

# Sincronización frecuencial para sistemas OFDM

Ing. Gustavo J. González

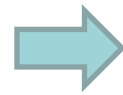
Director: Dr. Juan Cousseau  
Becario doctoral del CONICET

([ggonzalez@uns.edu.ar](mailto:ggonzalez@uns.edu.ar))

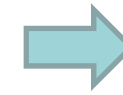


## OFDM. Descripción del sistema

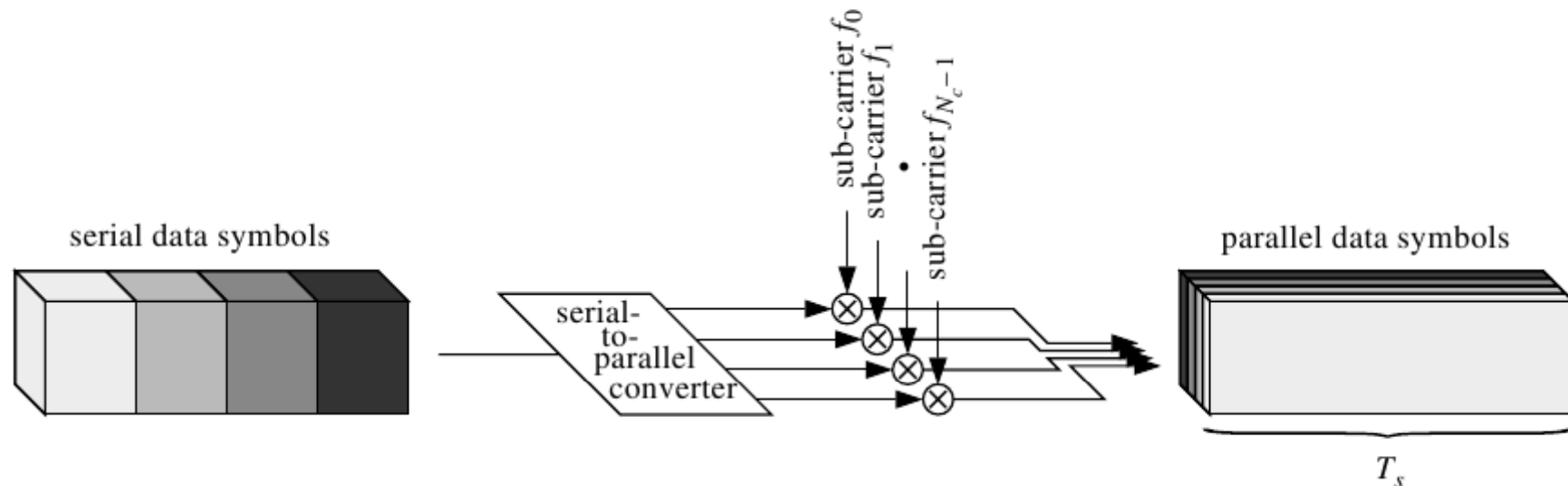
Alargamiento de  
símbolos



Canal plano  
(por sub-portadora)



Ecualización  
trivial



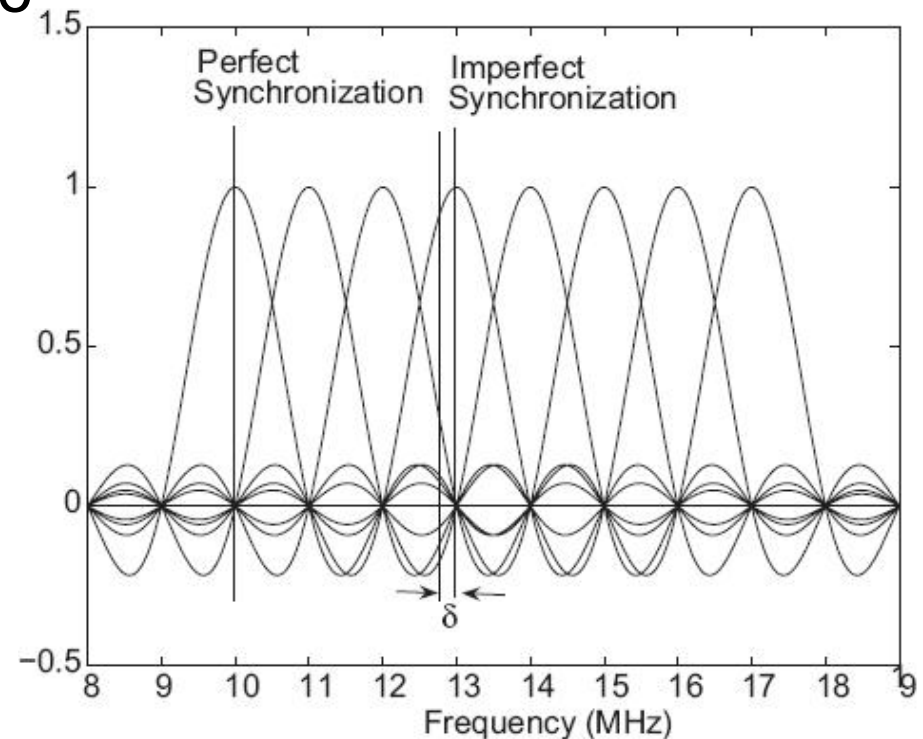
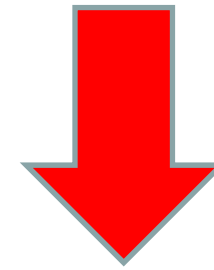
## Ventajas de OFDM

