

# Métodos multioffset de Georradar para la detección y monitoreo de objetivos ambientales.

Néstor Bonomo

Grupo de Geofísica Aplicada  
y Ambiental (GAIA)



IFIBA, CONICET -  
Departamento de Física,  
FCEyN, UBA



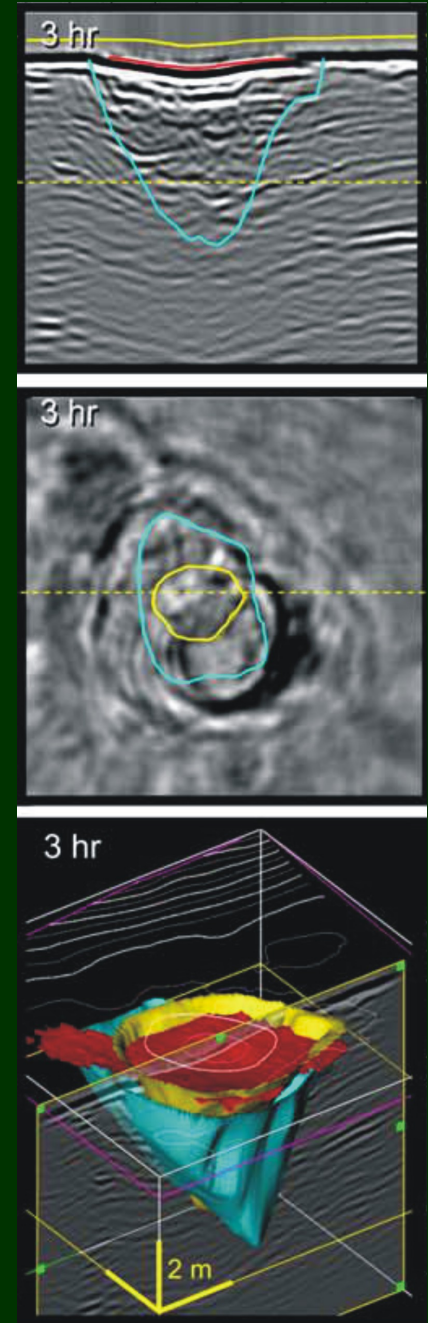
# Esquema de la charla

- 1) - El método Georradar (GPR)
  - Metodología de GPR por reflexión y offset constante
  - Ejemplos de aplicaciones ambientales
  
- 2) - Metodologías multioffset para la detección y monitoreo de objetivos ambientales
  - Arreglos de emisores
  - Ejemplos de aplicación



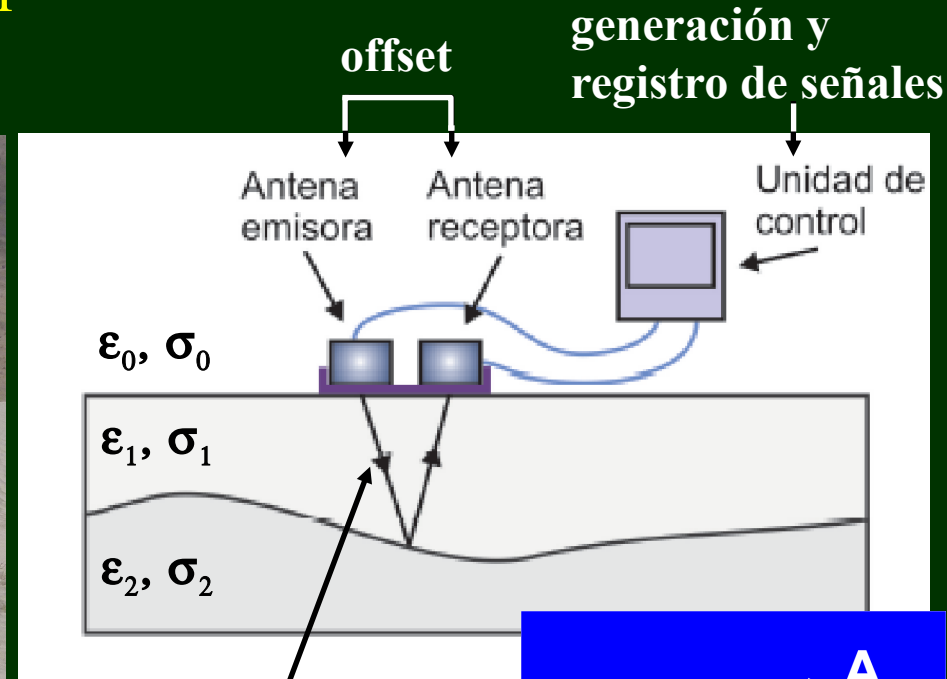
# Método Georradar (GPR)

- Usa fuentes controladas de radiofrecuencia
- Sirve para estudiar los primeros metros del suelo
- Se mide sobre la superficie del suelo, en pozos o en forma combinada

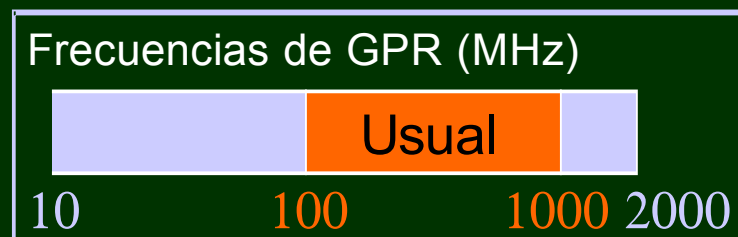
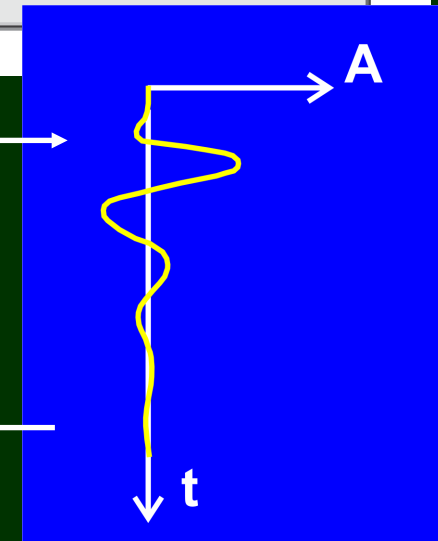


# Componentes principales de un equipo de GPR

## Metodología por reflexión

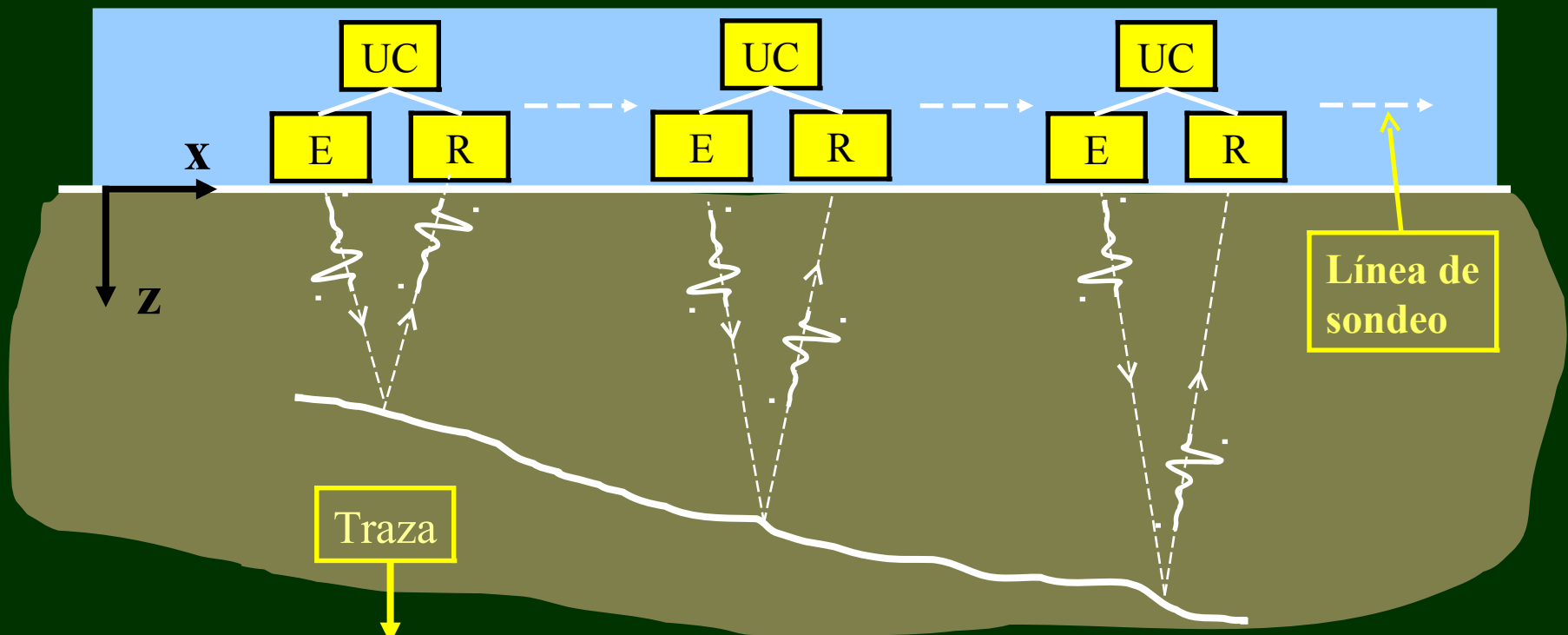


Señal emitida:  
pulso de  
radiofrecuencias

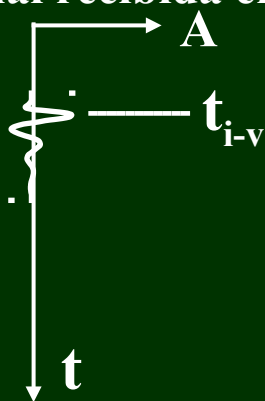




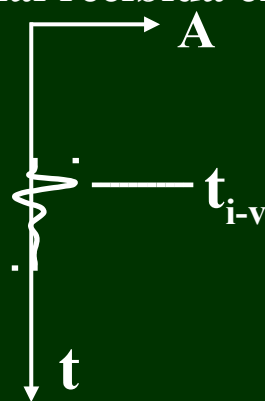
# Métodología de GPR por reflexión y offset constante (simple offset, SO)



