

## 22.46 Procesamiento Adaptativo de Señales Aleatorias

# Trabajo Práctico 1

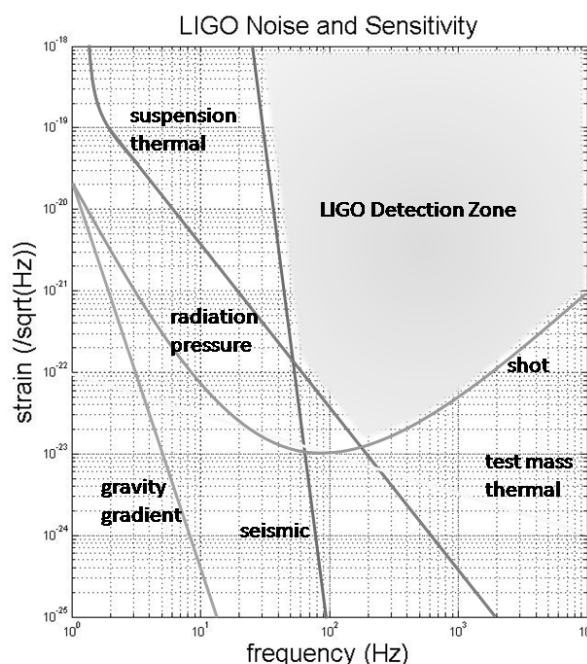
### Estimación espectral no-paramétrica

En este trabajo deberán analizar la señal gravitatoria **GW150914**.

La señal fue detectada por el proyecto **LIGO** (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) el 14 de septiembre de 2015, y se debe a la supuesta colisión de dos agujeros negros, de 36 y 29 veces la masa del Sol, a una distancia de 1.3 mil millones de años luz.

La detección se realizó con dos **interferómetros**, ubicados en las ciudades de Hanford, Washington y Livingston, Texas (Estados Unidos), a una distancia de aproximada 3002 km entre sí. Considerando que las ondas gravitatorias se propagan a la velocidad de la luz, el retardo máximo entre ambos sensores es de  $c/3002 \text{ km} \approx 10 \text{ ms}$ .

Los interferómetros miden **deformación** (strain). El ruido de fondo se compone por los siguientes factores:



LIGO advierte que el ruido de fondo está contaminado con shotnoise.

El set de datos está disponible en <https://www.gw-openscience.org/eventapi/html/GWTC-1-confident/GW150914/v3/>. Recomendamos descargar el set de datos "Strain Data at 4096 Hz". H1 es el set de Hanford, y L1 es el set de Livingston.

El evento gravitatorio es una señal de tipo chirp que ocurre cerca del tiempo GPS 1126259462 s y dura aproximadamente 200 ms.

La señal puede verse y escucharse aquí: <https://www.youtube.com/watch?v=QyDcTbR-kEA>.

Tareas:

1. Estimen el espectro de potencia de ruido de H1 y L1. Para ello deberán utilizar las partes de la señal que no involucren el evento gravitatorio.
  - a. Estimen el espectro de potencia de ruido de H1 y L1 con el periodograma. Seleccione y justifique la cantidad de datos  $N$  necesaria.
  - b. Estímenlo con periodogram smoothing. Seleccione y justifique los valores adecuados de  $N$ ,  $\Delta\omega$  y  $L$ . Iteren hasta obtener una buena estimación.
  - c. Estímenlo con periodogram averaging. Seleccione y justifique los valores adecuados de  $N$ ,  $K$  y  $L$ . Iteren hasta obtener una buena estimación.
  - d. Determinen y justifique cuál de los tres métodos anteriores produce las mejores estimaciones.
  - e. Para el método que produce el mejor resultado, comparen las estimaciones de H1 y de L1 entre sí, contrastando picos espectrales, artefactos, bias, varianza y cualquier otra cosa que les llame la atención. ¿Cómo se comparan sus estimaciones con los factores de ruido descritos por LIGO?
  - f. Validen la estacionariedad de la señal de H1 y L1. Investiguen técnicas de validación y aplíquenlas.
2. Con la mejor estimación del punto anterior, realicen el whitening de la señal gravitatoria para hacerla audible. Pista: <https://www.gw-openscience.org/tutorials/>.
3. Estimen la correlación cruzada de los resultados del punto anterior para determinar la diferencia de tiempo de arribo del evento gravitatorio en H1 y en L1. Estimen el ángulo del cono de arribo de la señal.