- Robustez contra interferencia inter-símbolo.
- Alta eficiencia espectral.
- Simple implementación (FFT y IFFT).
- Se pueden elegir diferentes constelaciones en cada sub-portadora.



## Desventajas de OFDM

- Necesita amplificadores de potencia lineales en un amplio rango.
- Produce alta interferencia en canales adyacentes.
- Muy sensible a errores en la sincronización de frecuencia de los LO (CFO).

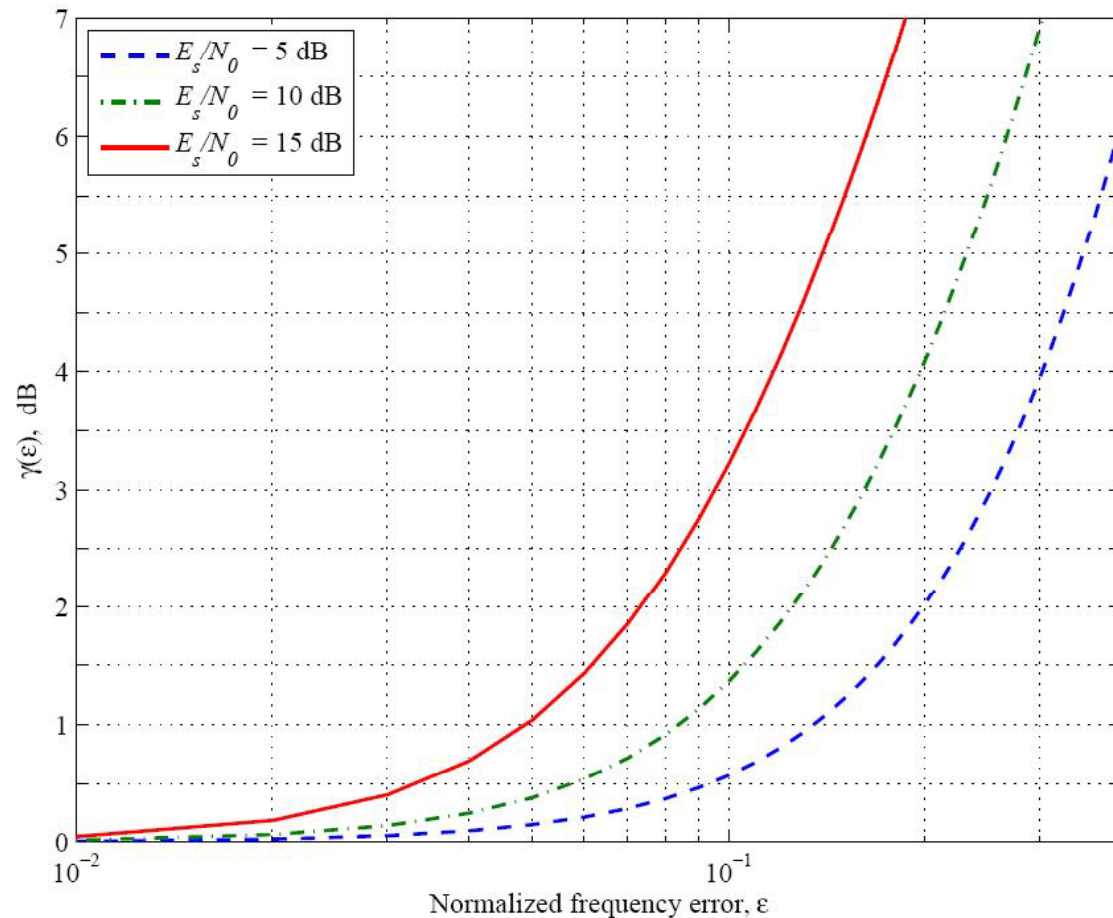


## Pérdida de desempeño a causa del CFO

En un sistema WiMax,  
un CFO de 4-5%  
puede ser producido  
por una variación de  
0.1ppm en el oscilador.