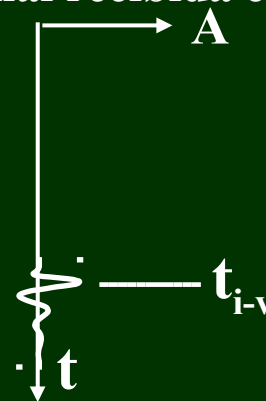
Señal recibida en  $X_1$



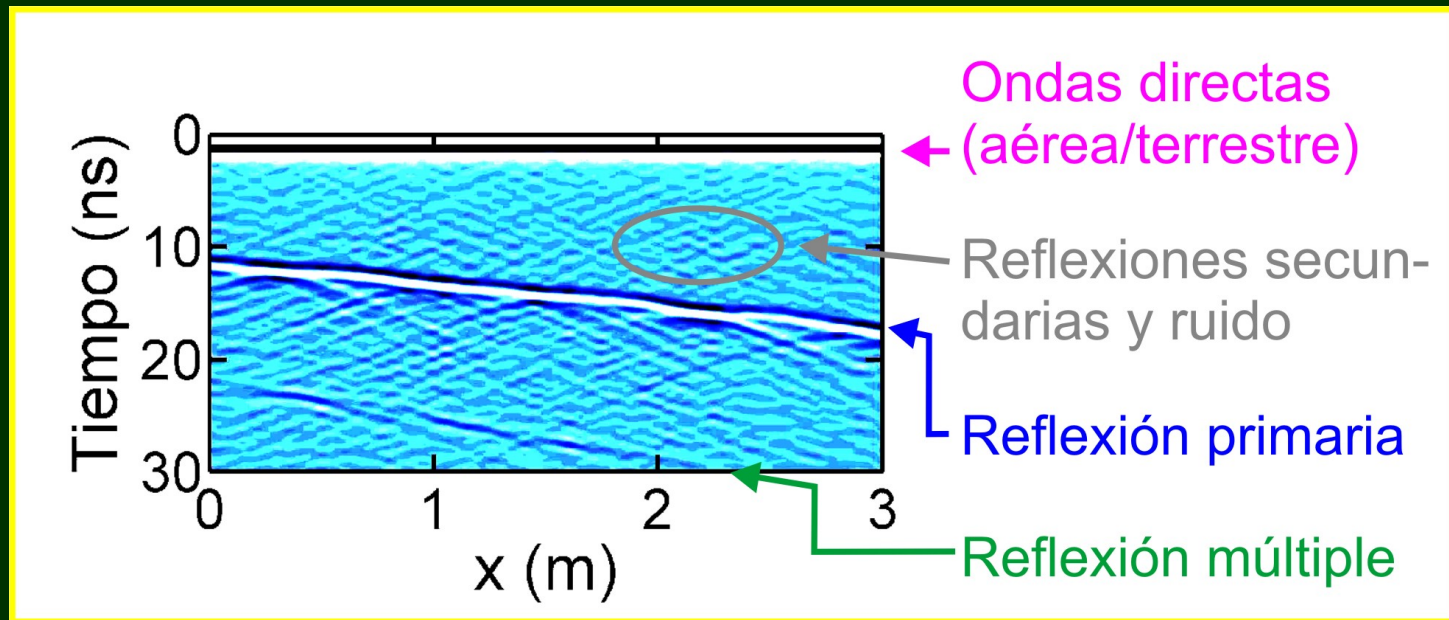
Señal recibida en  $X_2$



Señal recibida en  $X_3$



# Métodología de GPR por reflexión y offset constante. Radargramas. Ondas recibidas



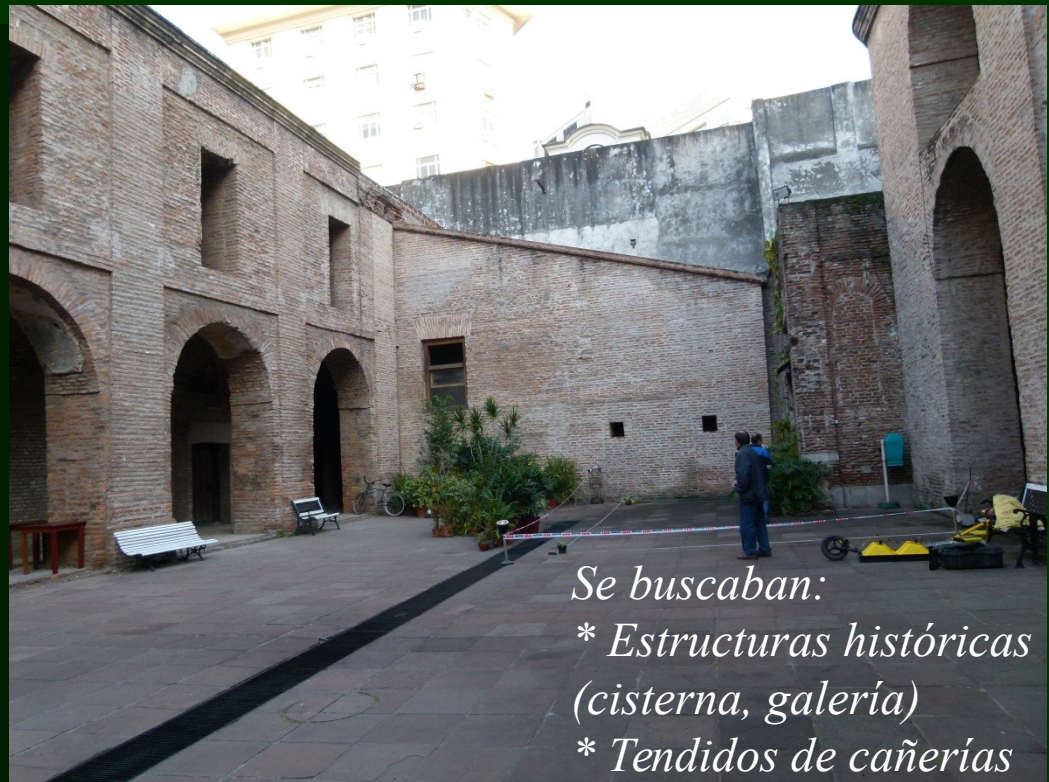
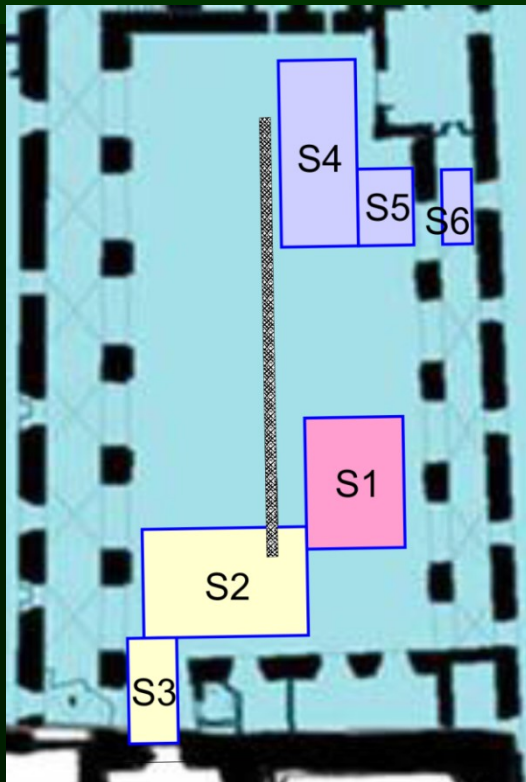
Sección vertical de datos o radargrama

# Aplicaciones: Arqueología – Ingeniería Civil

Manzana de Las Luces- CABA

Métodología por reflexión y offset constante.

