



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniera en
Telecomunicaciones

Tema:

Identificación de los componentes espectrales de la señal de radio emitida
por la línea de hidrógeno de la Vía Láctea.

AUTORA:

Cruz Pantoja Darling Micaela

DIRECTOR:

MSc. Lara Mina Marco Fernando

PREGRADO S-II OCT 25 - MAR 26

Sangolquí, 24 Febrero de 2026



Contenido



1

MOTIVACIÓN E INTRODUCCIÓN

2

OBJETIVOS

3

METODOLOGÍA

4

RESULTADOS

5

CONCLUSIONES



Motivación



1

Observación de
regiones ocultas



2

Mapeo de la
estructura galáctica



3

Sistemas COTS



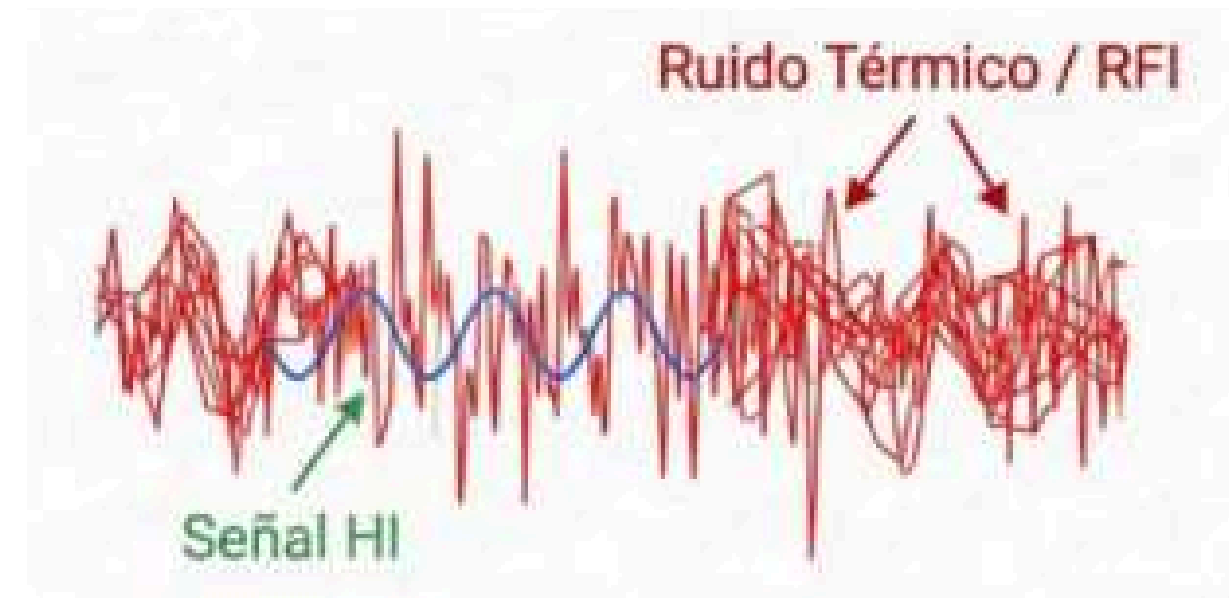
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Introducción



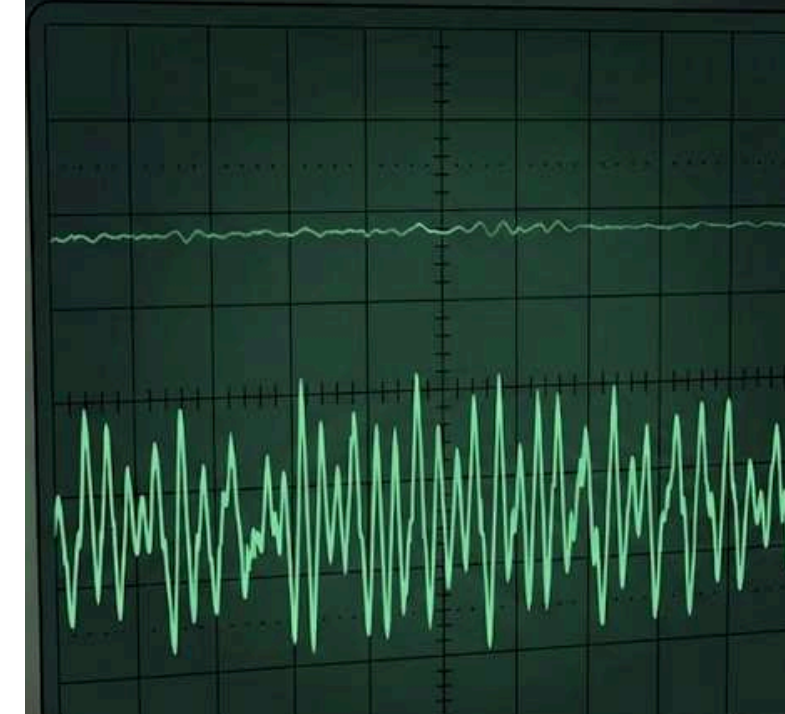
Detectar la señal
astronómica real de las
interferencias