¡Es necesario corregirlo!



Para estimar el CFO se pueden tomar dos caminos:

- Estimación conjunta de canal y CFO.
  - Basadas en máxima verosimilitud (requiere búsqueda exhaustiva)
  - Secuencias aleatorias → mayor rango y alta complejidad.
  - Se aleatorias periódicas → menor rango y complejidad.
- Estimación de CFO sin conocimiento del canal.
  - Se usan secuencias periódicas.
  - Una secuencia periódica sigue siendo periódica luego de pasar por el canal si se utiliza un prefijo cíclico.

El desafío es estimar el CFO a partir de una secuencia de entrenamiento (TS), sin conocer el canal.



Sólo se conoce la estructura de la señal recibida

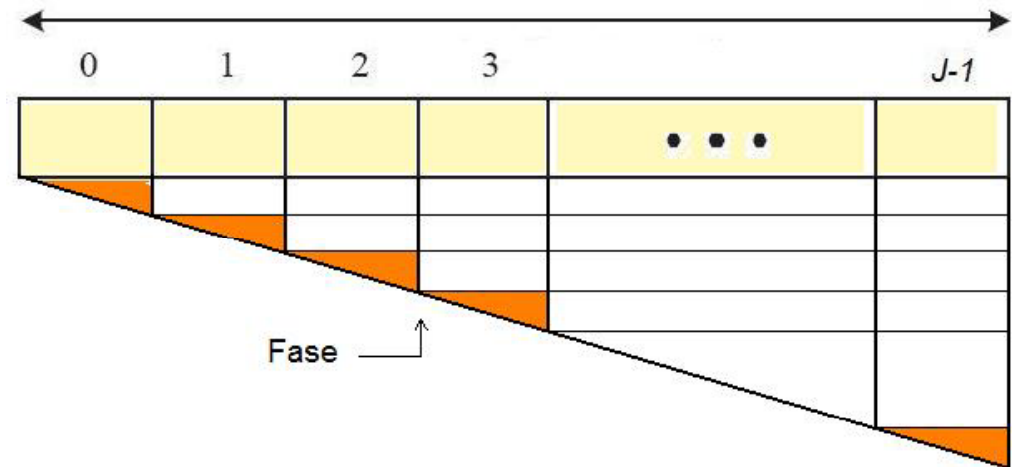


$$y(n) = e^{j\frac{2\pi\epsilon n}{N}} q(n) + w(n)$$

donde  $q(n)$  es la convolución de la TS con el canal de largo  $N$  y período  $M$ , y  $w(n)$  es AWGN.

Los métodos utilizados se basan en la autocorrelación (AC) de la secuencia repetitiva recibida.

Esquema de la señal recibida con CFO



La AC de la señal recibida con CFO es

$$\hat{r}(k) = e^{\frac{j2\pi\epsilon k}{J}} \sigma_s^2 + \chi(k), \quad 1 \leq k \leq J - 1$$

La AC de la señal recibida provee J-1 valores.



Estimación de  $\epsilon$



## El algoritmo de Morelli y Mengali (MM)

- Para evitar la reducción de rango utiliza las diferencias de fase la AC
- Utiliza el BLUE para combinar los valores de la AC.
- Es una generalización del algoritmo de Schmidl-Cox para TS de varios períodos.
- Debido a las simplificaciones utilizadas sólo puede utilizar  $J/2$  valores.

El algoritmo de Minn (MTB).

- Utiliza una estimación gruesa de CFO para mantener el rango.
- También utiliza el BLUE para combinar la información de los  $J-1$  valores de la AC.
- Según la aproximación utilizada se puede aprovechar toda la información disponible.