Plano. Sectores estudiados



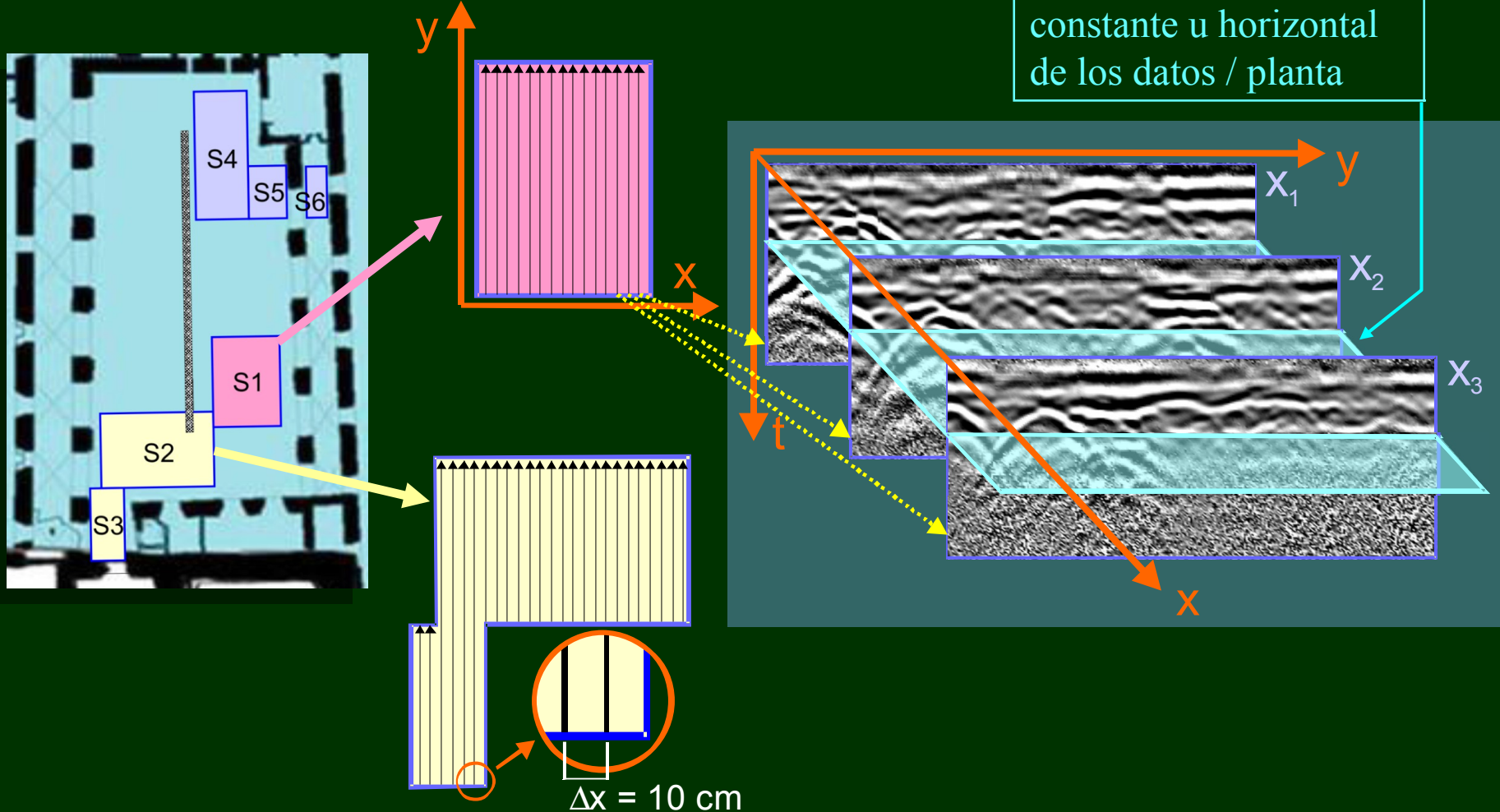
*Se buscaban:*

- \* Estructuras históricas (cisterna, galería)*
- \* Tendidos de cañerías*

# Aplicaciones: Arqueología – Ingeniería Civil

## Manzana de Las Luces- CABA

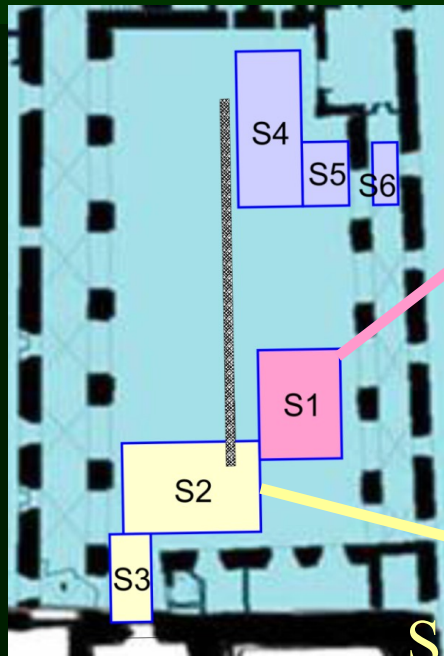
Plano. Sectores prospectados





# Aplicaciones: Arqueología – Ingeniería Civil

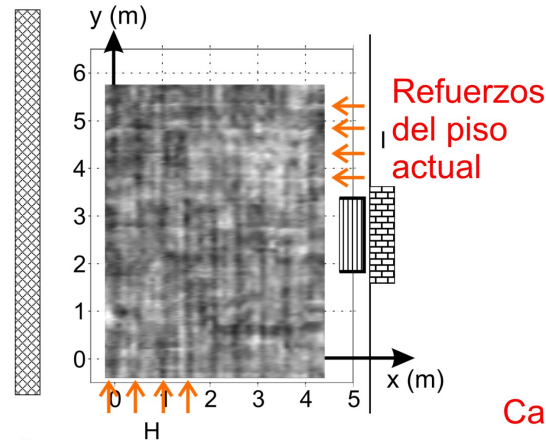
## Manzana de Las Luces- CABA



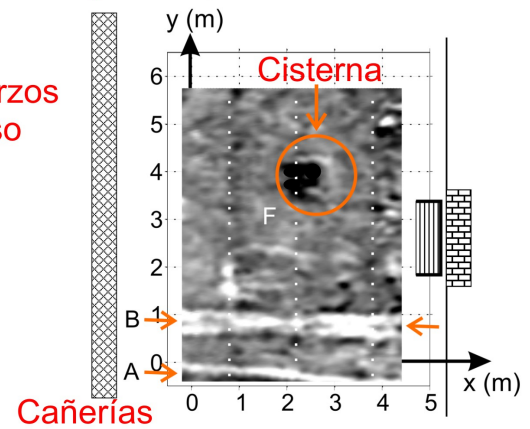
S1

S2-S3

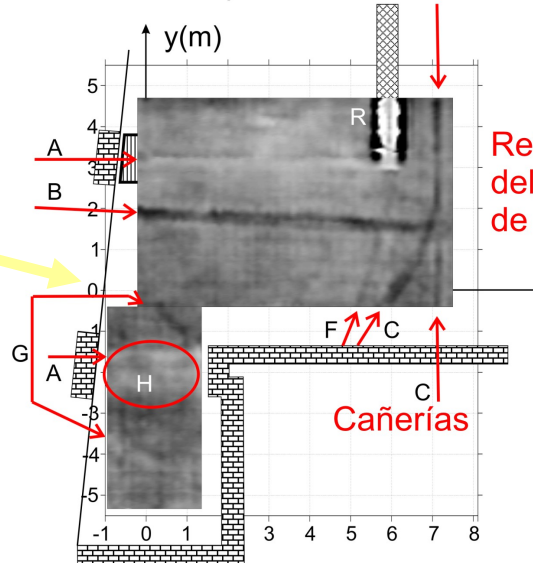
a) Planta p = 16 cm



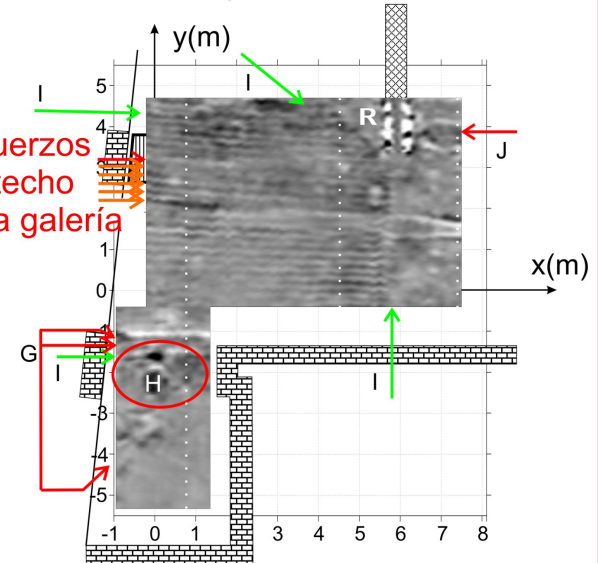
b) Planta p = 59 cm



c) Planta p = 19 cm



d) Planta p = 54 cm



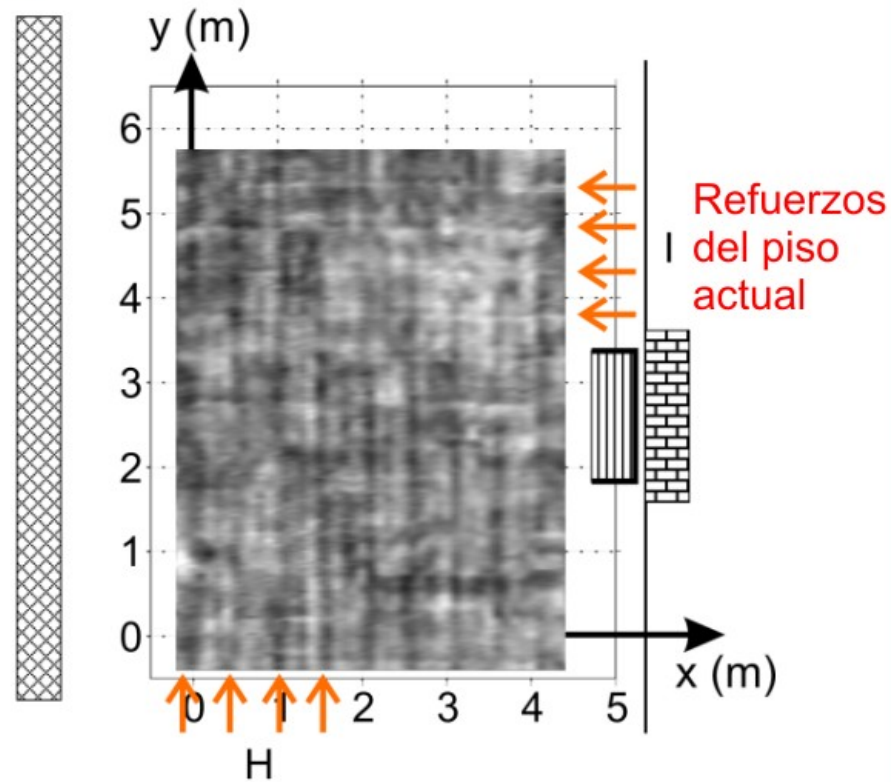
Plantas - Interpretación (orígenes de principales reflexiones)



# Aplicaciones: Arqueología – Ingeniería Civil

## Manzana de Las Luces- CABA

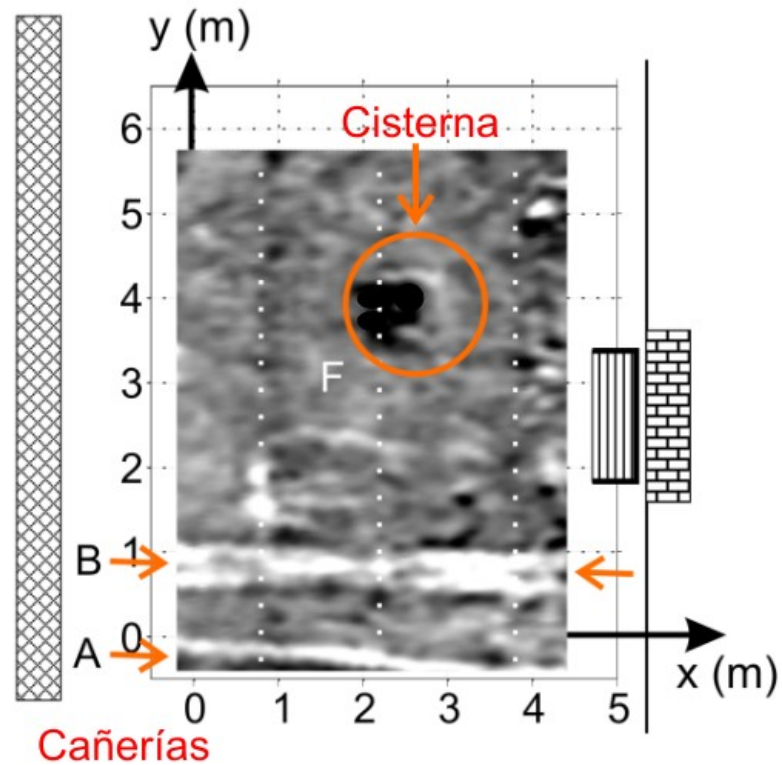
a) Planta  $p = 16$  cm



# Aplicaciones: Arqueología – Ingeniería Civil

## Manzana de Las Luces- CABA

b) Planta p = 59 cm



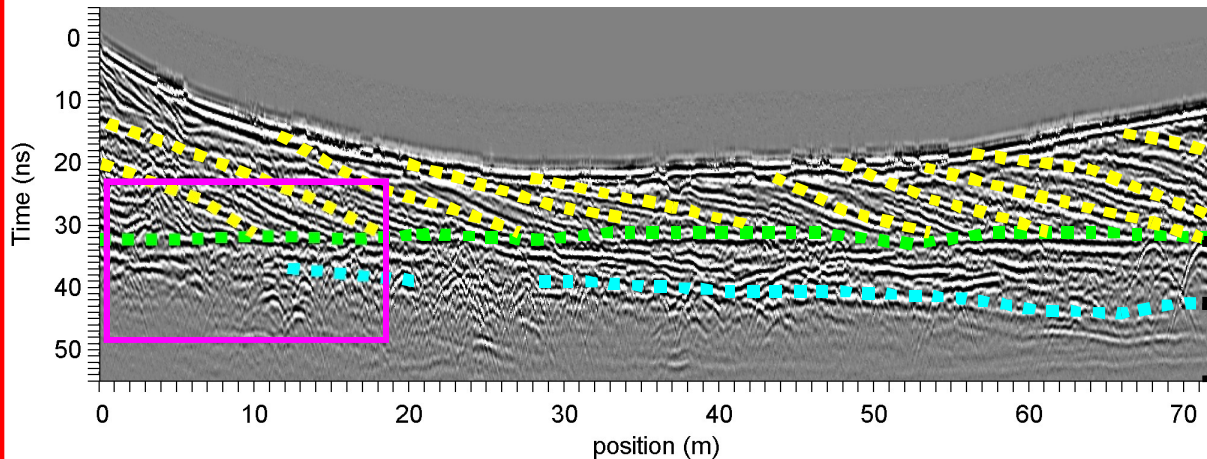
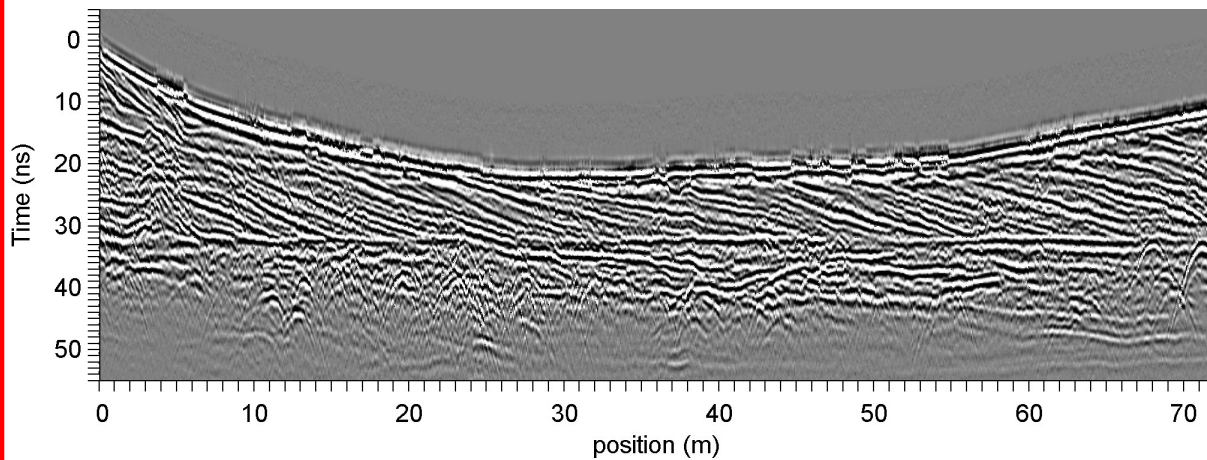