1



Señal débil

2

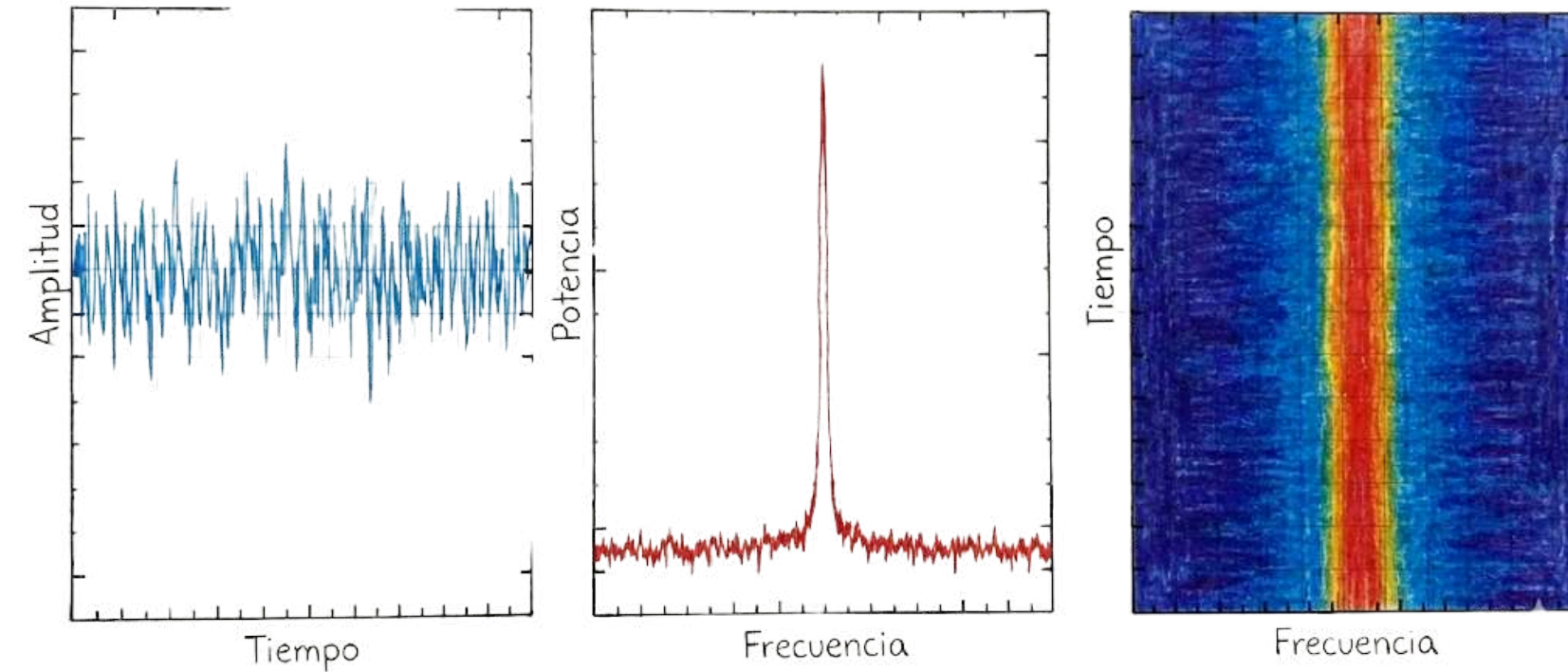


Introducción



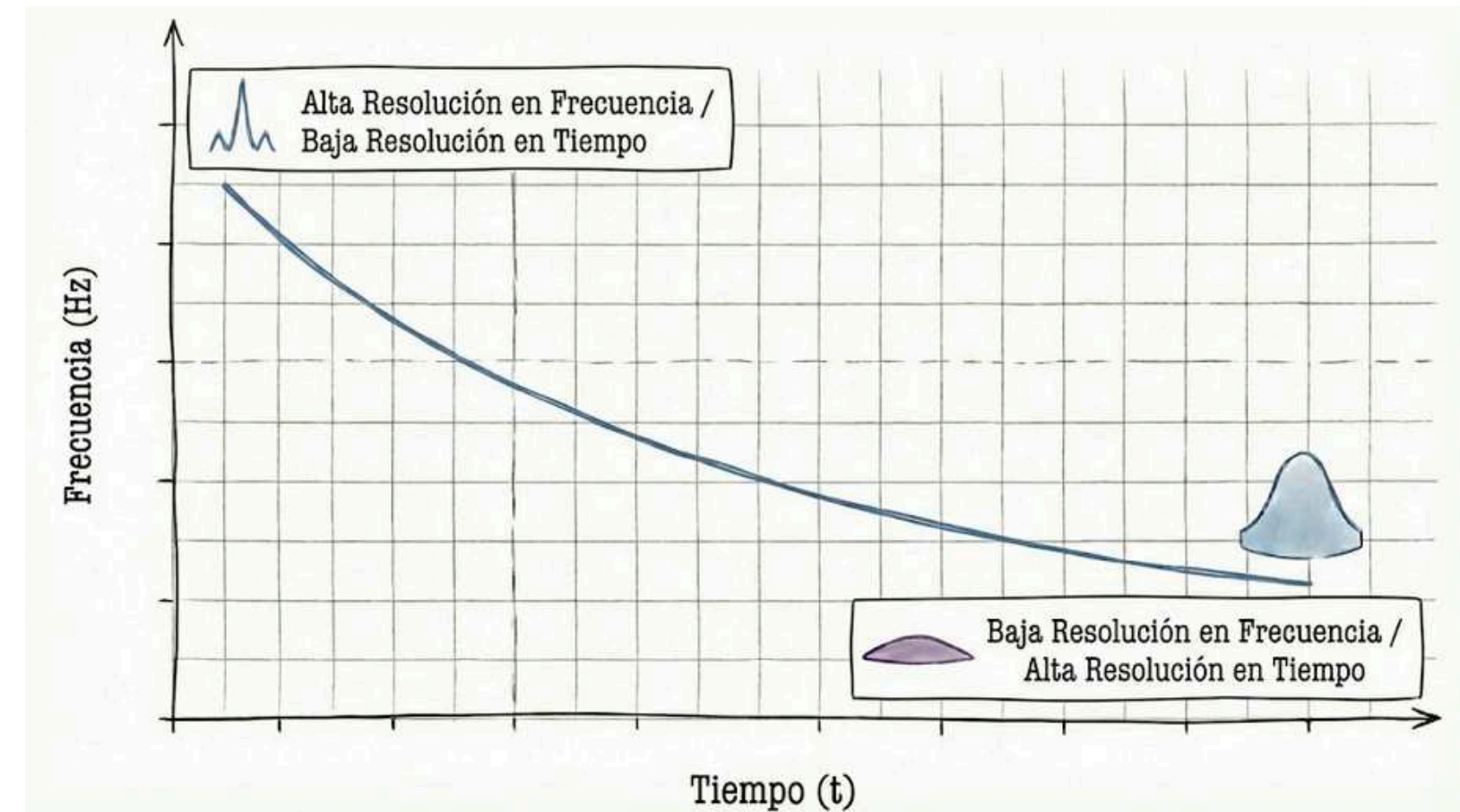
Dominios de análisis

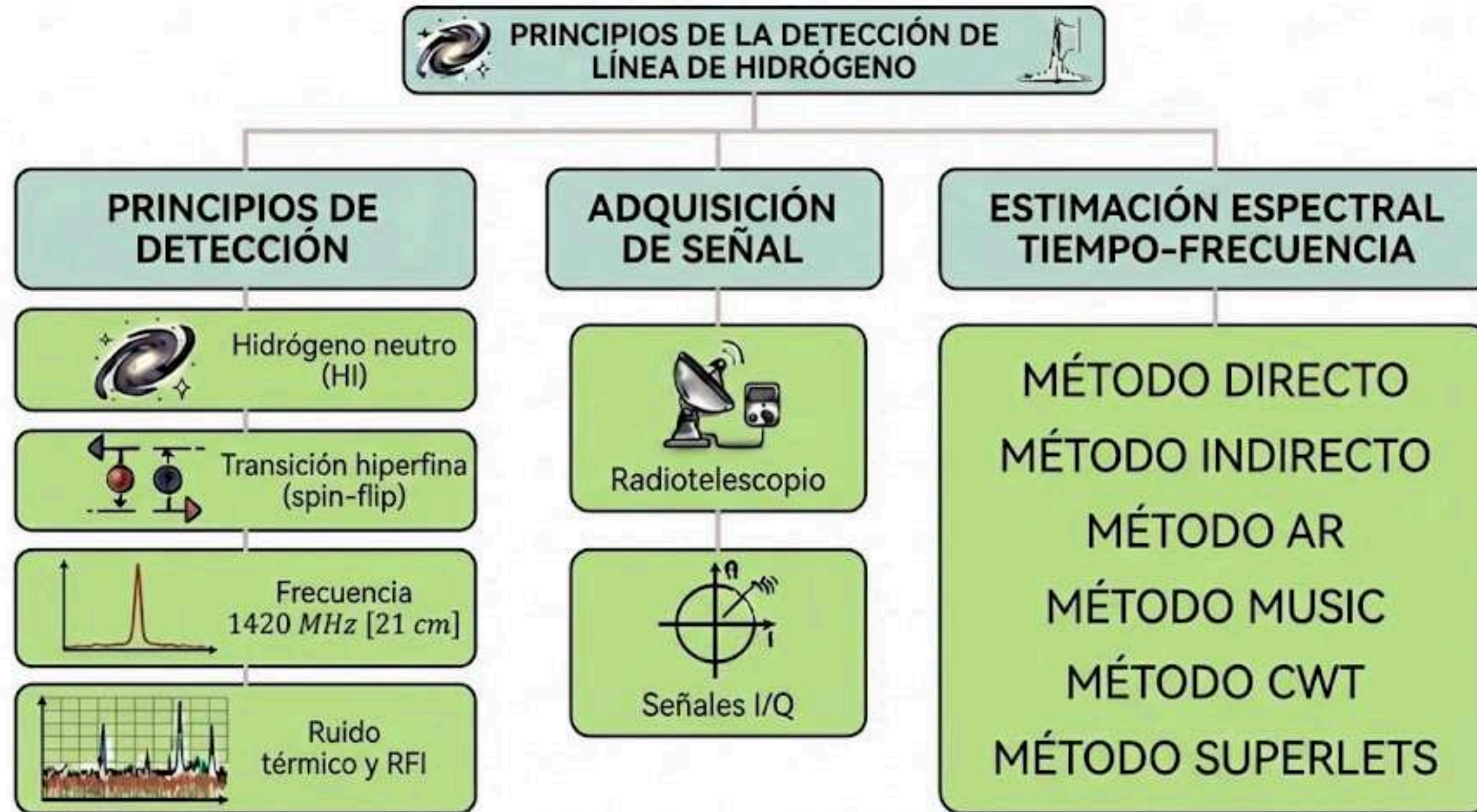
3



Compromiso
Estabilidad-Resolución

4





Estimación espectral para la detección de líneas de hidrógeno en la Vía Láctea

Este estudio evalúa técnicas de estimación espectral (clásicas y paramétricas) para detectar la línea de hidrógeno a 1420 MHz con datos reales de un radiotelescopio. El estudio demuestra que el método de correlograma logra el mejor equilibrio entre resolución y supresión de ruido con 7.62 dB. Además concluye que es necesario ampliar esta investigación hacia técnicas de tiempo-frecuencia.

Diseño e implementación de un radiotelescopio basado en radio definido por software para la observación de líneas de hidrógeno a 1,42 GHz

El estudio implementó un radiotelescopio funcional, basado en SDR que detectó con éxito la línea espectral de hidrógeno a 1420 MHz proveniente de la Vía Láctea. En cuanto a las técnicas de estimación espectral tiempo-frecuencia, el estudio no las desarrolla.

Evaluación de frecuencia para radioastronomía en la línea de hidrógeno: investigación estadística en Pusat Astronomi Borneo, Malasia.

Este estudio analiza cómo la creciente interferencia de radiofrecuencia (RFI) deteriora la detección de las débiles señales cósmicas de la línea de hidrógeno. Los autores mencionan que es necesario una colaboración entre la comunidad astronómica y las entidades regulatorias para establecer y proteger "Zonas de Silencio de Radio" que aseguren la viabilidad del espectro.

OBJETIVOS



Objetivos



Objetivo General

Identificar las componentes espectrales de la señal de radio emitida por la línea de hidrógeno de la Vía Láctea.

Objetivos Específicos

Analizar y definir características de señales de radiotelescopios.

Adquirir señales de radiotelescopio en el Observatorio Astronómico de Quito.

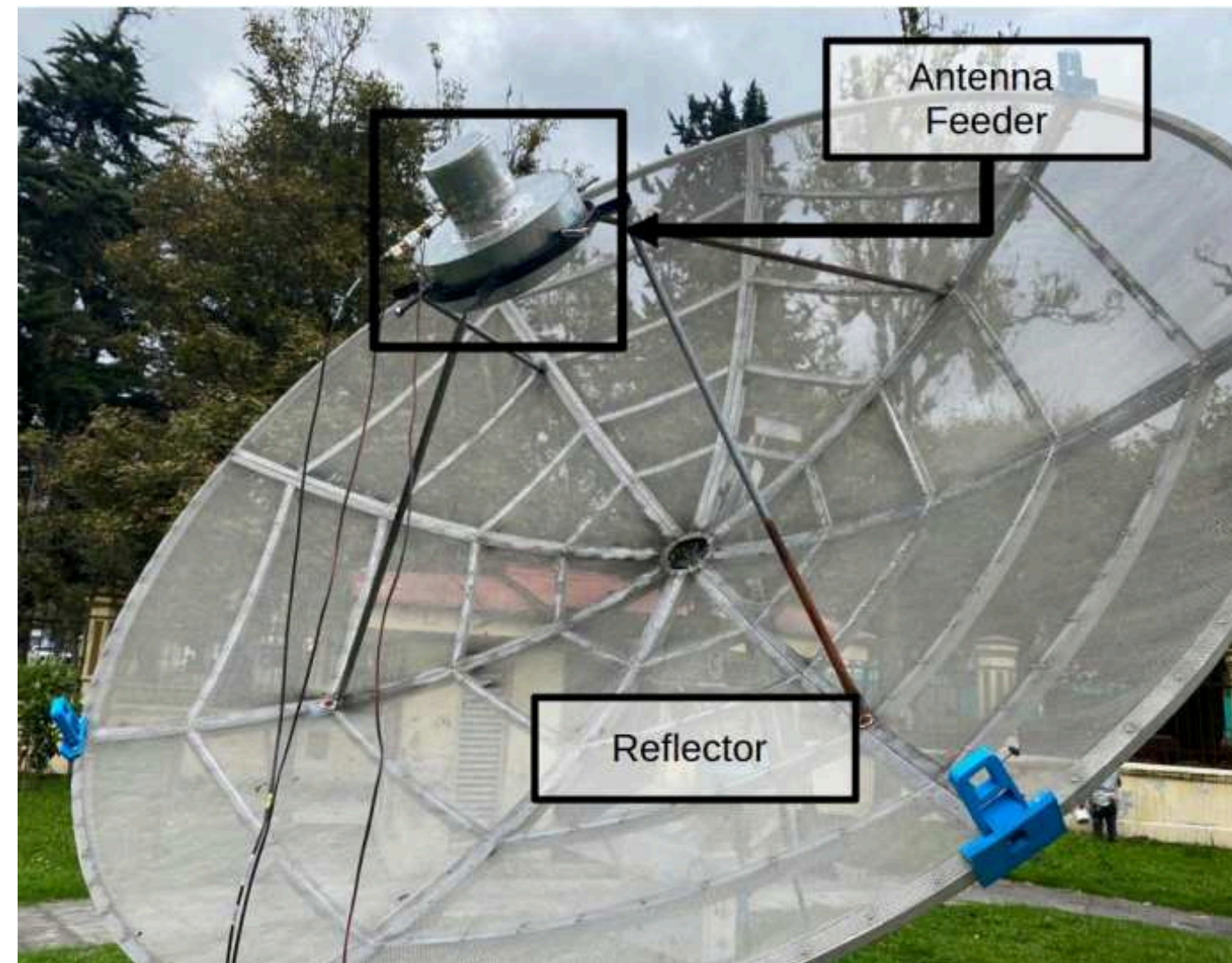
Analizar espectralmente la señal de radiotelescopio en la banda de 1420 MHz.

Analizar en el dominio tiempo-frecuencia la señal de radiotelescopio en la banda de 1420 MHz.

Evaluar las diferentes técnicas de estimación espectral.



METODOLOGÍA



Metodología de diseño

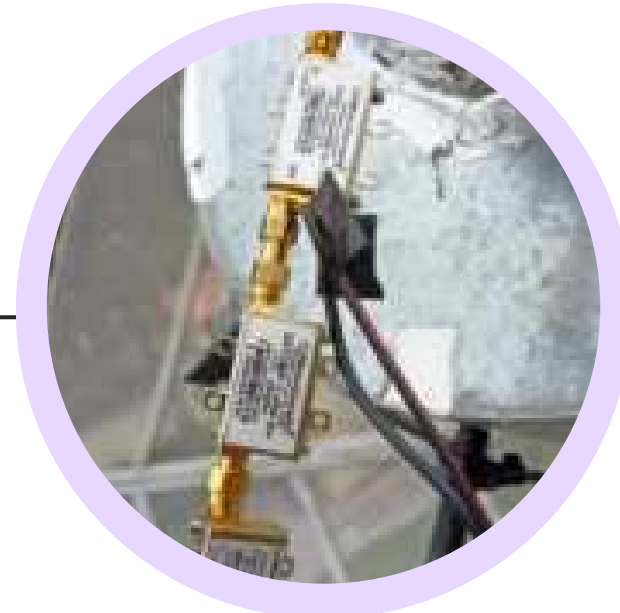


ADQUISICIÓN DE SEÑALES DE RADIOTELESCOPIO EN EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE QUITO.



ANTENA

- Antena parabólica con diámetro 2.5 m.



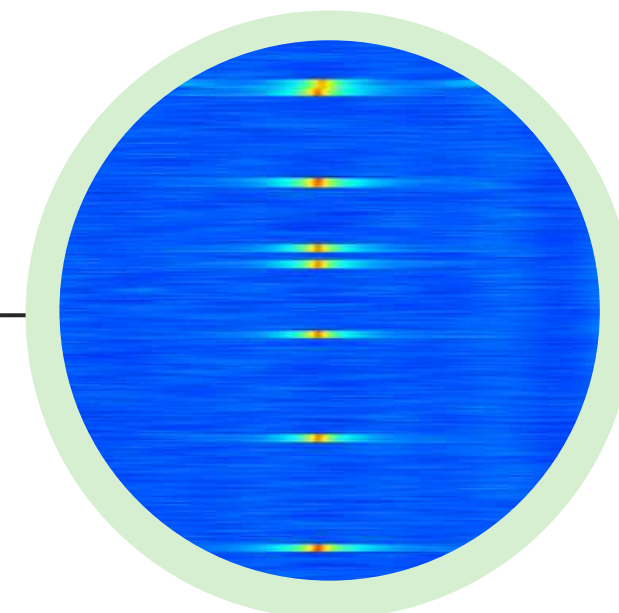
ACONDICIONAMIENTO RF

- Filtrado de frecuencias no deseadas.
- Filtro pasa banda a 1400 MHz a 1450 MHz.



RECEPTOR

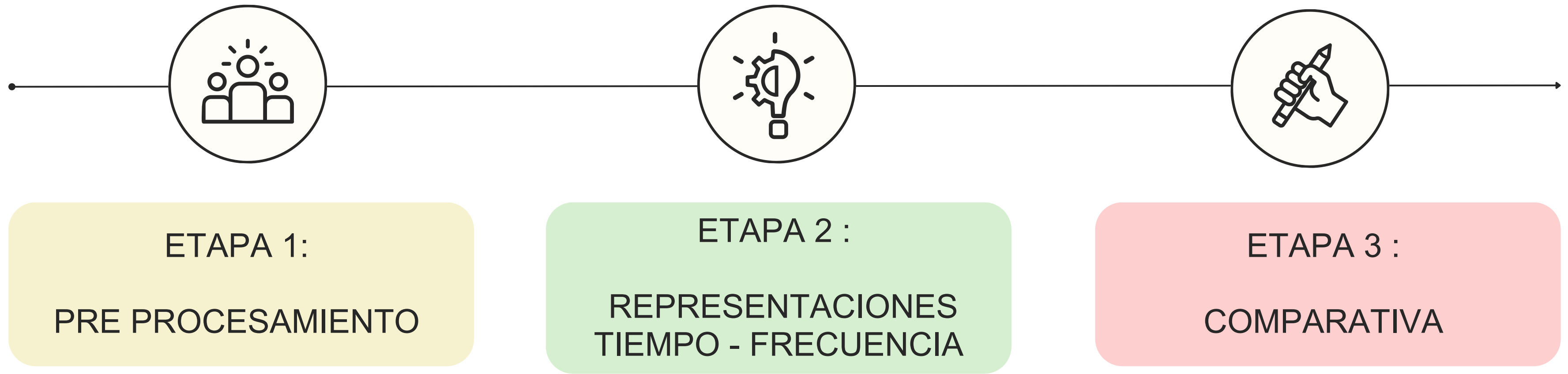
- Transformación de las ondas de radiofrecuencia en muestras digitales
- Receptor Signal Hound BB60C,

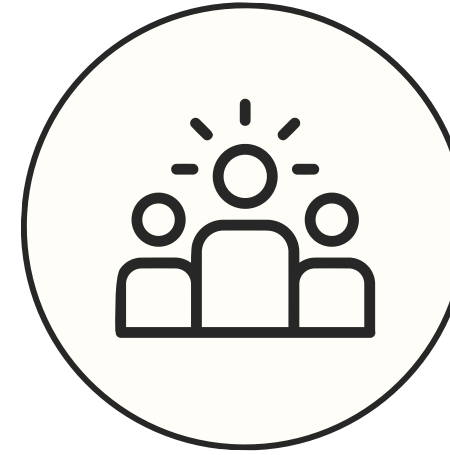


TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN ESPECTRAL

- Método directo
- Método indirecto
- Método paramétricos
- Métodos no paramétricos







