 2), a los cuales se les estimó la masa.

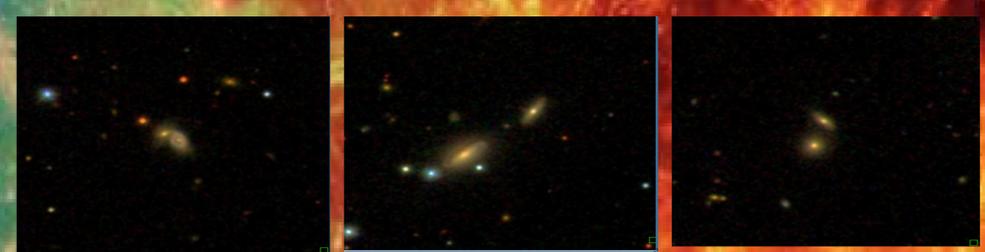
Finalmente, se adaptó el *pipeline* para el análisis de imágenes del SDSS. Dado que los objetos que se pretenden analizar poseen un bajo contraste de densidad, es necesario aplicar como técnica el *stacking*, de forma tal de incrementar la estadística de objetos, y consecuentemente la señal de lente. El código modificado permite el análisis de múltiples imágenes (descartando aquellas con *seeing* > 1"), tratadas de forma independiente, en simultáneo mediante la paralelización del código.



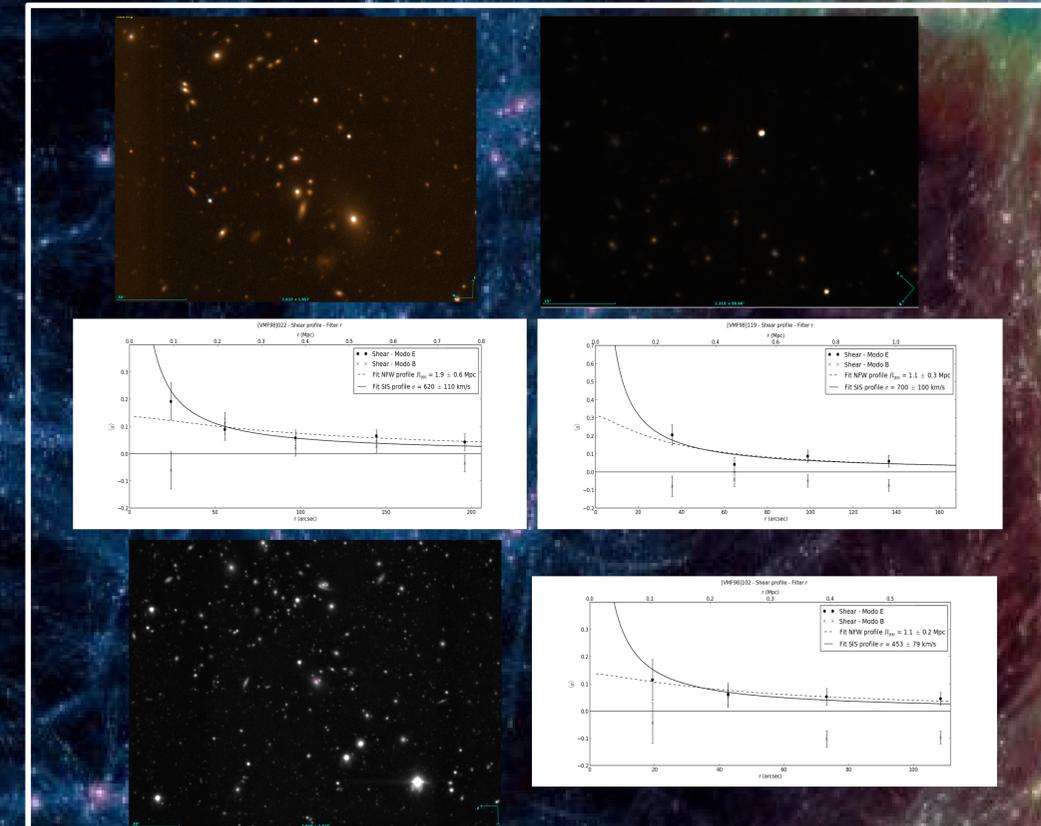
**Figura 1:** Perfil de *shear* obtenido del análisis del mosaico de imágenes con ruido fotónico, ruido del fondo de cielo y PSF, de la *DES Cluster simulations*. Se graficaron las componentes de las elipticidades promediadas de las galaxias de fondo, Modos E (puntos) y Modos B (cruces), junto con el ajuste del modelo de densidad de esfera isotérmica obtenido (línea sólida) y el modelo impuesto en la simulación (línea a trazos).