# Aplicaciones: Sedimentología

Mapeo / caracterización de capas

Sección vertical



Área con  
baja continuidad  
de la señal primaria

Interfaz aire-suelo

Sedimento eólico

Zona antiguamente cultivada

Lecho arcilloso de río



# Principales aplicaciones del método GPR

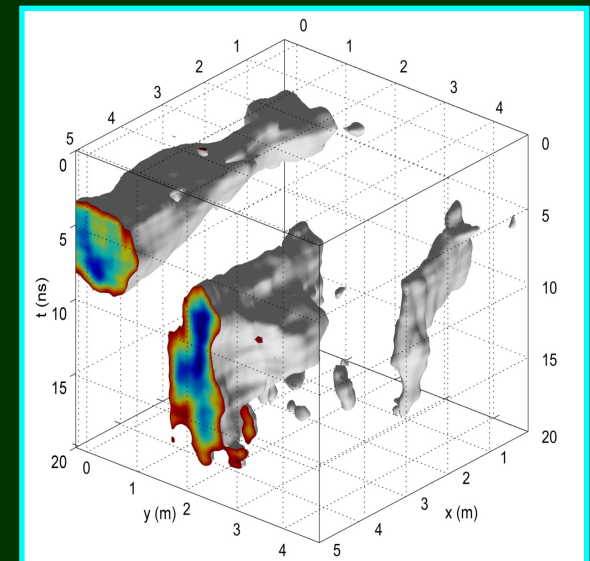
## **Detección / mapeo / caracterización de:**

- 1) capas de suelo (sedimentos, roca, etc.)
- 2) capas de hielo (permafrost, glaciares)
- 3) capas de pavimentos y rellenos (asfalto, concreto, desechos, etc.)
- 4) grietas, cavidades, fallas (suelos y estructuras de ingeniería)
- 5) humedad (fugas de piletas y caños, freática y zona de transición, etc.)
- 6) otros líquidos (vertidos contaminantes, etc)
- 7) gases (pavimentos, fugas de contenedores, etc.)
- 8) estructuras edilicias (paredes, pisos, pilares, etc)
- 9) cañerías y refuerzos en estructuras (aplicaciones de ingeniería)
- 10) explosivos no detonados (minas y proyectiles)
- 11) enterratorios (aplicaciones forenses y arqueológicas)
- 12) raíces, troncos, biomasa (aplicaciones biológicas)

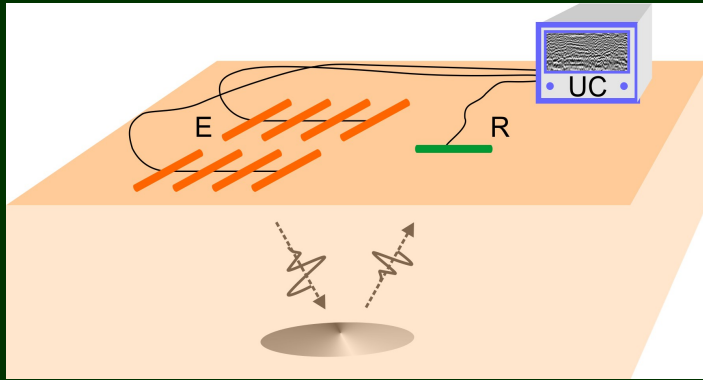
# Metodologías multioffset

Son las que poseen alguna de las siguientes características:

1. Distancia emisor–receptor variable
2. Múltiples emisores y/o receptores
3. Ambas características



# Arreglos de emisores



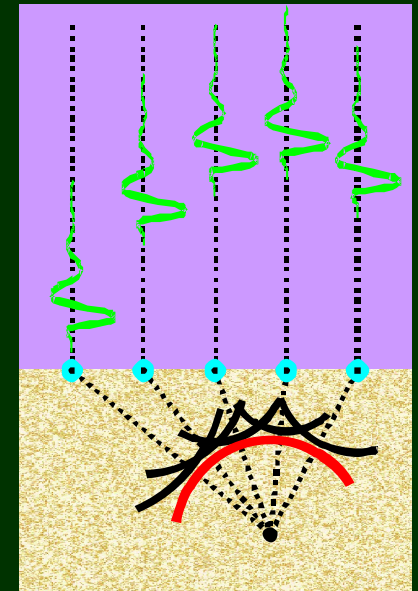
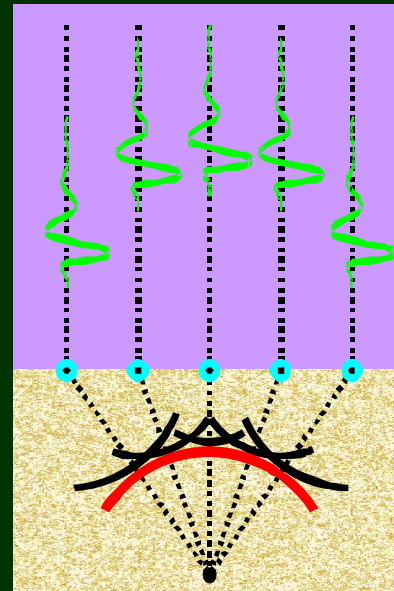
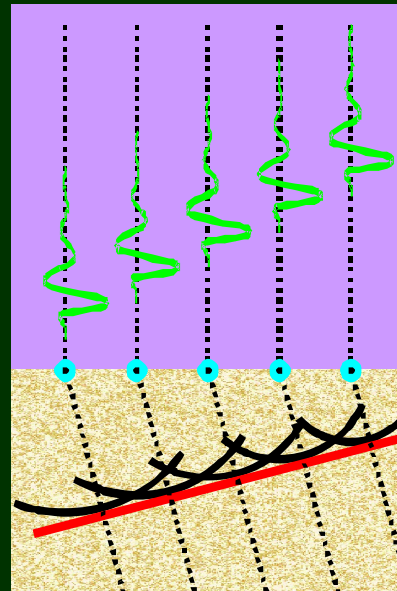
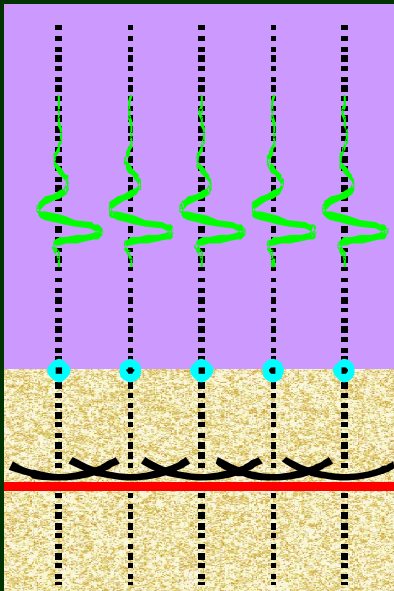
Permiten el modelado del frente de ondas transmitido, con los objetivos simultáneos de:

- Concentrar la energía en caminos emisores-objetivo-receptor que incrementen el nivel de señal primaria registrado
- Reducir la iluminación de reflectores secundarios periféricos y así su influencia en las secciones de datos



# Arreglos de emisores

Se controla la  $\left\{ \begin{array}{l} \text{fase} \\ \text{amplitud} \\ \text{distancia} \end{array} \right\}$  relativas entre los emisores



Direccionamiento

Enfoque

Direccionamiento  
y enfoque



# Áreas de aplicación de los arreglos de emisores

Telecomunicaciones



Astrofísica

Óptica

Meteorología

Navegación aérea



Sísmica

Medicina

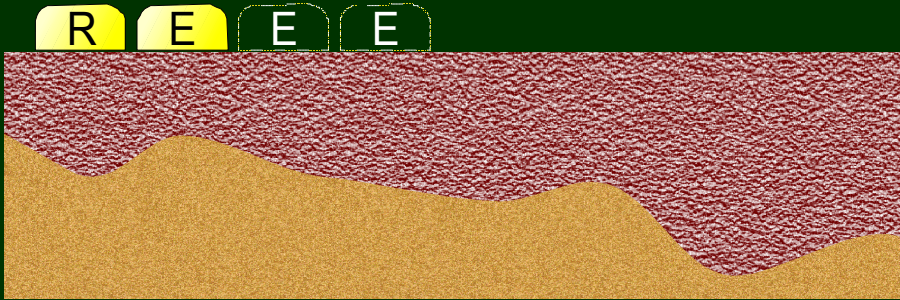
Sonar

Ingeniería





# Arreglos **sintéticos** de emisores (SEA)



## Ventajas:

- Libertad en la selección de los parámetros del arreglo
- Equipamiento mucho menos costoso
- Simulaciones numéricas más sencillas
- Menos inconvenientes técnicos
- Menores volúmenes de datos