ETAPA 1:
PRE PROCESAMIENTO

Etapa 1 - Metodología de diseño



**ETAPA 1: PRE
PROCESAMIENTO**

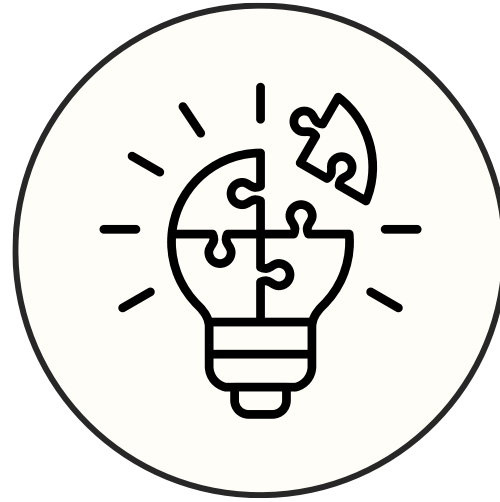
**FUENTE DE
DATOS**

**LECTURA
POR
BLOQUES**

**SEGMENTACIÓN
Y
ENVENTANADO**

**CENTRAR
BANDA DE
INTERÉS**





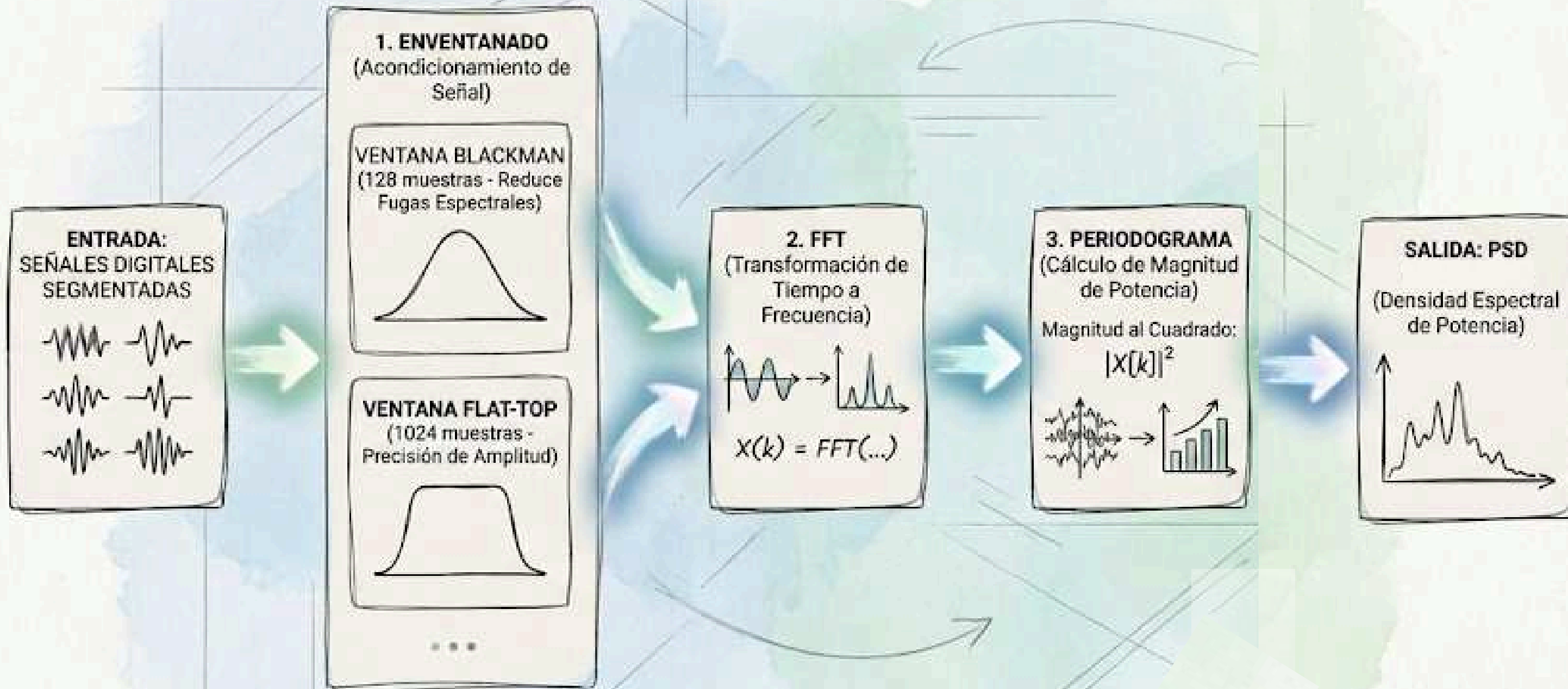
ETAPA 2 :

REPRESENTACIONES
TIEMPO - FRECUENCIA

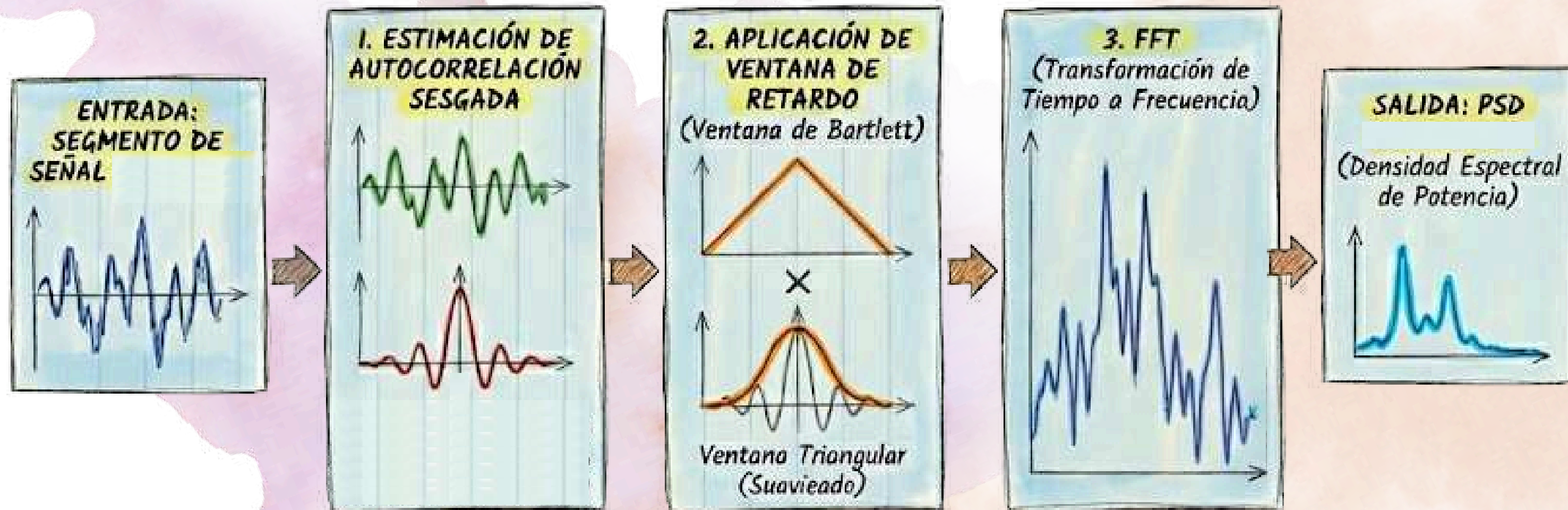


Método Directo (STFT)
Método Indirecto
Método AR
Método Pseudo MUSIC
Método CWT
Método ASLT

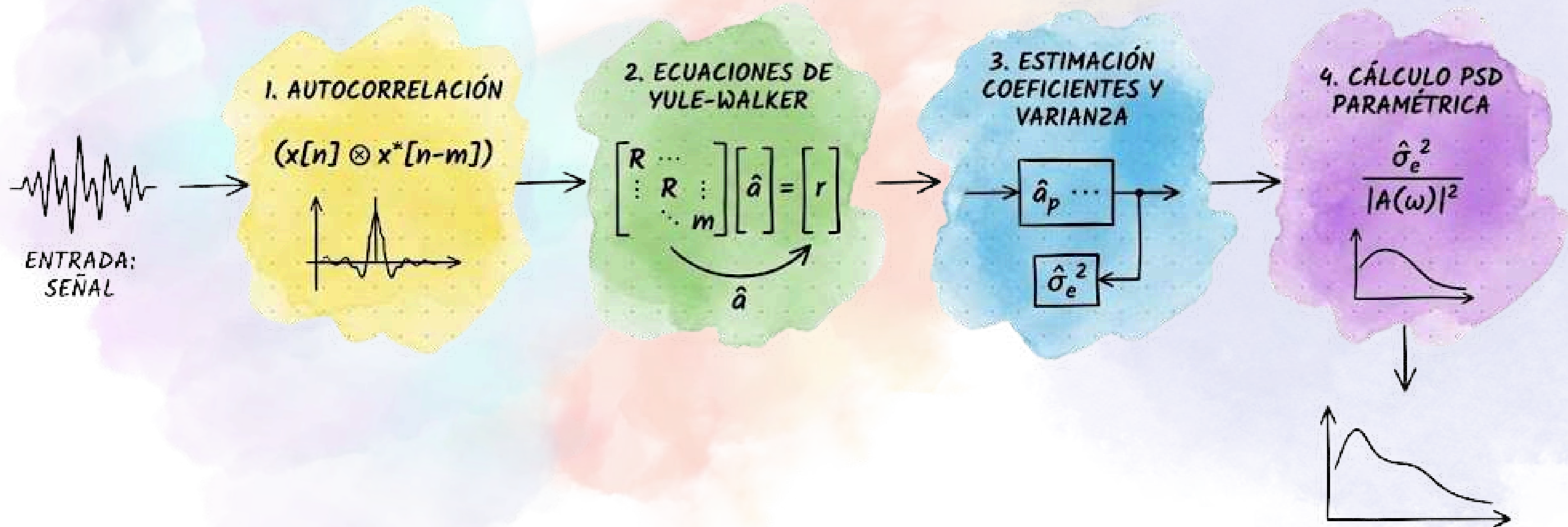
Etapa 2 - Método Directo: Estimación mediante Transformada de Fourier de Tiempo Corto



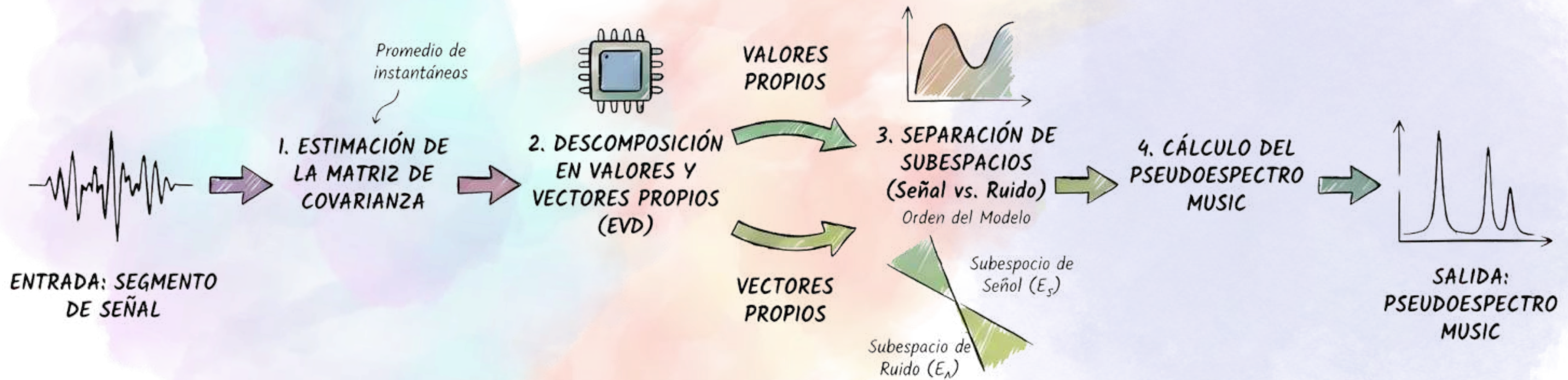
Etapa 2 - Método Indirecto: Correlograma basado en el Teorema de Wiener-Khinchin