**Figura 3:** Perfiles de *shear* obtenidos a partir de *stacking* de pares de galaxias, junto con las imágenes de algunos de los pares considerados para el análisis. La línea continua de los perfiles corresponde al ajuste del modelo SIS. Las barras de error corresponden al ruido estadístico introducido por las elipticidades intrínsecas de las galaxias de fondo. La región sombreada corresponde a la dispersión obtenida a partir del análisis bootstrap.



**Figura 4:** Imágenes obtenidas del SDSS de tres pares de la muestra analizada.



**Figura 2:** Perfiles de elipticidades obtenidos para tres de la muestra de cúmulos analizados, a partir de imágenes filtro  $r'$  obtenidas con los telescopios Gemini Norte y Gemini Sur. Se graficaron las componentes de las elipticidades promediadas, Modos E (puntos) y Modos B (cruces), junto con el ajuste del modelo SIS (línea sólida) y el de un perfil NFW (línea a trazos). Junto a los perfiles se muestran las correspondientes imágenes combinadas de los filtros  $r'$  e  $i'$ , y sólo el filtro  $r'$  para el cúmulo [VMF 98]102. La cruz magenta indica la galaxia considerada como centro del sistema, seleccionada de acuerdo a la señal de lente.

## APLICACIONES Y RESULTADOS PRELIMINARES

Se analizó una muestra de más de 300 pares de galaxias con una componente principal con magnitud absoluta  $M_r < -21.7$ , y con una diferencia de magnitudes entre las componentes menor a 2.5, a partir del catálogo de Lambas et al. (2012). Obtuvimos un perfil de *shear* compatible con  $\sigma_v \sim 270$  km/s (Figura 3). Para investigar la distribución de masa del sistema, realizamos los perfiles utilizando las galaxias de fondo en la dirección paralela al par y perpendicular al par, por separado. Obtuvimos una señal significativa en la dirección paralela y nula en la dirección perpendicular, lo que indicaría mayor concentración de masa en la dirección que conecta el par.

Motivados por este resultado, se decidió investigar la distribución de materia en el entorno de estos sistemas, de forma tal de identificar las estructuras filamentosas en las cuales podrían localizarse. Para ello se planea realizar el análisis en una región de mayor extensión (~2 Mpc).

Finalmente, se planean analizar las regiones de mayor subdensidad del universo, *voids*. Se seleccionaron dos muestras del catálogo de Ceccarelli et al. (2013), aquellos que poseen una pared sobredensa (tipo-S) y los que se encuentran en ambientes con densidades similares a la densidad global (tipo-R). La muestra cuenta con *voids* de un radio de ~10 Mpc localizados en  $z \sim 0.1$ . Hasta ahora, se llevó a cabo el análisis de 10 *voids* de cada clase, sin obtener señal significativa, por lo que se planea continuar con el análisis incrementando la cantidad de objetos de la muestra, y consecuentemente la señal.

## References

Ceccarelli, L., Paz, D., Lares, M., Padilla, N. & Lambas, D. G. 2013, MNRAS, 434, 1435C  
 Gill M.S.S., Young J.C., Draskovic J.P., Honscheid K., Lin H., Kuropatkin N., Martini P., Peeples M., Rozo E., Smith G.N., Weinberg D.H. 2009, MNRAS, [arXiv:astro-ph/0909.3856]  
 Gonzalez E. J., Domínguez M., García Lambas D., Moreschi O., Foëx G., Nilo Castellón J. L., Alonso M. V. (en preparación)  
 Lambas, D. G., Alonso, S., Mesa, V. & O'Mill, A. L. 2012, A&A, 539, A45