

# A Large Scale Structure Void Identifier for Galaxy Surveys Based on the $\beta$ -Skeleton Graph Method

FELIPE LEONARDO GÓMEZ-CORTÉS<sup>1</sup>  
MASTER STUDENT  
CODE 201324084

—  
JAIME E. FORERO-ROMERO<sup>1</sup>  
ADVISOR

<sup>1</sup>*Physics Department, Universidad de Los Andes*

## ABSTRACT

We are living the golden age of observational cosmology. There is a consolidated standard cosmological model ( $\Lambda$ CDM) that explains the observed Large Scale Structure (LSS) of galaxies by introducing dark matter and dark energy as the dominant Universe components along with baryonic matter. Furthermore, we are able to do precise observational measurements of the cosmological parameters in that model. Most of this success is due to computational cosmology that is now an established tool to probe theoretical models and compare them with observations. The main features of the LSS can be reproduced in large cosmological N-body simulations.

One of the most striking features in the LSS are voids; irregular volumes on the order of tens of Mpc scales, where the matter density is below the Universe average density. Statistics about voids such as its volume, shape and orientation also encode cosmological information. For this reason there is a great interest in algorithms that find and characterize voids both in simulations and observations.

The objective of this work is to develop a new void finder based on the  $\beta$ -Skeleton method. The  $\beta$ -Skeleton has been widely used on image processing, recognition and machine learning applications, it has been introduced recently in LSS analysis. It is a fast tool identifying LSS filamentary structure, and promises to be a robust tool to make cosmological tests. After developing the void finder we will characterize the  $\beta$ -skeleton voids in simulations and observations. We will also make prediction for the upcoming Dark Energy Spectroscopic Instrument about the void population that could be detected with that experiment.

Keywords: Large Scale Structure, cosmology, voids, computational astrophysics

## RESUMEN

Estamos viviendo en la era dorada de la cosmología observacional. Existe un modelo estándar cosmológico ( $\Lambda$ -CDM) consolidado que explica las observaciones de la Estructura de Gran Escala (LSS) de galaxias mediante la introducción de materia oscura y energía oscura como las componentes dominantes del Universo junto con la materia bariónica. Más aún, somos capaces de realizar mediciones precisas de los parámetros cosmológicos de este modelo a partir de observaciones. Gran parte de

estos alcances es debido a la cosmología computacional que es ahora una herramienta fuertemente establecida para probar modelos teóricos y compararlos con las observaciones. Las características principales de la LSS pueden ser reproducidas en grandes simulaciones cosmológicas de N-cuerpos.

Una de las características más prominentes en la LSS son los vacíos: volúmenes irregulares de escalas del orden de decenas de Mpc, donde la densidad de materia está por debajo de la densidad media en el Universo. El análisis estadístico de propiedades de los vacíos, como su volumen, forma y orientación también nos puede dar información cosmológica. Por esta razón existe un gran interés en algoritmos que encuentren y caractericen vacíos tanto en simulaciones como en observaciones.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un nuevo buscador de vacíos basado en el método  $\beta$ -Skeleton. El método  $\beta$ -Skeleton ha sido ampliamente utilizado en reconocimiento, procesamiento de imágenes y aplicaciones de *machine learning*, recientemente ha sido introducido en el análisis de LSS. Esta es una herramienta rápida para identificar estructuras filamentarias en la LSS, y promete ser una herramienta robusta para realizar análisis cosmológicos. Luego de desarrollar el buscador de vacíos caracterizaremos los vacíos del  $\beta$ -Skeleton en simulaciones y observaciones. También realizaremos predicciones para el experimento en desarrollo Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) acerca de la población que podrá detectar.

Palabras clave: estructura de gran escala, cosmología, vacíos, astrofísica computacional.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hola Mundo

## 2. OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar un nuevo buscador de vacíos de la red cósmica (LSS) en catálogos de galaxias basado en el método  $\beta$ -Skeleton.

## 3. SPECIFIC OBJECTIVES

Identificar y catalogar vacíos de la red cósmica en catálogos de halos de materia oscura de simulaciones y en catálogos de galaxias desde observaciones.

Calcular el parámetro cosmológico asociado a la energía oscura a partir del catálogo de vacíos de la red cósmica

Estimar los posibles resultados observacionales que pueda medir el experimento DESI.

## 4. METODOLOGÍA

La primera parte de este trabajo consiste en desarrollar el código del buscador de vacíos en la red cósmica.

Actualmente se dispone tanto de catálogos de halos de materia oscura de simulaciones como de catálogos de galaxias de observaciones.

Se dispone de la librería “NGL”(Correa & Lindstrom 2012) (Neighborhood Graph Library) para calcular la estructura  $\beta$ -Skeleton. Esta librería es de uso libre, está escrita en C++. Inicialmente fue desarrollada para estudiar topología de conjuntos de datos con un número de muestra pequeño. Puede encontrar vecinos en los conjuntos de puntos usando distintos métodos como los Grafos de Gabriel y el  $\beta$ -Skeleton, estos métodos resultan computacionalmente más económicos y rápidos que otros métodos más robustos como la triangulación de Delaunay.

El método  $\beta$ -Skeleton ha sido introducido en astrofísica recientemente (Fang 2018) para encontrar el grafo de la LSS en catálogos de halos de materia oscura de distintas simulaciones. Ha probado ser una herramienta útil para detectar estructuras subyacentes diferentes en simulaciones cosmológicas generadas por métodos distintos.

Se parte de un catálogo de puntos distribuidos espacialmente siguiendo la red cósmica.

El espacio se divide en celdas

Se aplica Beta-Skeleton para conectar los puntos y trazar los filamentos de la red cósmica

Se transforman estos puntos y líneas en un campo de densidad de materia

se suaviza el campo de materia

Una vez suavizado se utiliza el método *watershed* para identificar las regiones de baja densidad (Sutter et al. 2014). Otro método a probar es la construcción de esferas dentro de las regiones vacías (Voids in the Large-Scale Structure Hagai El-Ad and Tsvi Piran 1997)

Se calculan propiedades de las regiones como tamaño, forma, orientación. (Tensor de momento de inercia)

## REFERENCES

- |   |  |
|---|--|
| van de Weygaert, Rien 2014, Proceedings of the IAU, 308, 493  | Sutter, P. M. & Lavaux G. & Hamaus, N & et al. |
| Fang, F.; Forero-Romero, J.; Rossi, G.; Li, X. & Feng, L 2018, arXiv, 1809.00438 astro-ph   | 2015, A&C, 9, 1-9                              |
| Alcock, C. & Paczyński, B. 1979, Nature, 281, 358   |  |
| Leclercq, F.; Jasche, J. et al. 2015, JCAP, 03, 047   |  |
| Correa, Carlos & Lindstrom, Peter. 2011   |  |
| “Towards Robust Topology of Sparsely Sampled Data” IEEE Transactions on Visualization and computer Graphics 17,12 (Dec 2011), 1852-1861 |  |