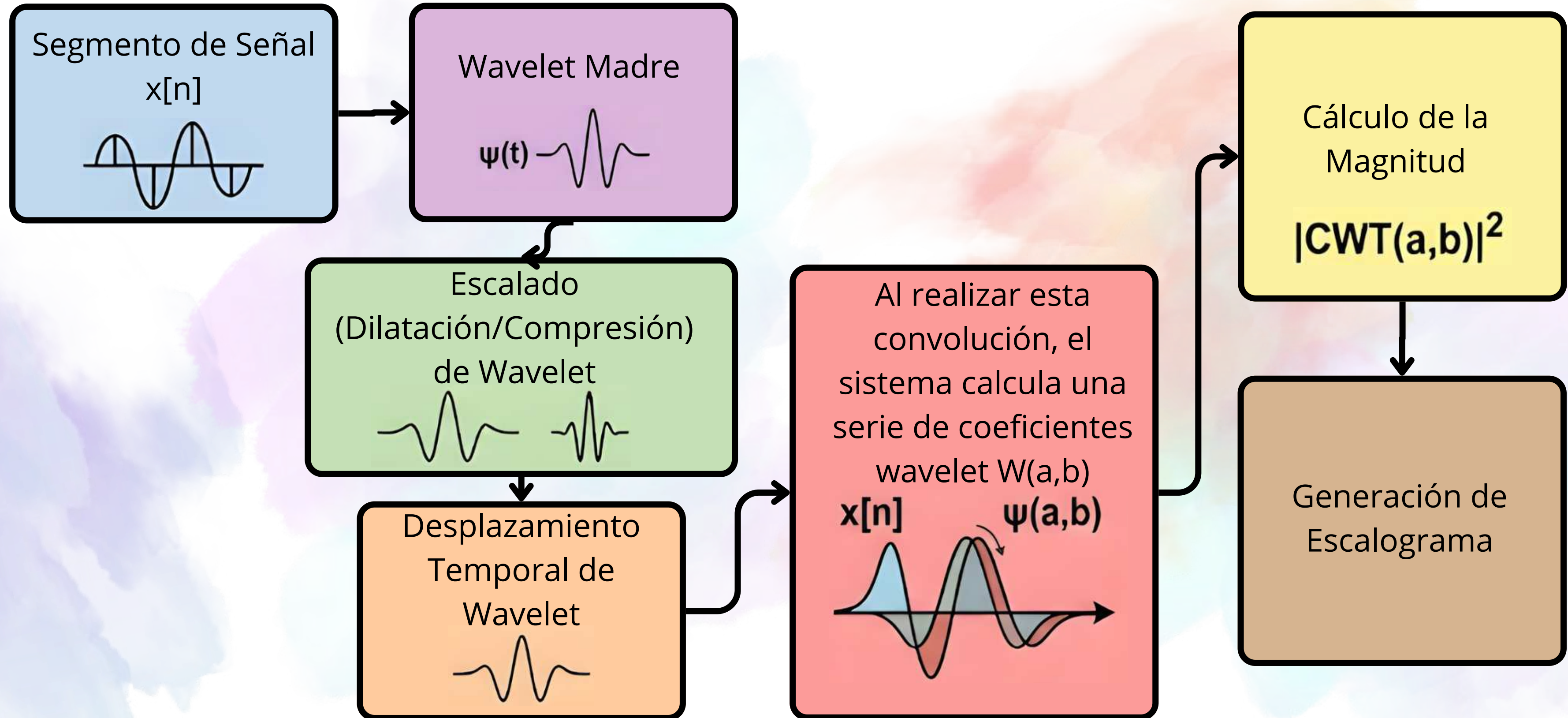
Etapa 2 - Modelo Paramétrico Autorregresivo (AR) mediante Método de Yule-Walker



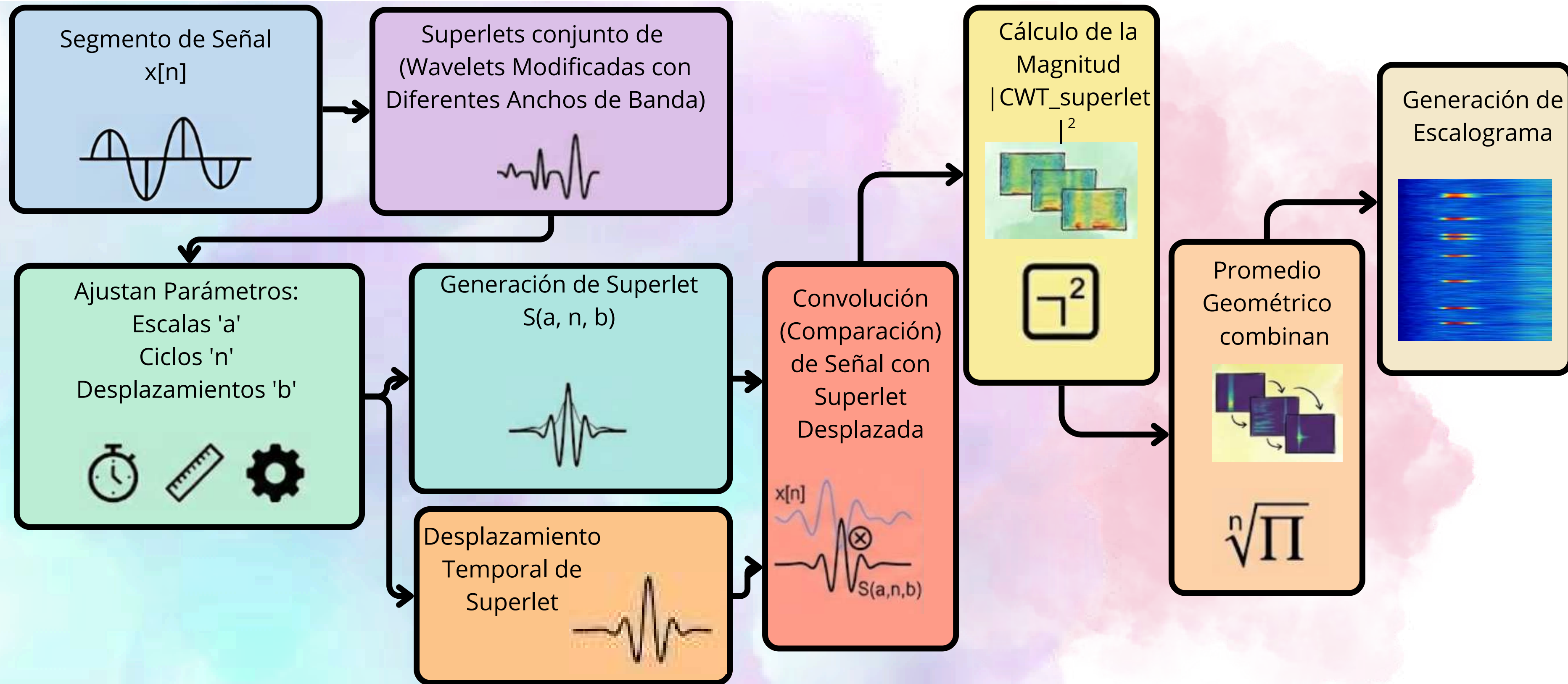
Etapa 2 - Algoritmo de Clasificación de Múltiples Señales (PSEUDO MUSIC)

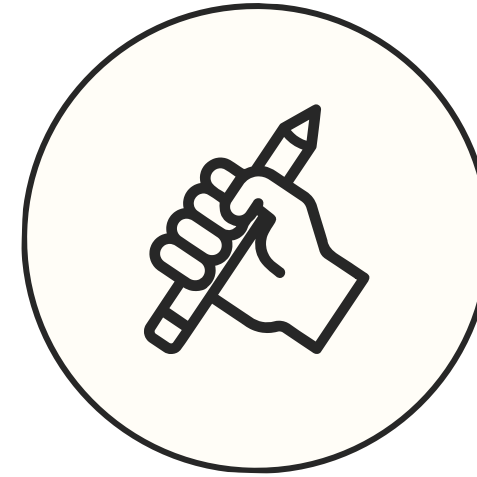


Etapa 2 - Transformada Wavelet Continua (CWT)



Etapa 2 - Transformada Superlet Adaptativa (ASLT)





ETAPA 3 :
COMPARATIVA

Etapa 3 – Comparativa



- *Análisis Cualitativo:*
- *Análisis Cuantitativo:*

Métrica de Diferencia de potencia

$$Diff_i = P_{max\ i} - P_{noise\ i}$$

Potencia media de la señal

$$\overline{Diff} = \frac{1}{N_{sa}} \sum_{i=1}^{N_{sa}} Diff_i$$



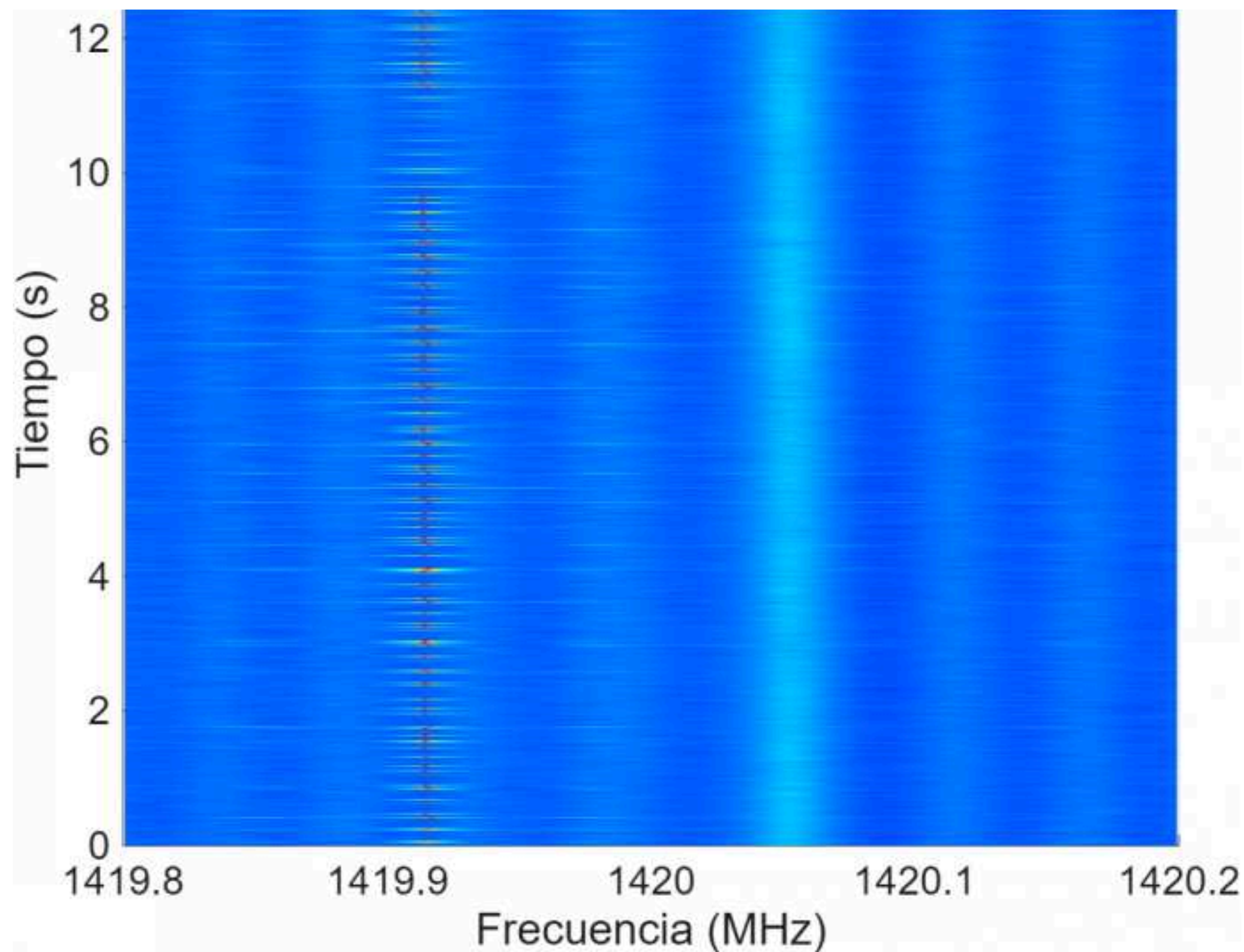
RESULTADOS



Representación



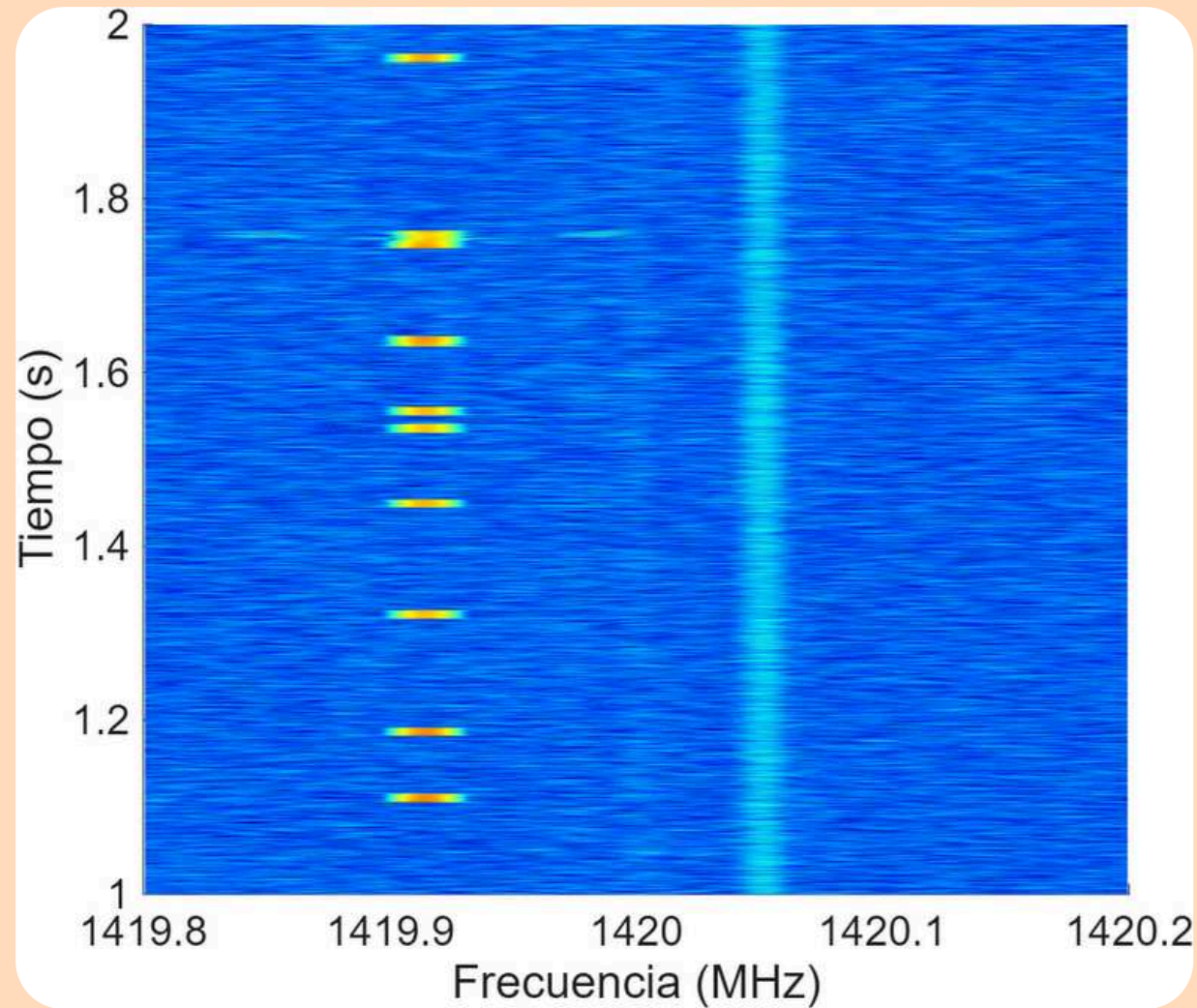
Representación Tiempo-Frecuencia de la densidad espectral de potencia del Modelo Paramétrico Autorregresivo.