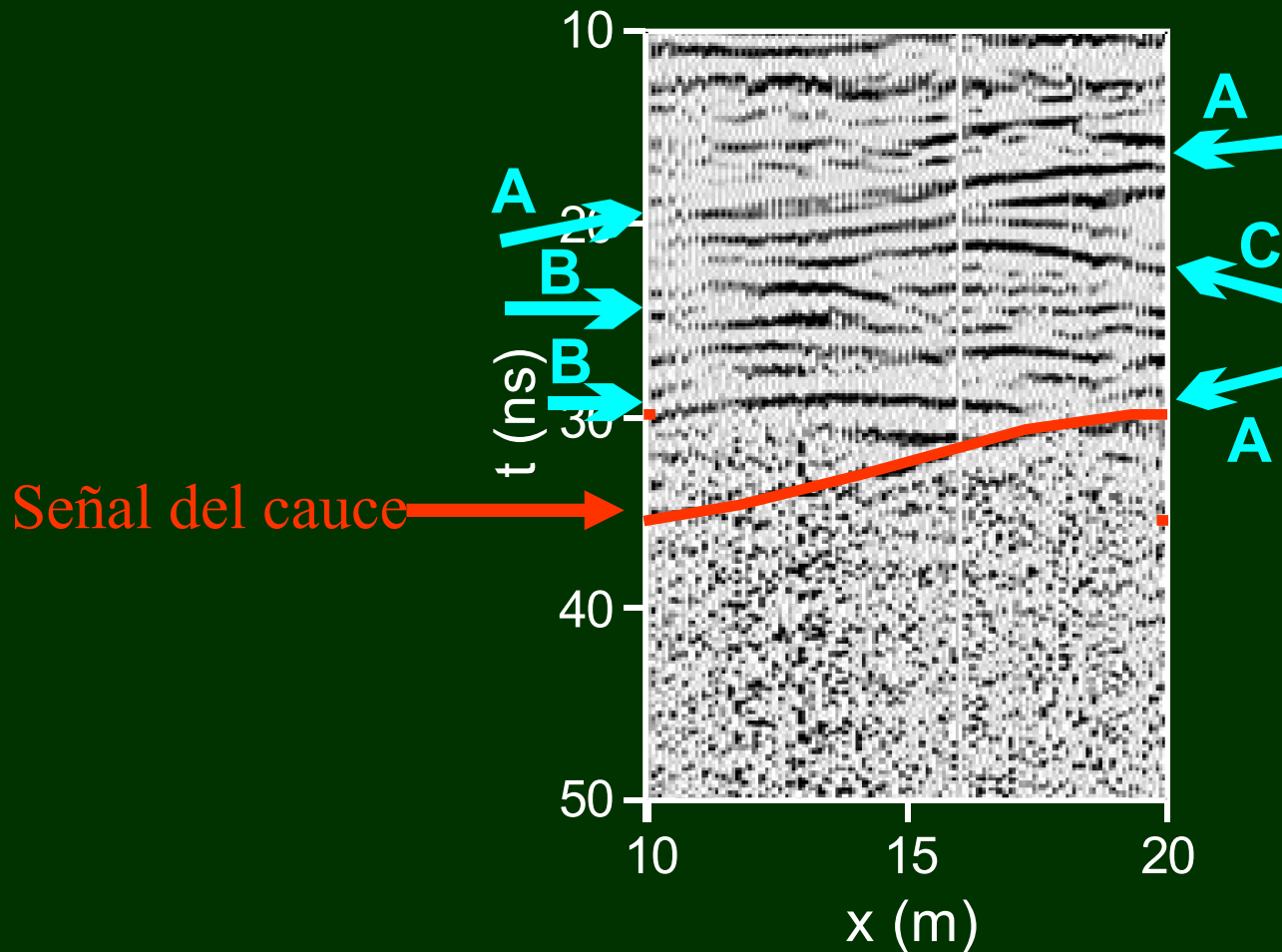
## Desventajas:

- Requieren de mayor tiempo y esfuerzo de adquisición
- Procesamiento algo más complicado

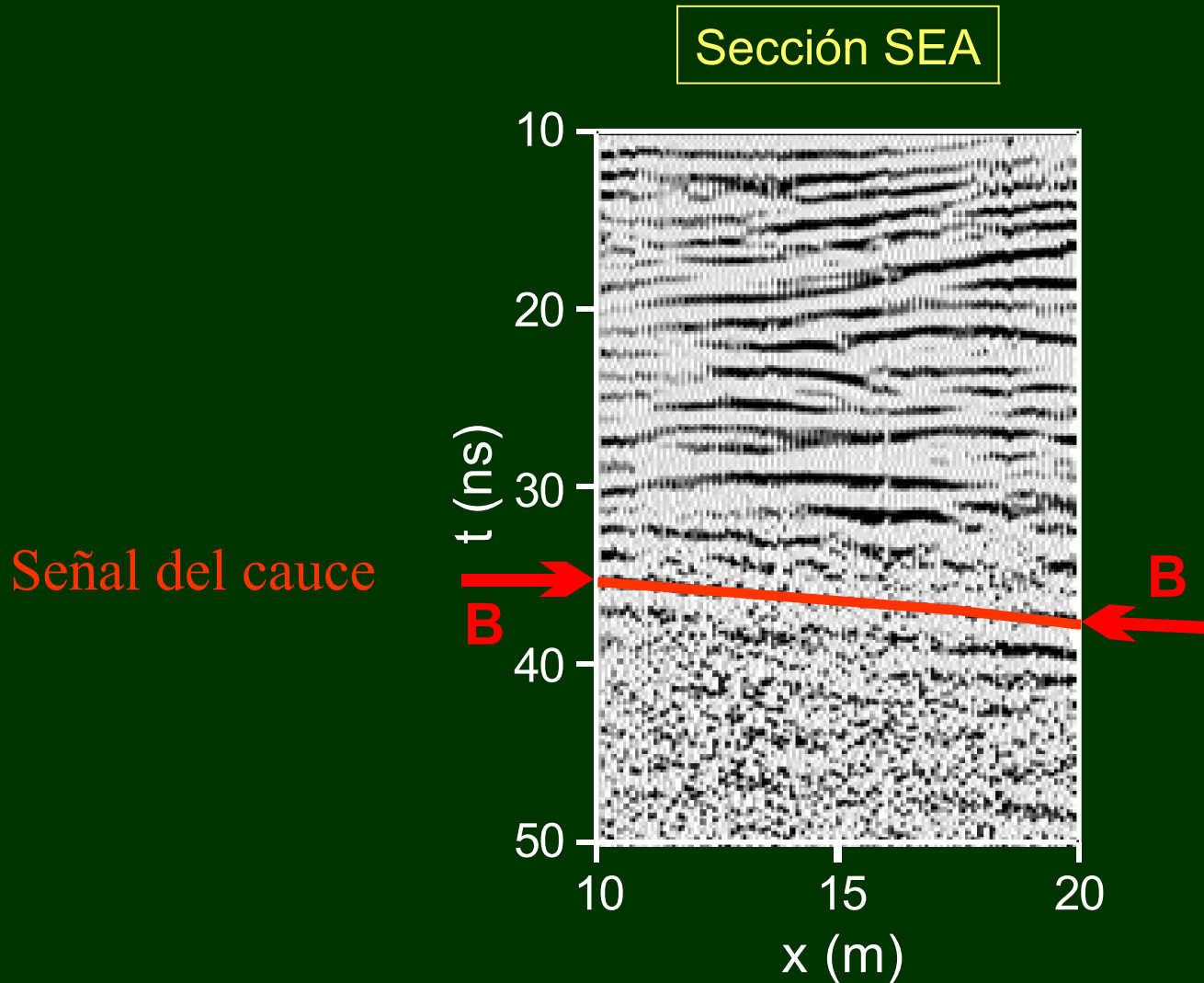


# Ejemplo de aplicación SEA: mapeo de un cauce

## Sección SO

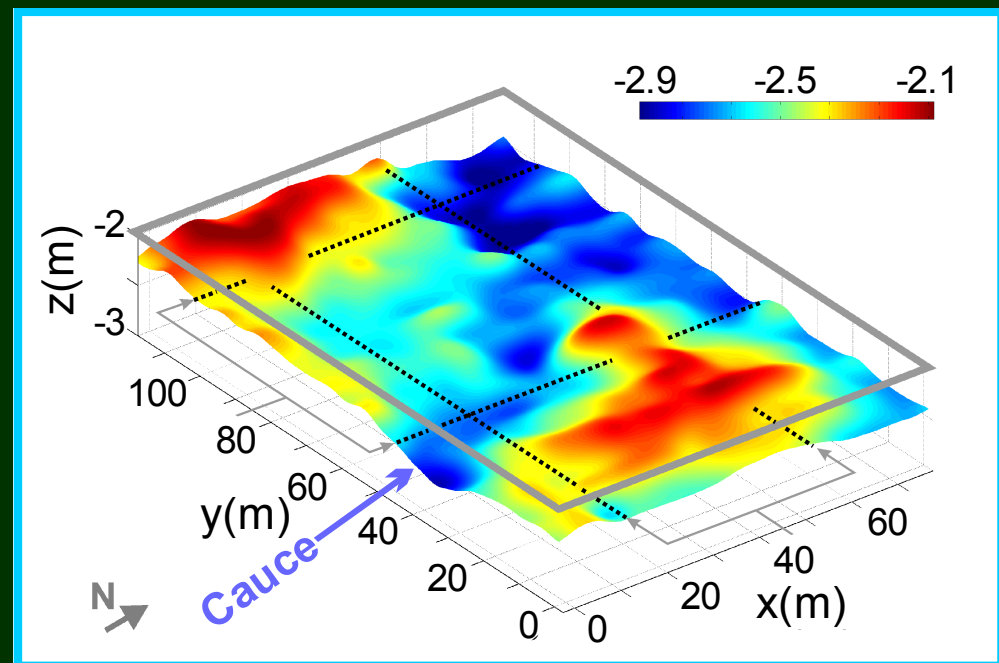
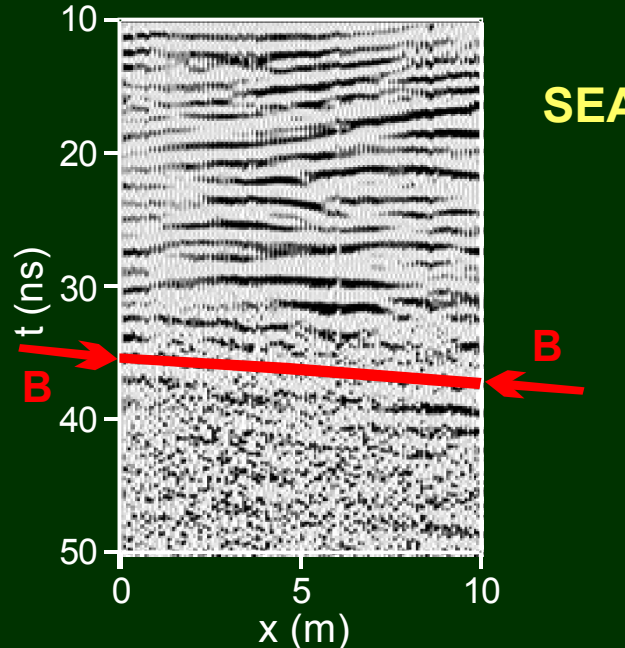
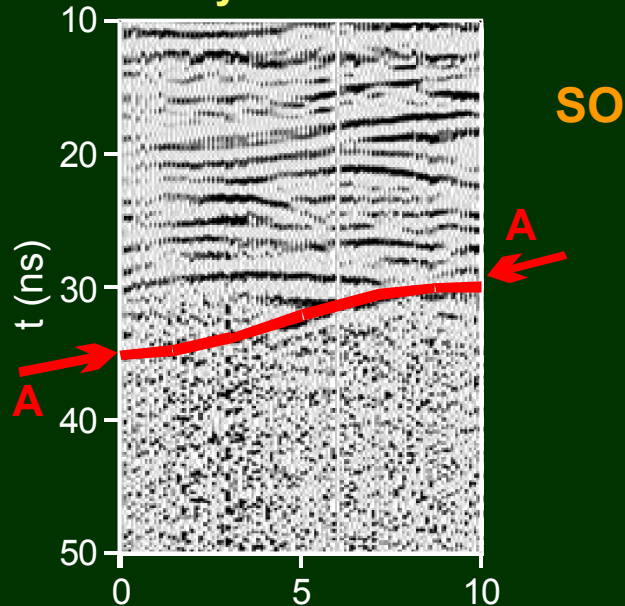