Estimador basado en la *autocorrelación cíclica promediada* -ACA

Se define una nueva función

$$\hat{r}_c(p, k) = \frac{1}{J-k} \sum_{n=0}^{J-k-1} y(nM + p)y^*((n+k)M + p)$$

Reemplazando la señal recibida tenemos

$$\hat{r}_c(p, k) \approx e^{-j\frac{2\pi\epsilon k}{J}} |s(p)|^2 + w_c(p, k)$$

- Se utilizan las diferencias de fase para conservar el rango.
- Es una función de dos variables que es necesario combinar para estimar el CFO.

Se proponen tres estimadores

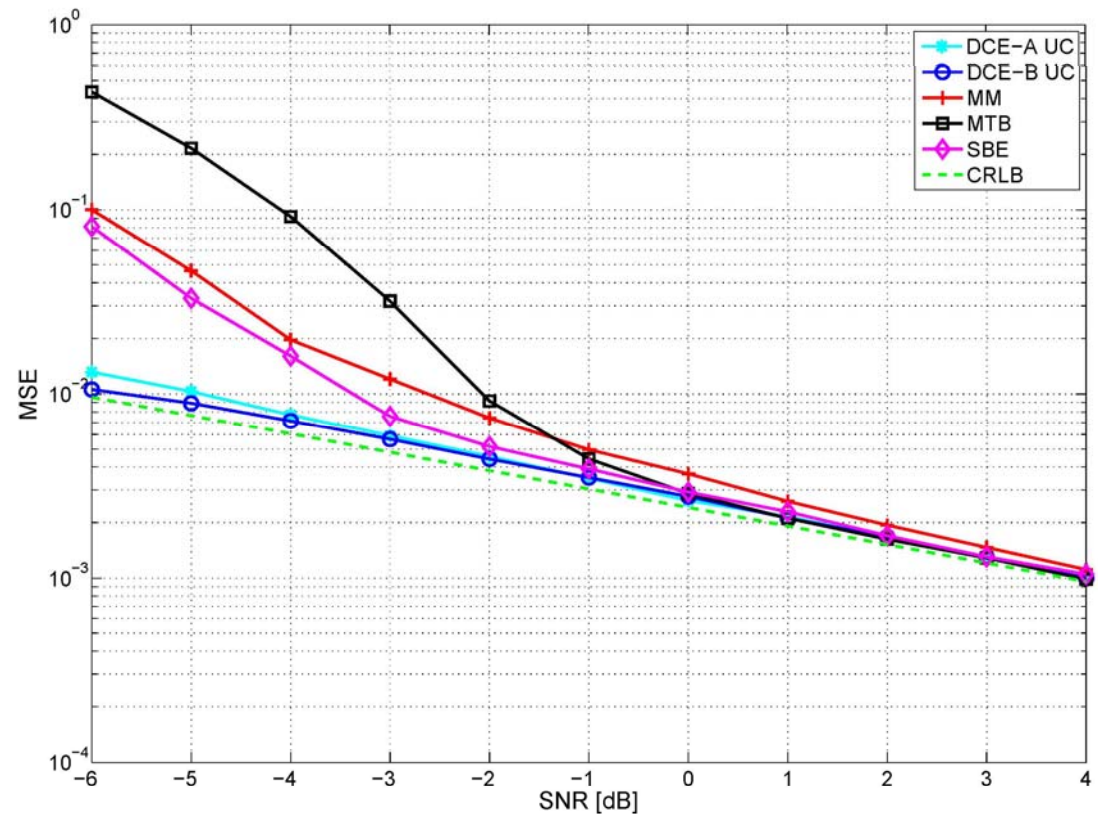
- SBE es una generalización de MM que utiliza los  $J-1$  valores
  - Se suma sobre la variable  $p$  ( $ACA = AC$ ).

Para las otras propuestas se trabaja con la fase de la ACA

- DCE-a
  - Se combina primero sobre  $p$  usando el BLUE.
  - Se combina sobre  $k$ .
- DCE-b
  - Se combina sobre  $k$  utilizando el BLUE y luego sobre  $p$ .

## Simulaciones

- MM pierde desempeño por no aprovechar toda la información.
- MTB no funciona bien para baja SNR.
- SBE aprovecha toda la información.
- DCE-A and DCE-B funcionan bien para baja SNR y bajo CFO.



## Conclusión y preguntas....

Se introdujo una nueva función que generaliza la AC y permite nuevas aproximaciones.

Se propusieron tres métodos:

- SBE generaliza MM y tiene rango completo.
- DCE-A y DCE-B funcionan bien para baja SNR pero no logran rango completo.

# FIN

## Gracias por su atención

---