Resultado Método Directo



N = 128



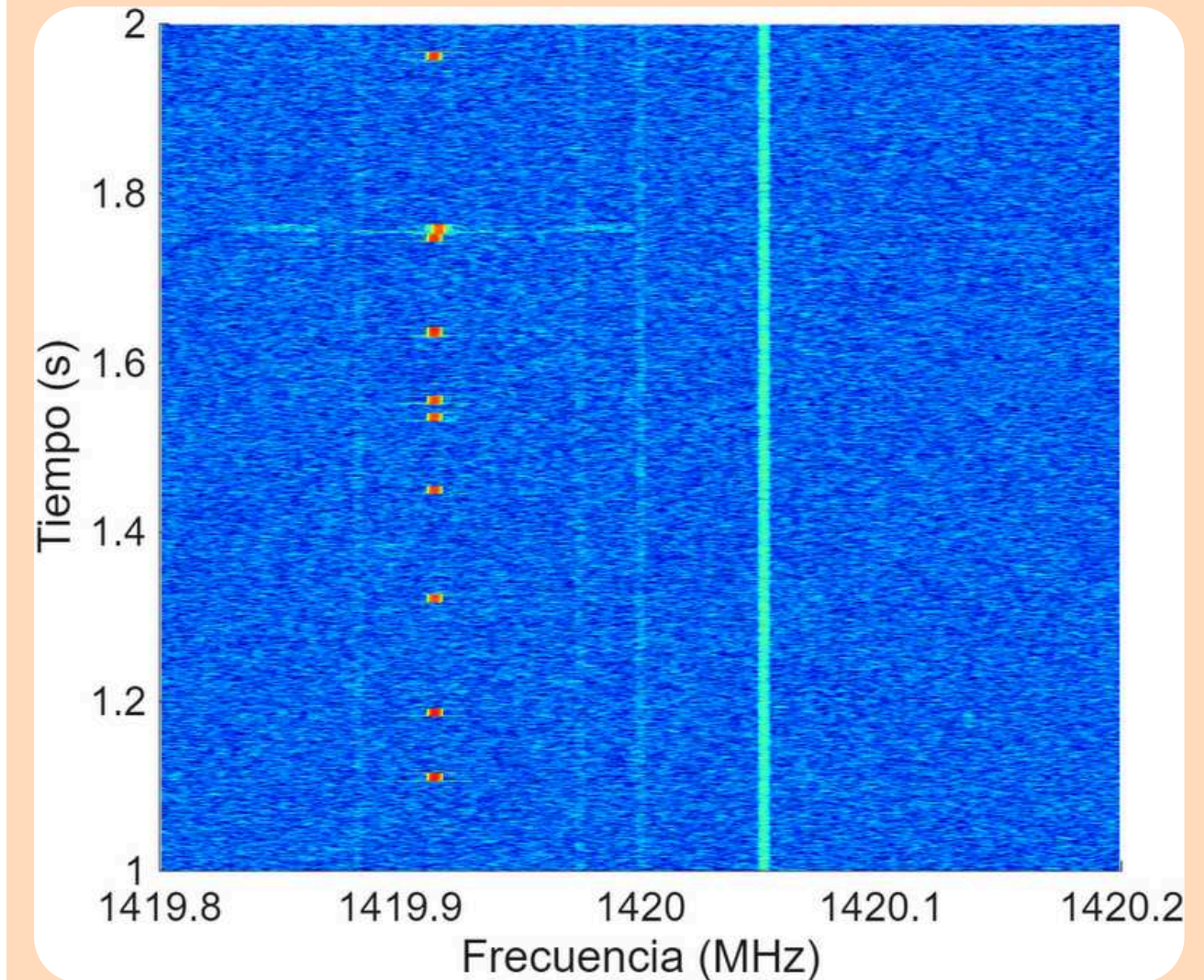
Potencia media $\mu = 16.65$ dB

$\sigma = 2.40$ dB

Característica

- Baja resolución
- Mejor contraste contra el ruido de fondo.
- Interferencia visible a la derecha (no astronómica).

N = 1024



$\mu = 23.08$ dB

$\sigma = 3.84$ dB

Resultado Método Indirecto

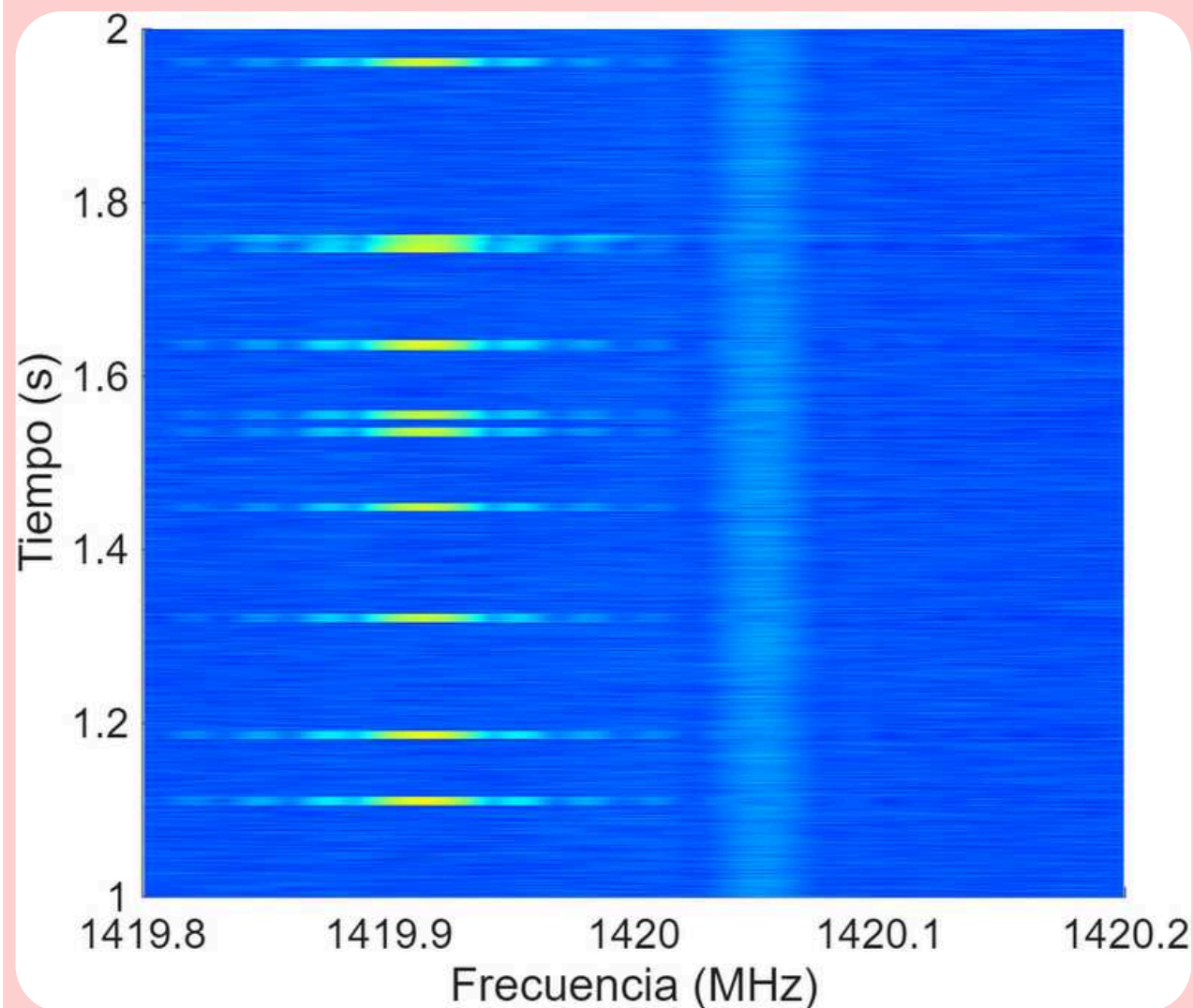


N = 128

N = 1024

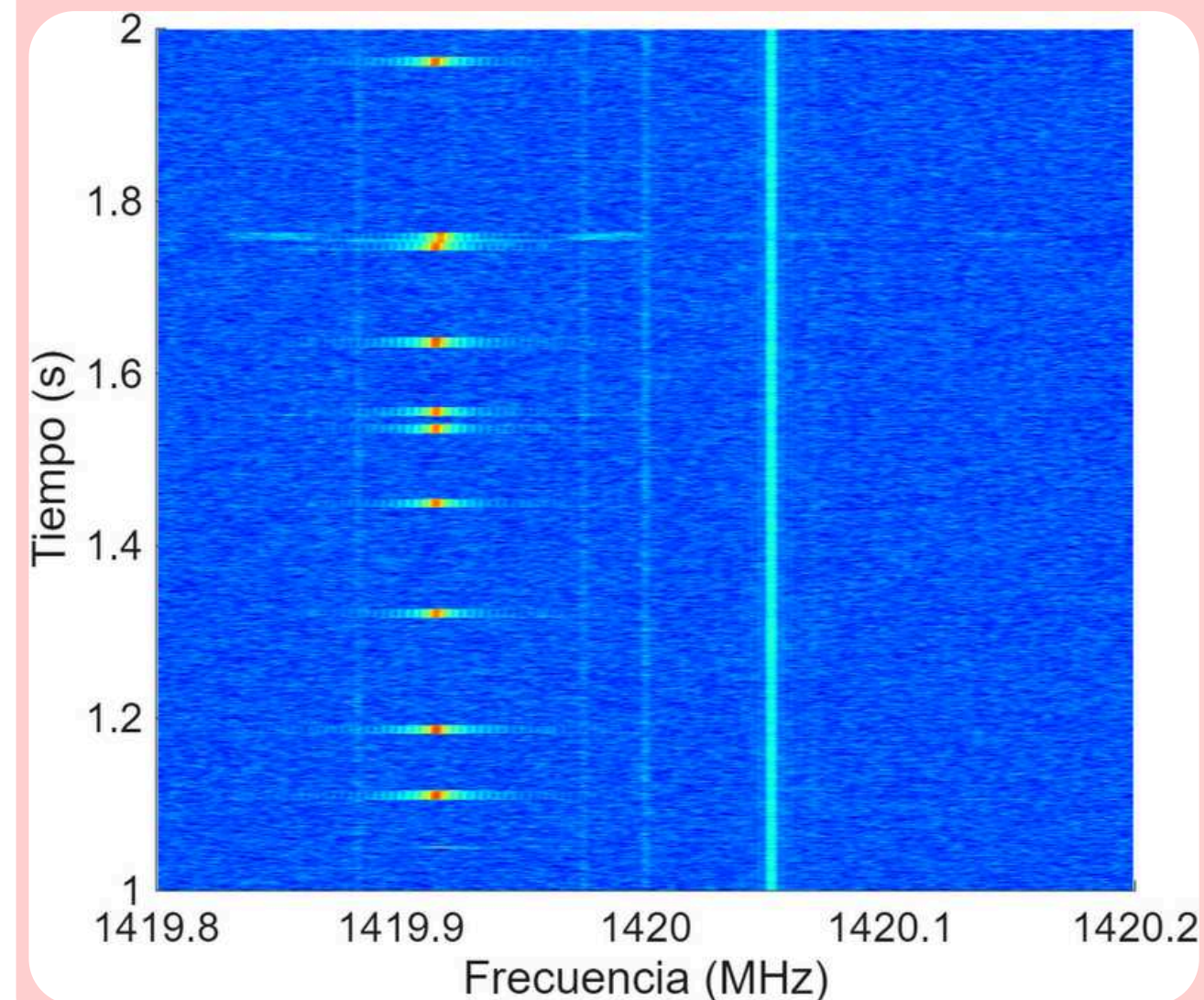
Característica

- La señal se degrada.
- Suavizado robusto reduce la varianza.
- Filtrado eficaz del ruido térmico.
- Detección confiable.