# Ejemplo de aplicación SEA: mapeo de un cauce



# Ejemplo de aplicación SEA: mapeo de un cauce

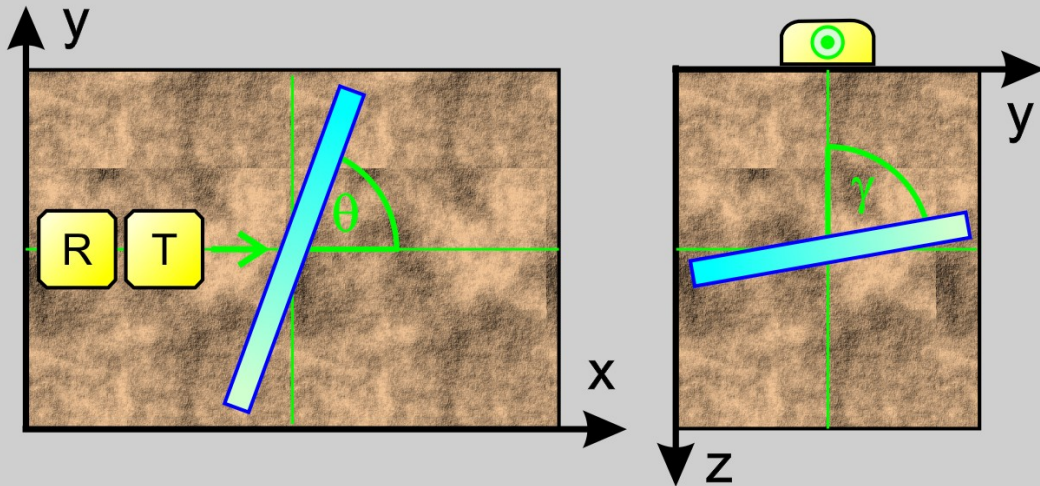
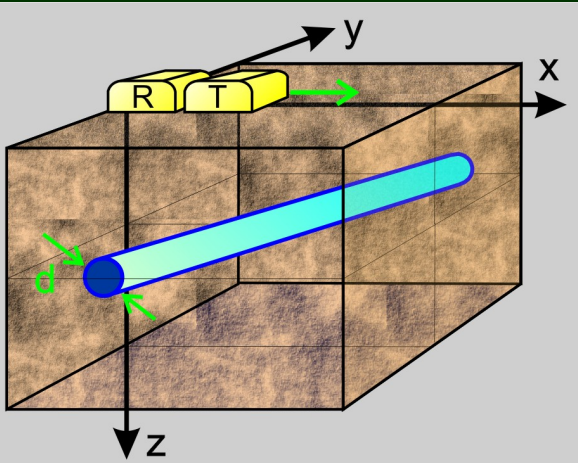
$y = 50\text{m}$





# Ejemplo: determinación de la orientación de cañerías a partir de una sola línea de sondeo

Estudios en lugares angostos, limitados por obstáculos en superficie (vegetación, topografía, paredes, maquinarias, etc.)



## Metodología:

- $\theta$  y  $\gamma$  como fc de las amps de polarización
- Cálculo estadístico
- Baja SNR en perfiles SO que

perjudica los resultados =>

- SEA para mejorarlos



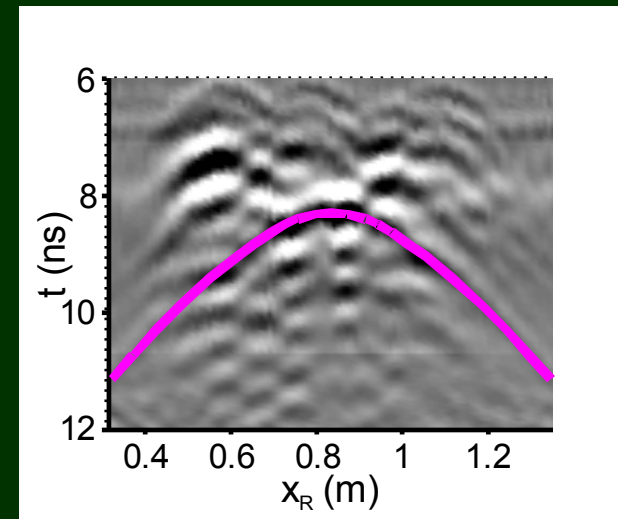
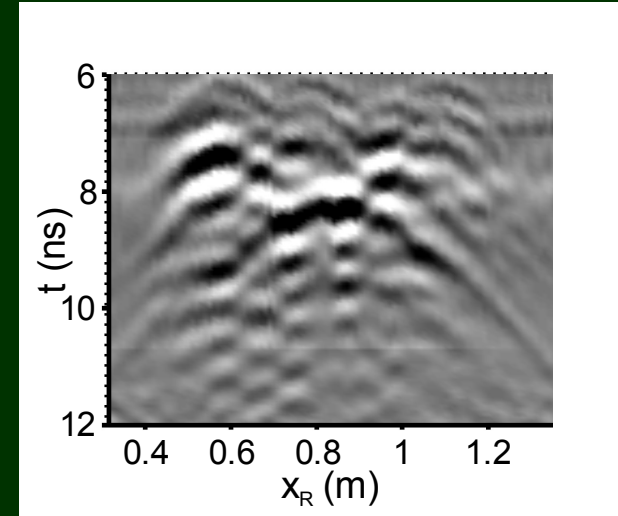
# Ejemplo: determinación de la orientación de cañerías a partir de una sola línea de sondeo

Procedimiento:

1) Adquisición SO 

2) Identificación del objetivo 

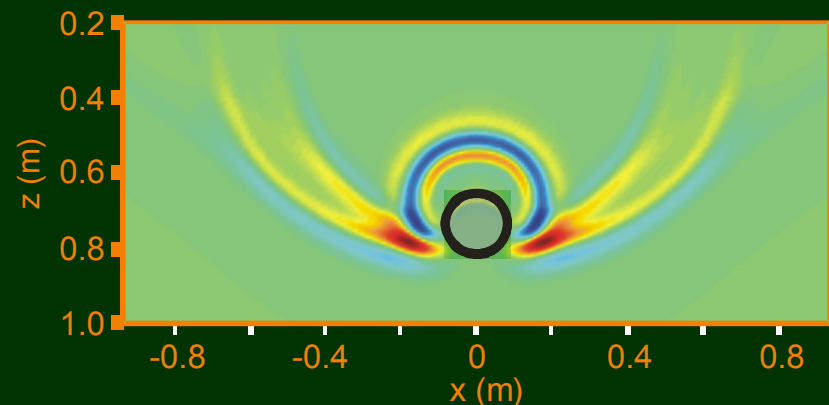
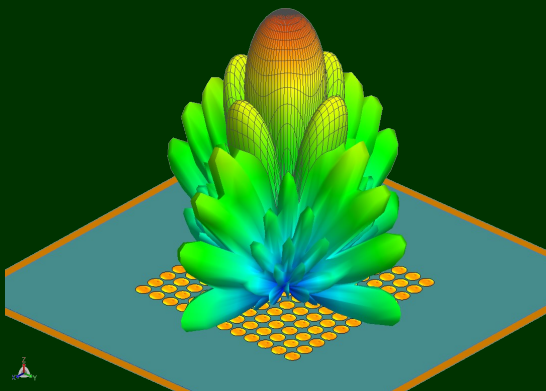
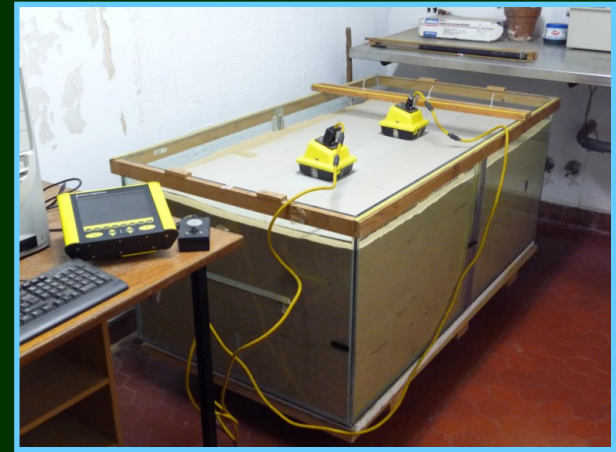
3) Estimación de parámetros del suelo 



# Ejemplo: determinación de la orientación de cañerías a partir de una sola línea de sondeo

Procedimiento:

- 1) Adquisición SO
- 2) Identificación del objetivo
- 3) Estimación de parámetros del suelo
- 4) Simulación numérica SEA. Experiencia controlada en el laboratorio
- 5) Determinación de parámetros del arreglo para adquisición SEA



# Ejemplo: determinación de la orientación de cañerías a partir de una sola línea de sondeo

Procedimiento:

1) Adquisición SO

2) Identificación del objetivo

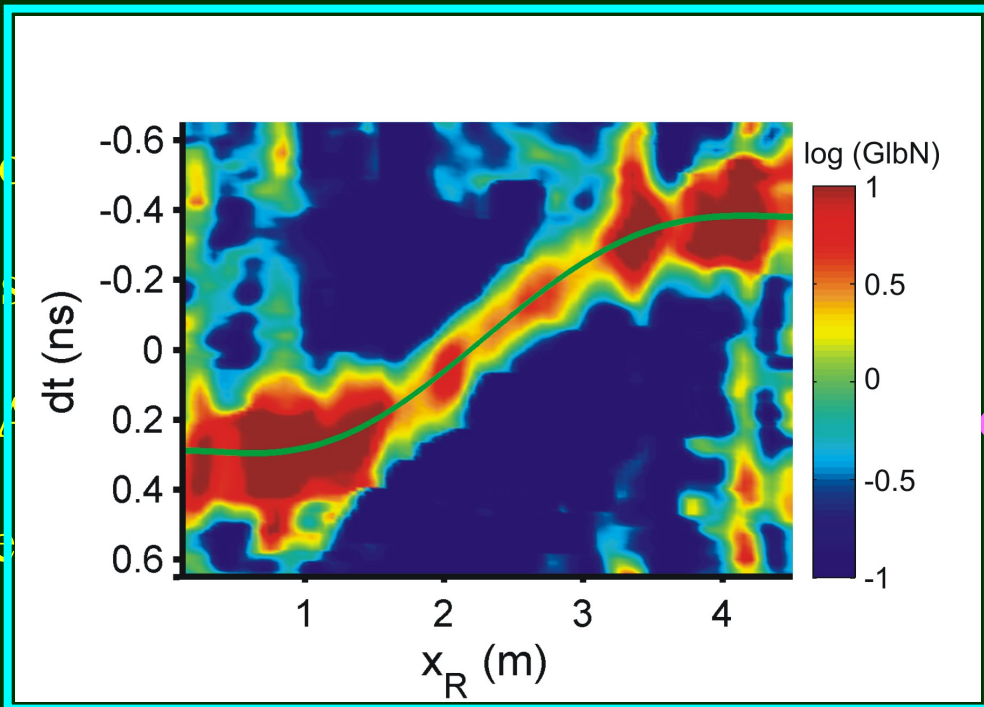
3) Estimación de parámetros

4) Simulación numérica SEA

5) Determinación de parámetros

6) Adquisición SEA

7) Determinación de parámetros del arreglo que optimizan los resultados



# Ejemplo: determinación de la orientación de cañerías a partir de una sola línea de sondeo

Procedimiento:

1) Adquisición SO

2) Identificación del objetivo

3) Esti

4) Sim

5) Det

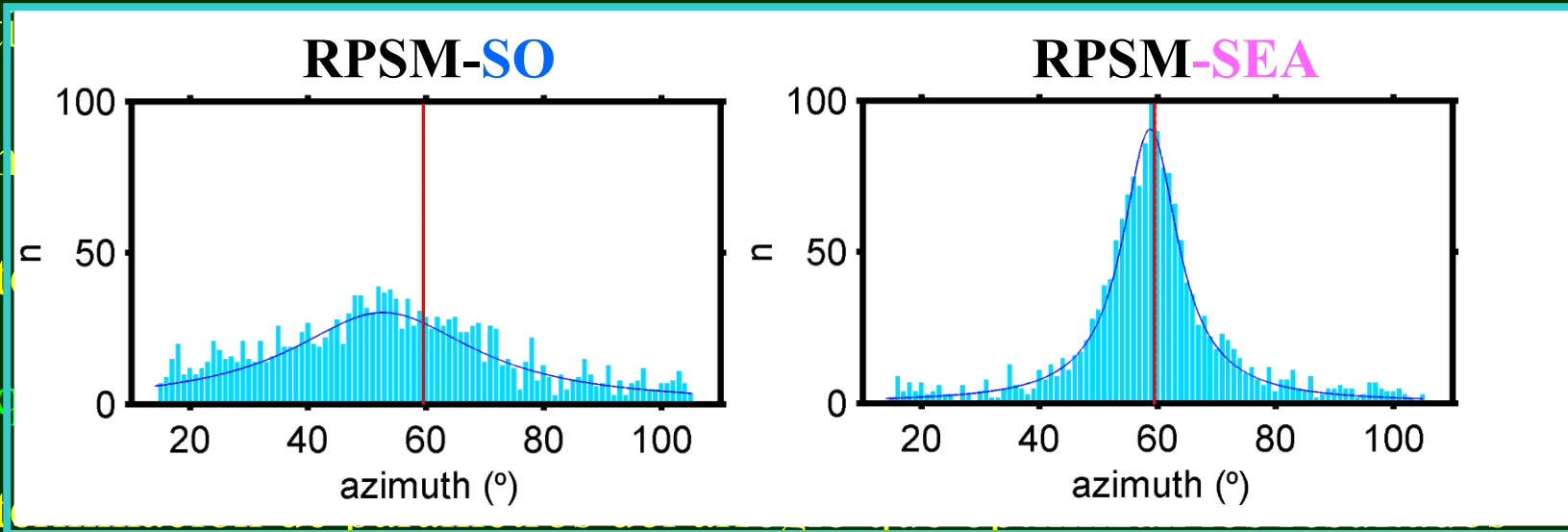
6) Ad

7) Det

8) Resultados de la aplicación

Mejoras promedio (para diferentes ángulos y tipos de suelo y caño):

- 32 % en el ángulo ( $\Delta\theta < 3^\circ$ )
- 21 % ancho ( $\Delta\sigma < 7^\circ$ )

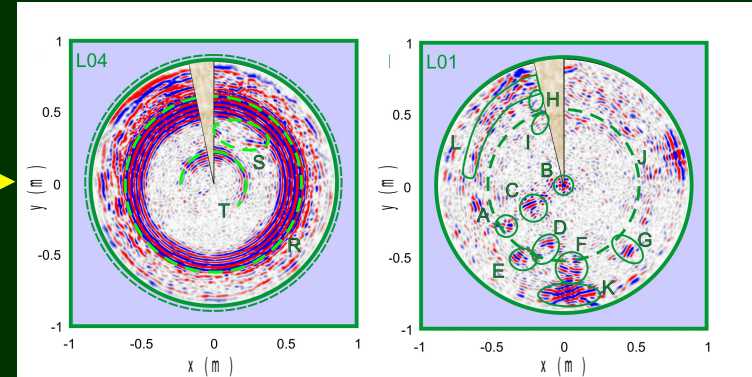




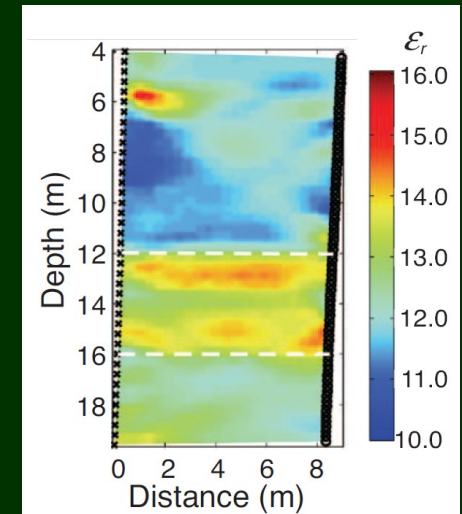
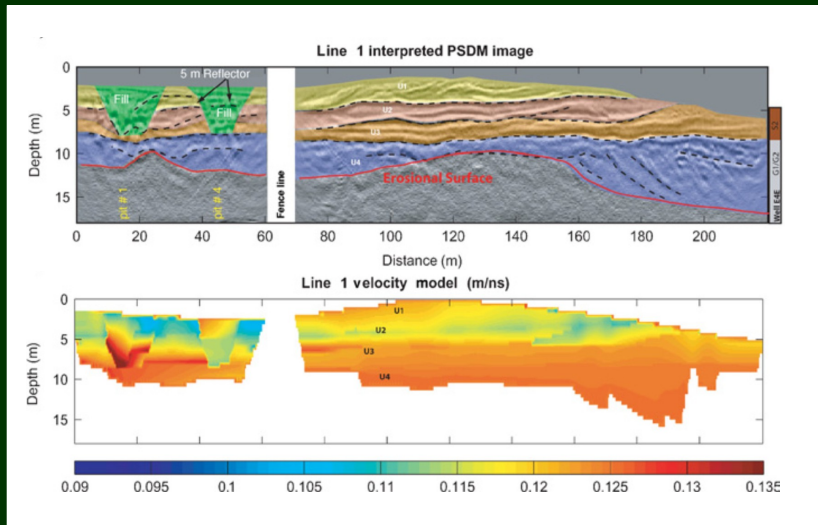
# Metodologías multioffset – Características

## 1) Mejoras en la relación de amplitudes primaria vs. secundaria y ruido

Arreglos 1D y 2D de E/R  
Geometrías no convencionales

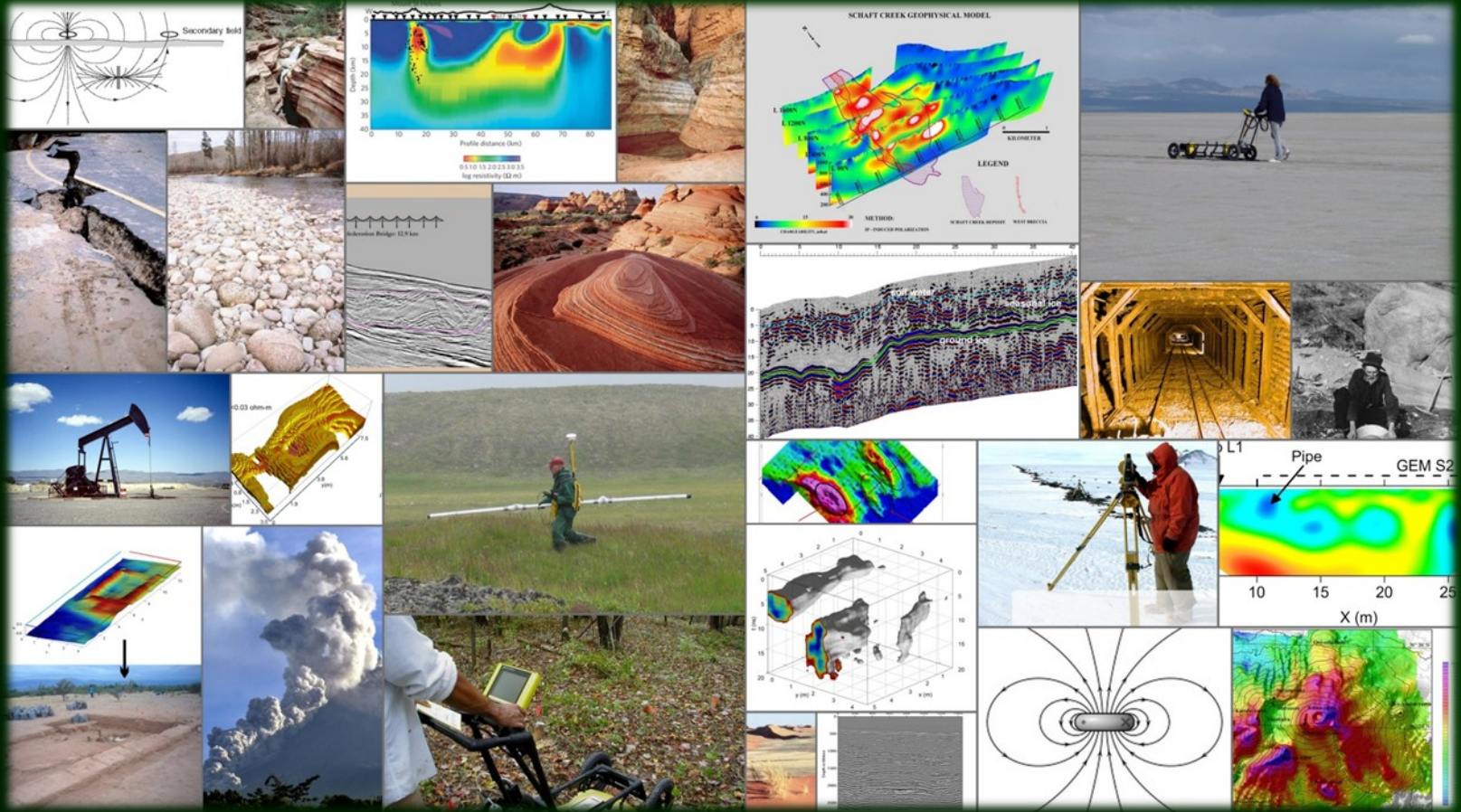


## 2) Mejoras en las resoluciones H/V de perfiles de velocidad



## 3) Permiten implementar metodologías de inversión

# Muchas gracias por tu atención



[www.gaia.df.uba.ar](http://www.gaia.df.uba.ar)

# Grupo de Geofísica Aplicada y Ambiental (GAIA)

Departamento de Física, FCEyN, UBA -  
IFIBA, CONICET

## Investigadores

Ana Osella  
Patricia Martinelli  
Victoria Bongiovanni  
Vivian Grunhut  
Matías de la Vega  
Néstor Bonomo

## Becarios

Darío Bullo  
Pablo Bordón  
Luciano Onnis

[www.gaia.df.uba.ar](http://www.gaia.df.uba.ar)

# Métodos Utilizados en el GAIA

- **Georradar (GPR):** Las señales son ondas EM con frecuencias principales entre 100 y 1000 MHz y la profundidad de penetración alcanzada es de algunos metros
- **Inducción electromagnética espira-espira, multifrecuencial (SLEM o EMI):** Las señales tienen frecuencias entre 300 Hz y 50 kHz. Puede penetrar hasta decenas de metros
- **Geoeléctrica:** Este método emplea corriente continua. Se cuenta con equipos para estudios de profundidad baja (hasta metros) y mediana (cientos de metros)
- **Sísmica de reflexión superficial:** Las señales son ondas elásticas. Penetración entre metros y decenas de metros, dependiendo del equipo