$\mu = 20.62$ dB

$\sigma = 4.35$ dB



$\mu = 17.94$ dB

$\sigma = 5.65$ dB

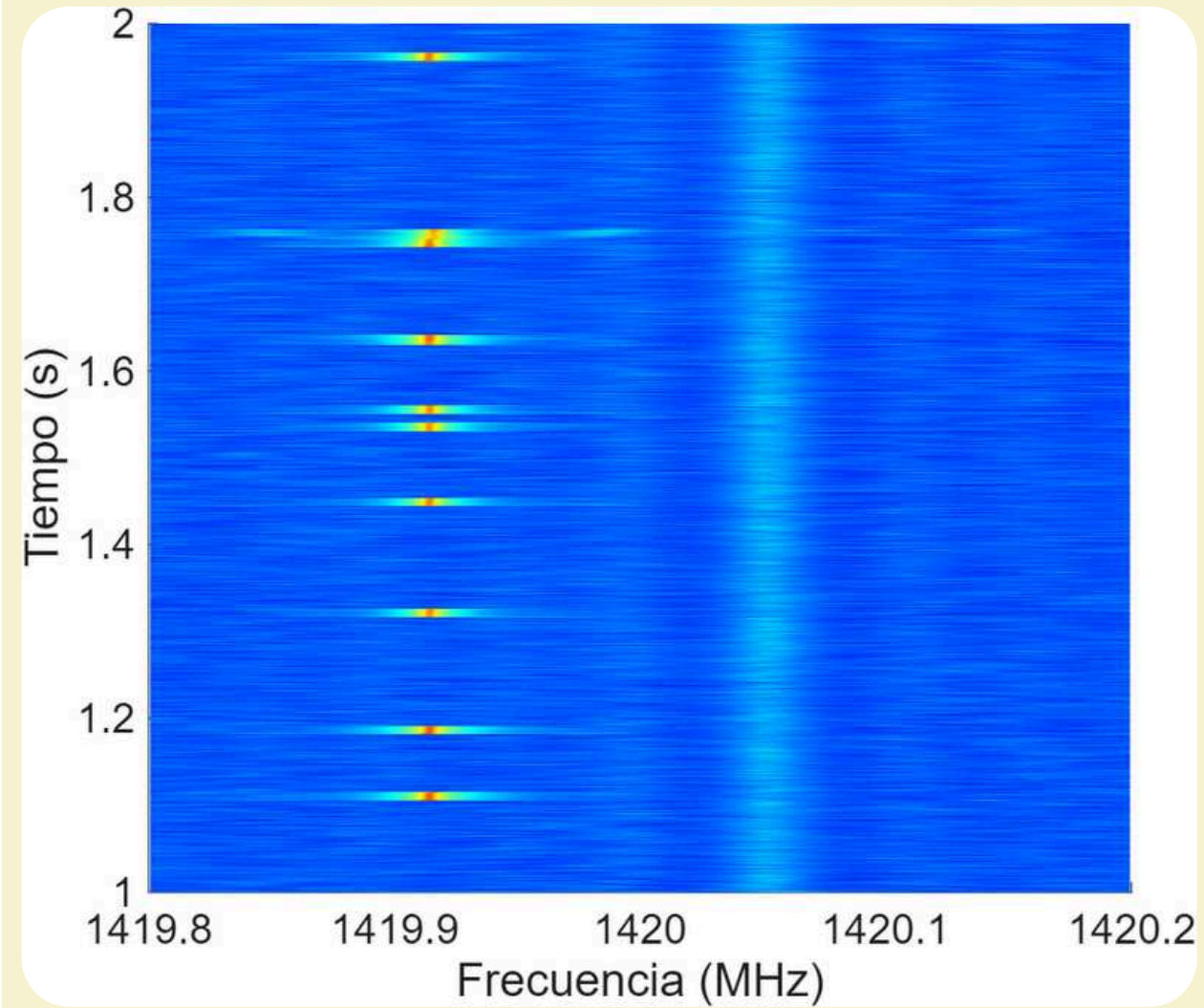


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultado Modelo AR



N = 128



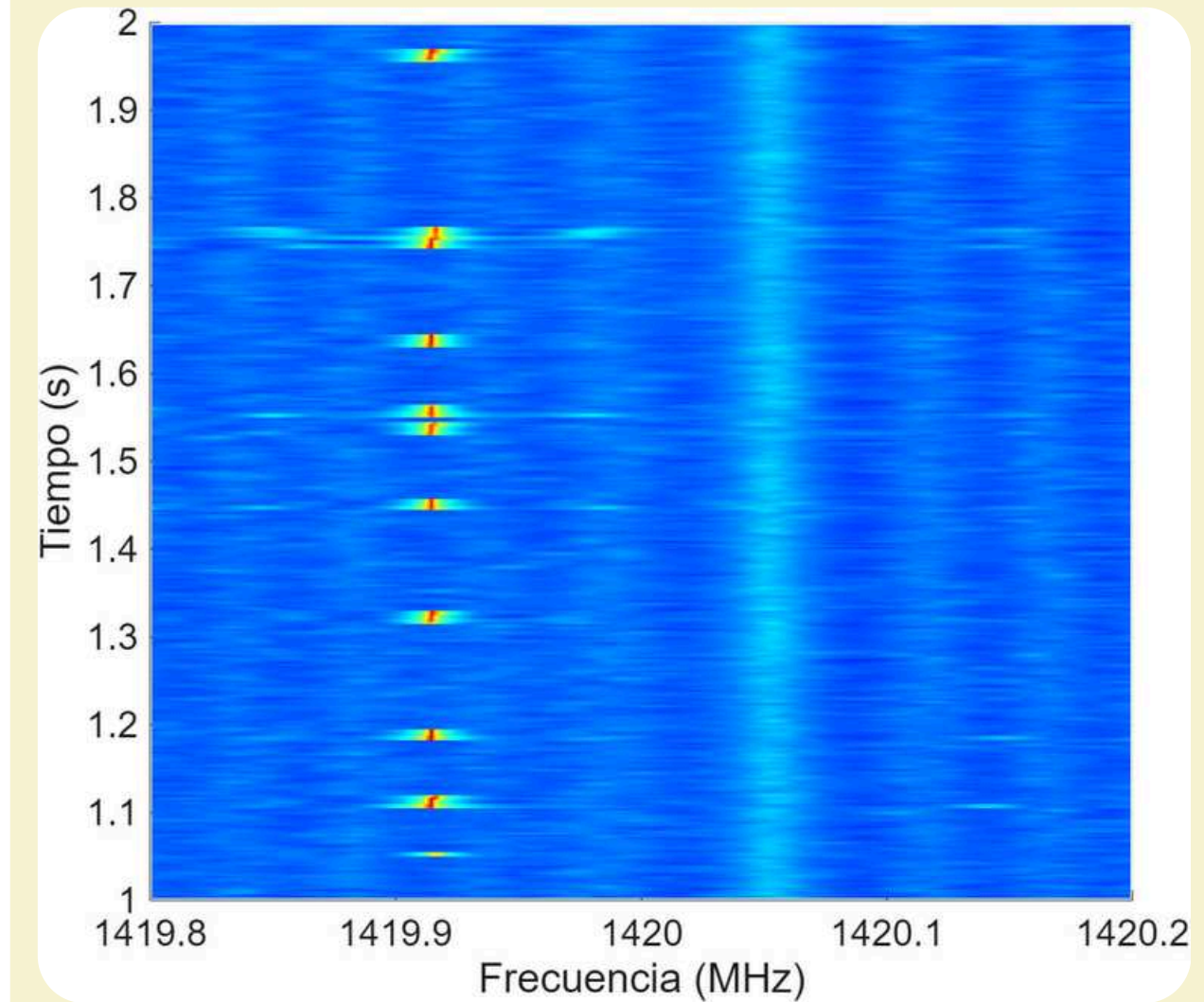
$\mu = 23.39$ dB

$\sigma = 2.49$ dB

Característica

- Excelente estimador de energía.
- La mejor definición: línea fina y estilizada.

N = 1024



$\mu = 29.65$ dB

$\sigma = 3.53$ dB

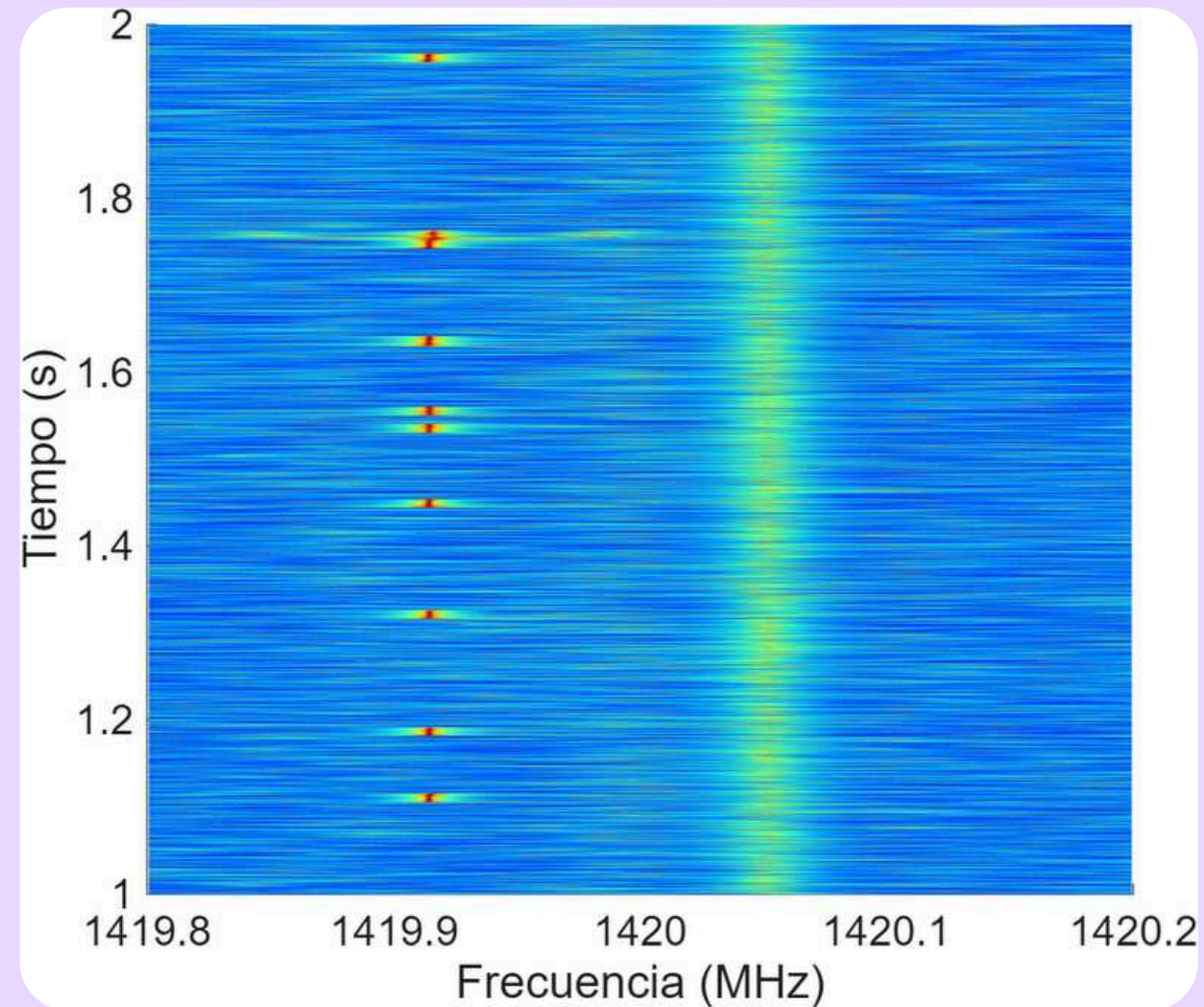


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultado Pseudo MUSIC



N = 128



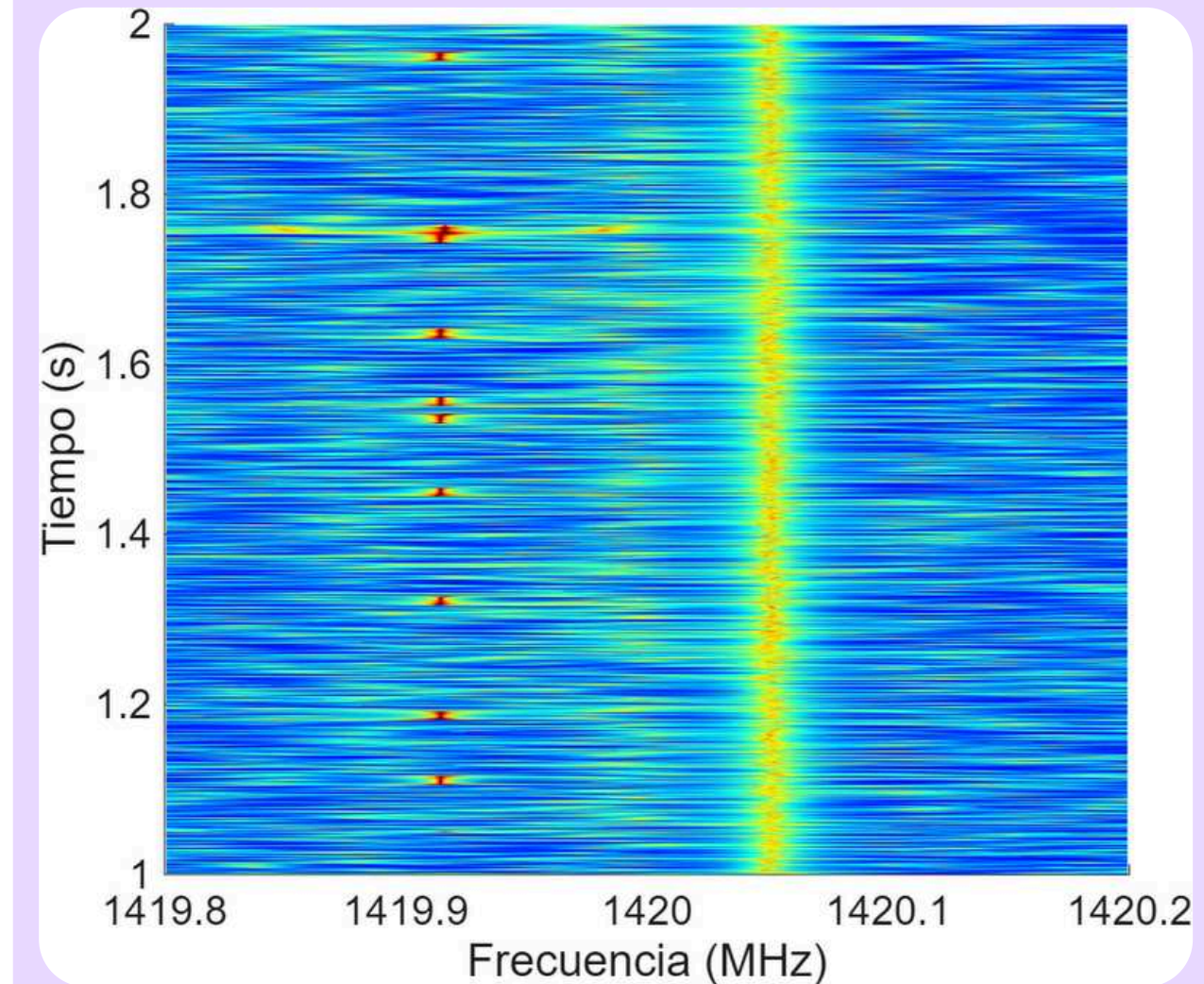
$\mu = 31.32$ dB

$\sigma = 5.48$ dB

Característica

- Interpreta fluctuaciones de ruido como señal.
- Inestable para detección confiable.
- Visualmente ruidoso.
- Posibilidad de falsos positivos.

N = 1024



$\mu = 34.81$ dB

$\sigma = 6.45$ dB



Resultado CWT



Característica

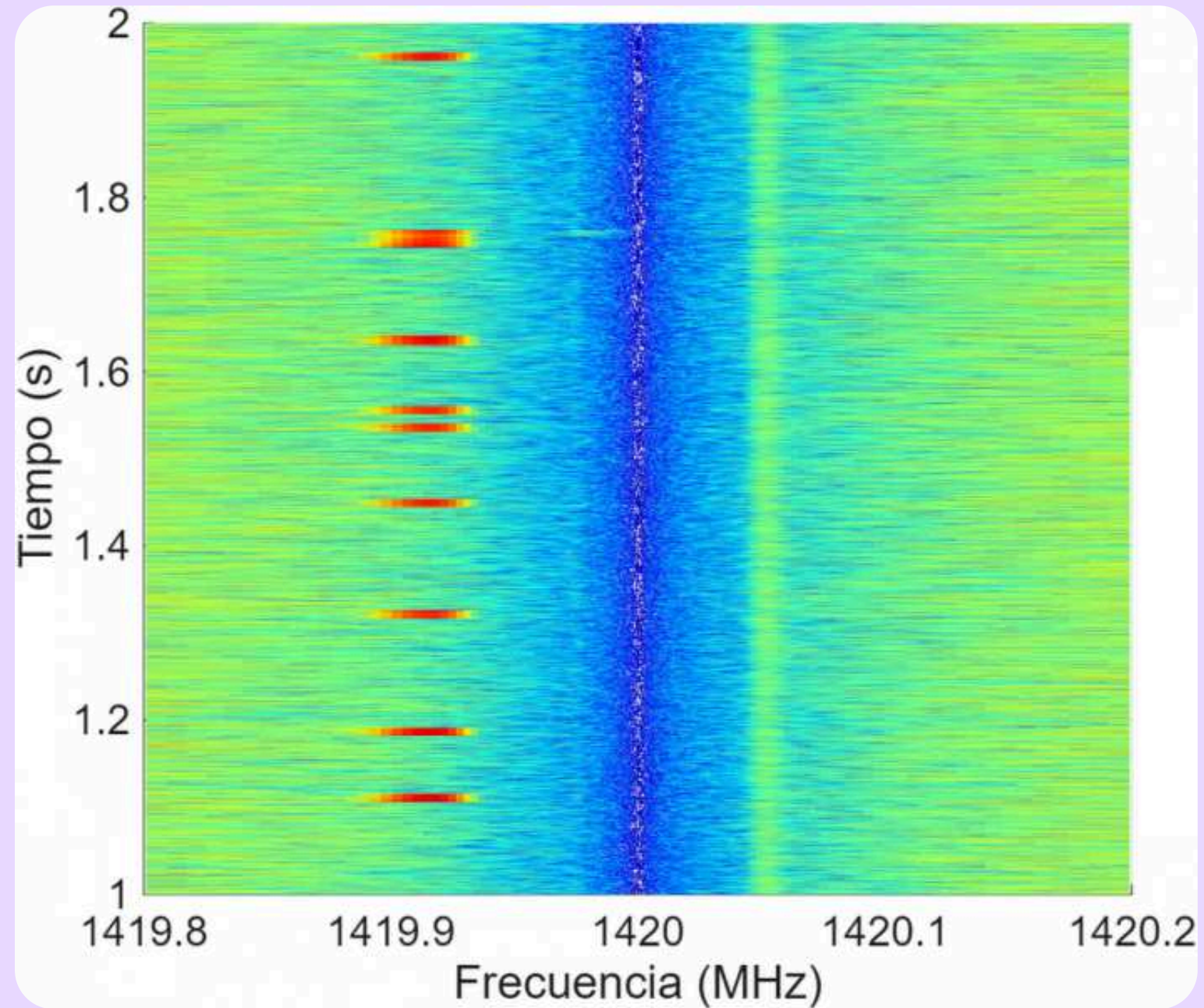
- Detección sólida y continua en el frecuencia.
- Integridad de energía sin fragmentación.

Potencia Media

$$\mu = 27.08 \text{ dB}$$

Desviación Estándar

$$\sigma = 3.46 \text{ dB}$$



Característica

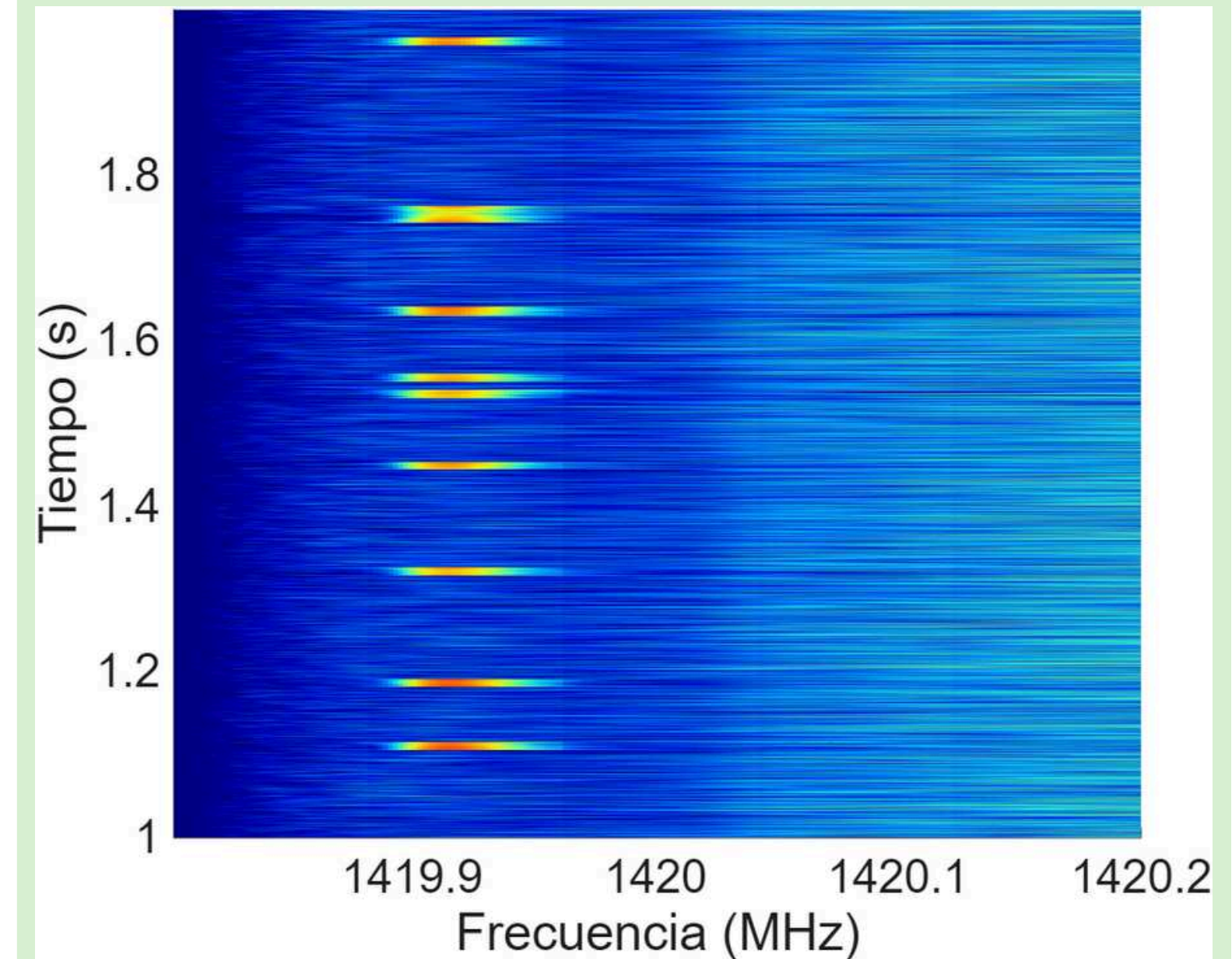
- Esta alta sensibilidad permite identificar anomalías y RFI que otros algoritmos omiten.
- Mayor costo computacional.
- Alta granularidad, no filtra fragmenta el fondo.

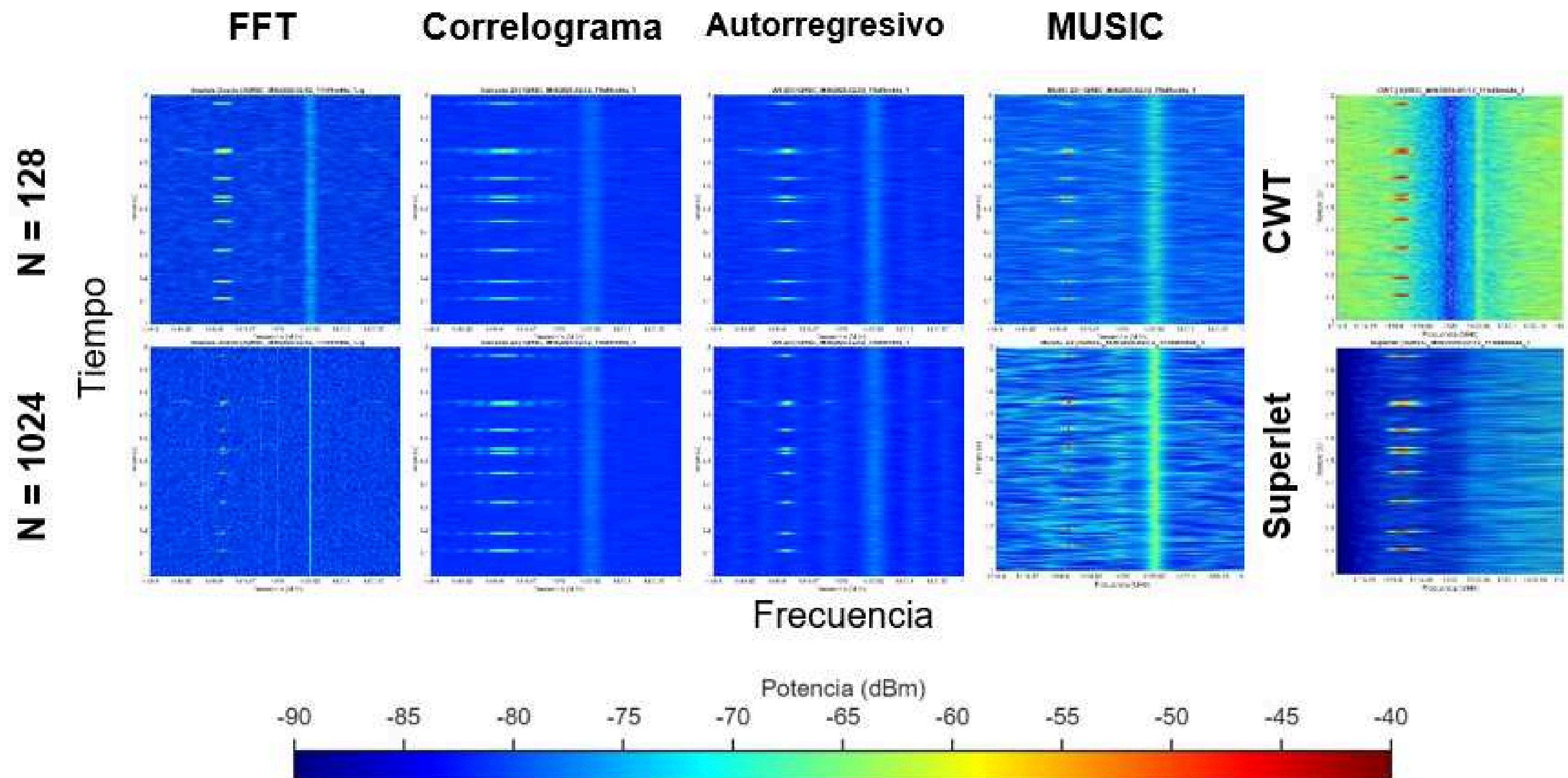
Potencia Media

$$\mu = 20.68 \text{ dB}$$

Desviación Estándar

$$\sigma = 4.33 \text{ dB}$$

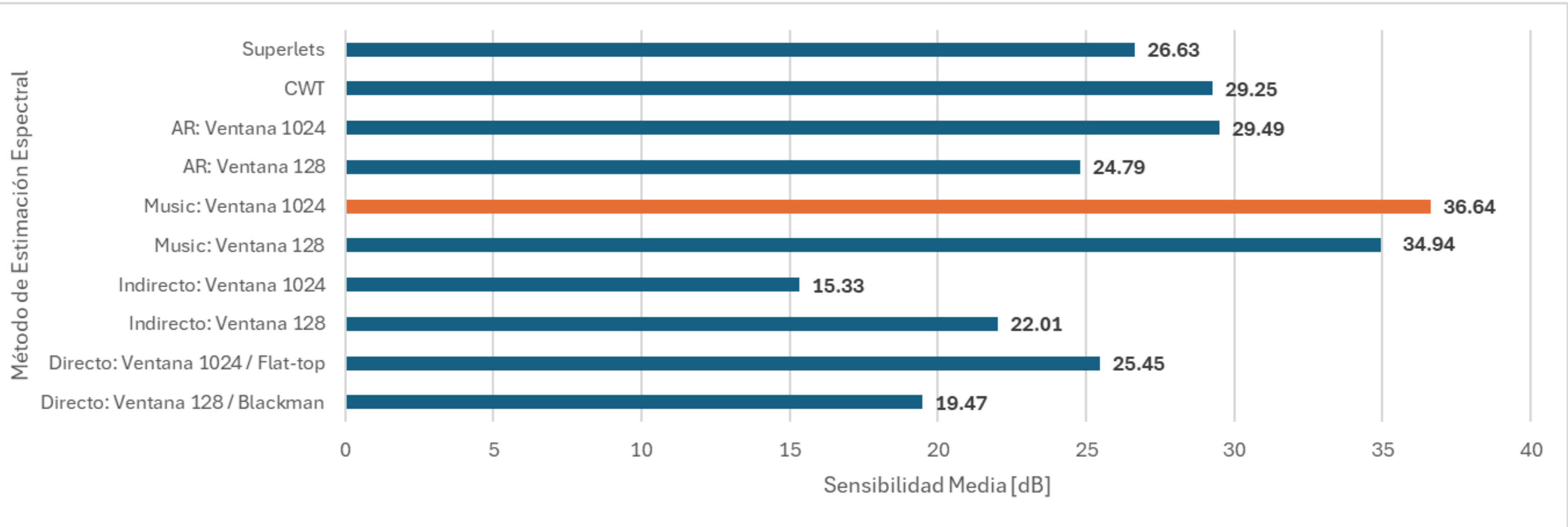




Análisis Cuantitativo: Métricas de detección y Energía

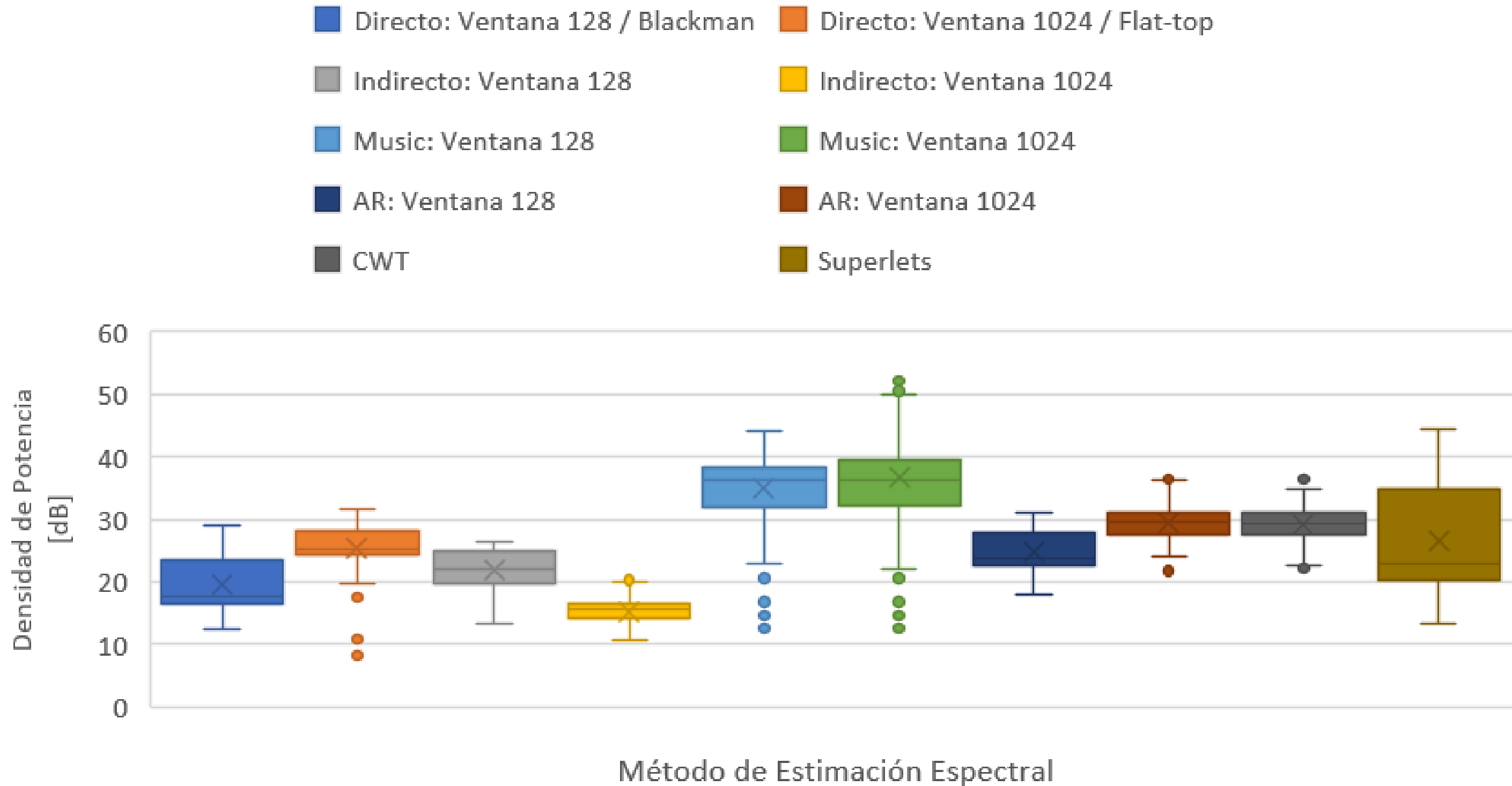


Diferencia de potencia media



Análisis Cuantitativo: Métricas de detección y Energía

Análisis de varianza y estabilidad



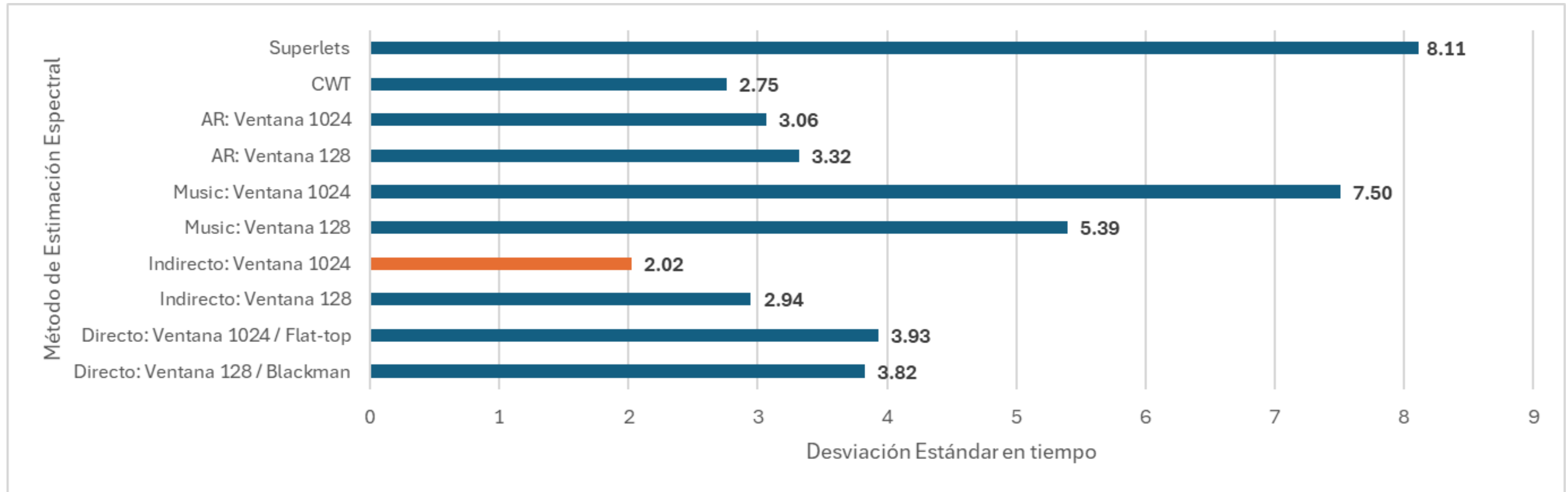
Muestra variabilidad y presencia de valores extremos.

Evalúa consistencia temporal.

Análisis Cuantitativo: Métricas de detección y Energía

Desviación estándar

Cuánto se alejan los valores respecto a la media.



Comparativa de métricas para cada representación tiempo-frecuencia



Tipo de representación	Configuración (N)	Potencia Media (μ) [dB]	Estabilidad / Desv. Est. (σ) [dB]	Rango (Min – Max) [dB]	Interpretación del resultado
Directo (STFT)	Ventana 128	16.65	2.40	2.15 – 23.48	Sensibilidad baja.
Directo (STFT)	Ventana 1024	23.08	3.84	3.55 – 27.51	Mayor sensibilidad.
Indirecto (BT)	Ventana 128	20.62	4.35	4.18 – 26.25	Degradación por exceso de varianza.
Indirecto (BT)	Ventana 1024	17.94	5.65	5.59 – 28.27	Gran rendimiento con baja resolución.
Pseudo MUSIC	Orden 128	31.32	5.48	5.13 – 39.18	Máxima detección, inestable.
Pseudo MUSIC	Orden 1024	34.81	6.45	6.11 – 48.83	Máxima detección, muy alta varianza.
AR (Burg)	Orden 128	23.39	2.49	1.84 – 28.89	Máxima estabilidad.
AR (Burg)	Orden 1024	29.65	3.53	2.73 – 35.34	Mejor balance global.
CWT	Morse	27.08	3.46	2.48 – 34.76	Detección robusta.
Superlets	Morse	20.68	4.33	4.08 – 33.00	Análisis conjunto

Ganancia de procesamiento



CONCLUSIONES

✓

✓

✓

✓

Conclusiones



- El estudio concluye que el modelo Autorregresivo (AR) es la técnica de estimación espectral, más eficaz para la identificación de la línea de hidrógeno en la frecuencia de 1420 MHz, con un orden de 1024, logra un equilibrio óptimo entre potencia media (29.65 dB) y la estabilidad temporal, reflejada en una desviación estándar de (3.53 dB), por medio de métricas cuantitativas como diferencia de potencia y potencia media de la señal.
- Se concluye que la técnica de estimación espectral Pseudo-MUSIC, a pesar de registrar una potencia media de (34.81 dB) donde se resalta los componentes de mayor energía, la presencia del rizado espectral produce una elevada desviación estándar de (6.45 dB), lo que dificulta la diferenciación exacta entre la señal astronómica y las variaciones térmicas del sistema. Esta limitación se hace evidente en la métrica cualitativa de diagrama de cajas, cuya representación visual expone la distribución estadística y una amplia dispersión de los datos.

Conclusiones



- La evaluación de las técnicas de estimación espectral muestra que los métodos clásicos, como el directo y el indirecto, depende del tamaño de la ventana de análisis, como se puede observar en el método directo; una configuración de 1024 muestras alcanza un valor de ganancia de procesamiento de (23.08 dB), mientras que una ventana de 128 muestras disminuye este parámetro a (16.65 dB). En contraste, el método CWT logra una ganancia de (27.08 dB) con una desviación estándar de (3.46 dB), lo que indica su capacidad para operar en el dominio tiempo-frecuencia y asegura una diferenciación superior de la línea de hidrógeno frente al ruido térmico del sistema.
- Se concluye que el uso adecuado del procesamiento digital, a través de diversas técnicas de estimación espectral (Clásicas, Paramétricas y No Paramétricas), ayudan a mitigar las limitaciones del hardware y el ruido térmico presentes en la detección de la línea de hidrógeno. Para optimizar la carga computacional de este estudio, se recomienda aplicar un análisis por bloques, fraccionar la señal en intervalos de tiempo, en lugar de ingresar los archivos offline completos, lo que previene la saturación del sistema.



Autor:

Darling Micaela Cruz Pantoja

Correo:

dmcruz3@espe.edu.ec

d.mikaela2001@gmail.com

Teléfono:

0969 007 442

Sangolquí, 24 Febrero de 2026



¡Muchas
GRACIAS!