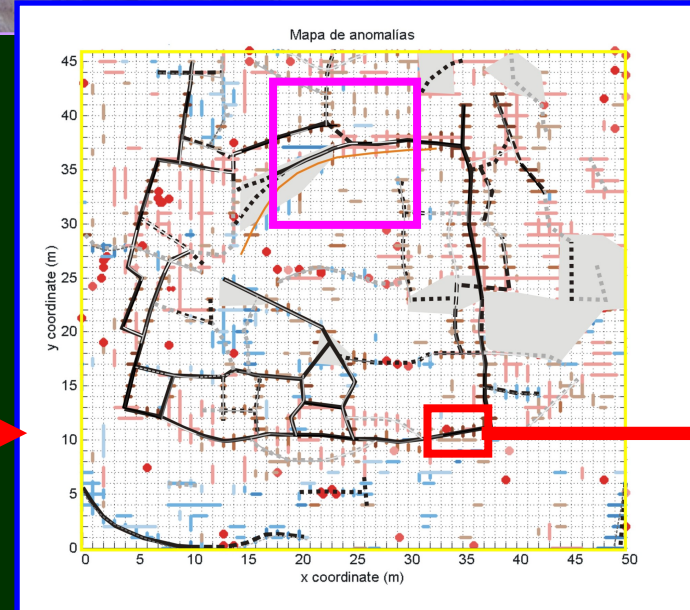
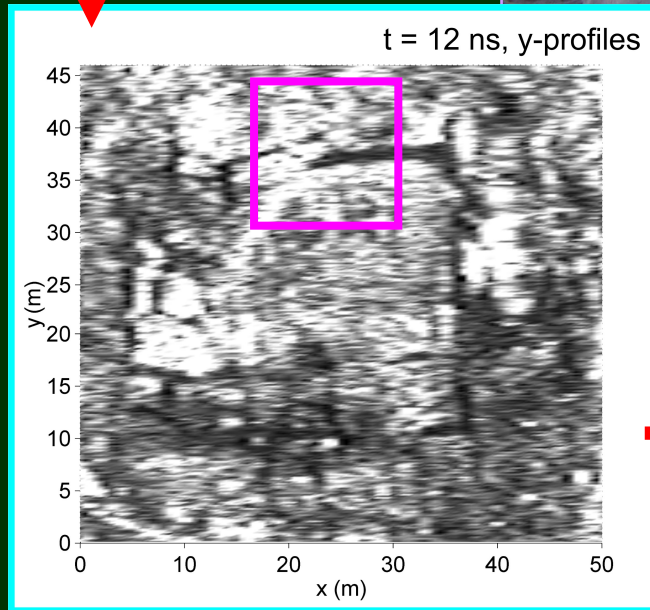


# Aplicaciones: Arqueología

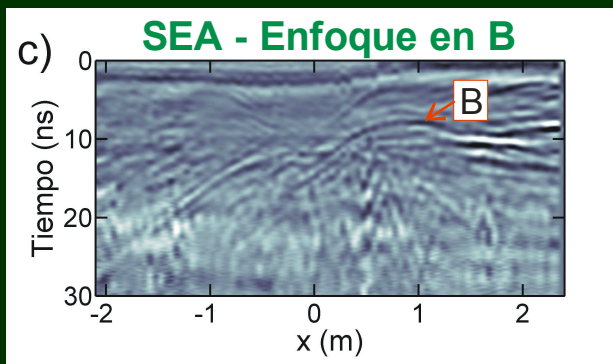
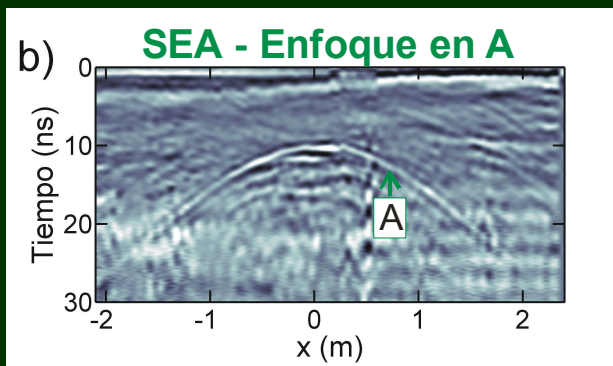
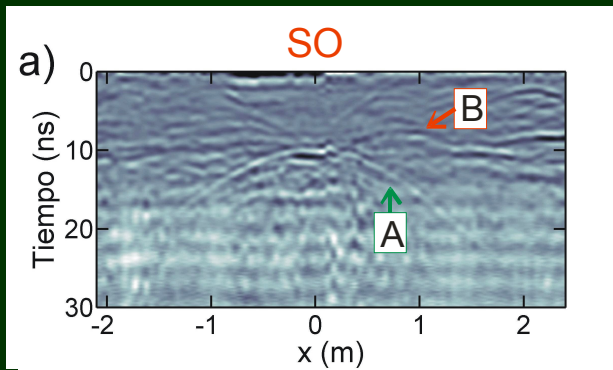
## Detección y mapeo de estructuras PB-NH6 (40 AC – 880 DC)



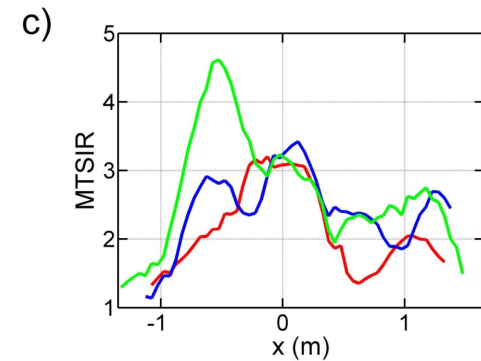
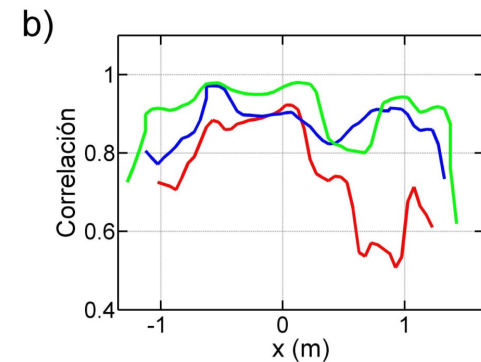
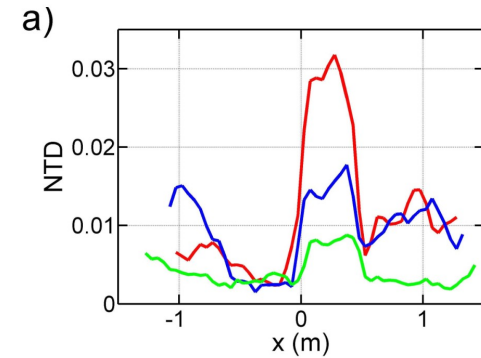
¿Discontinuidad en el muro?



# Ejemplo: análisis de un perfil adquirido en un sitio arqueológico

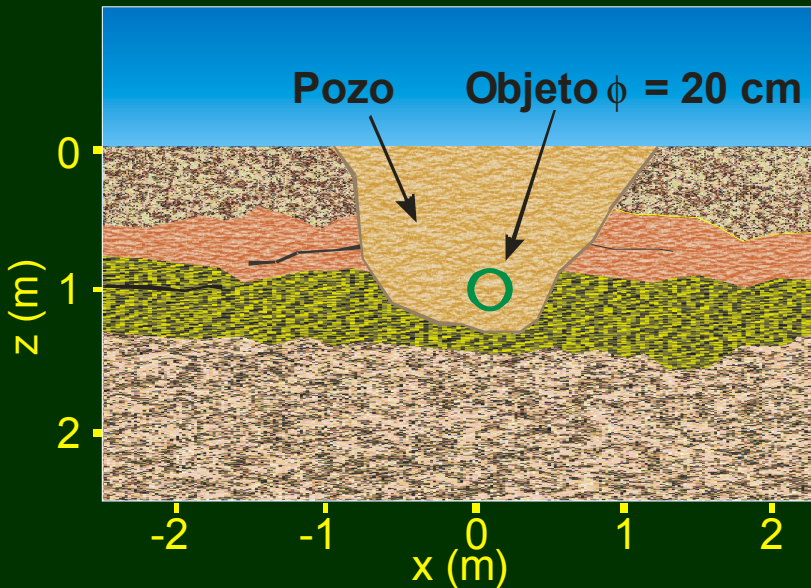
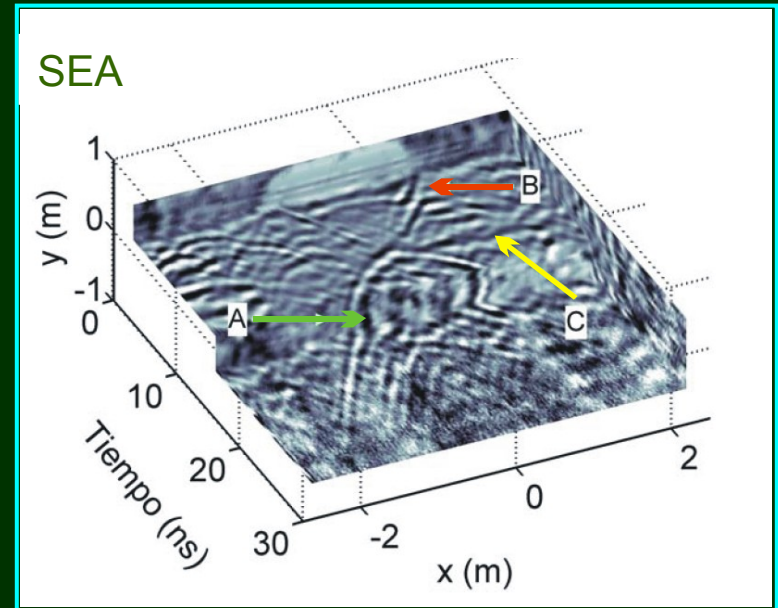
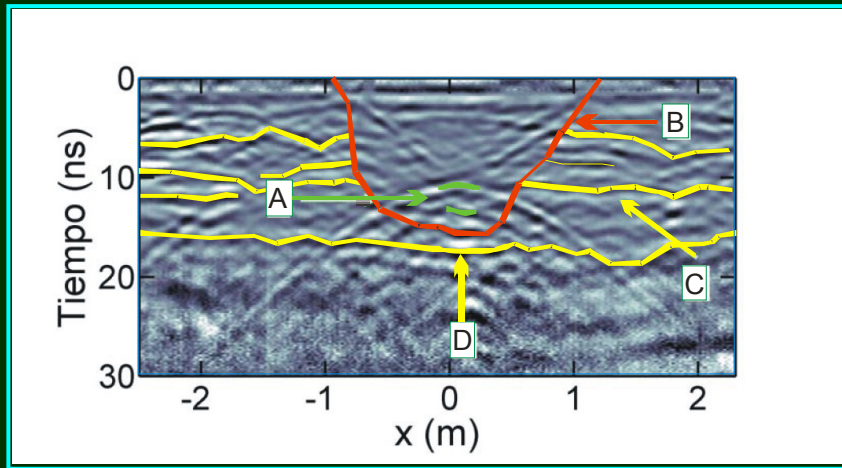


— SEA — SO — CMP



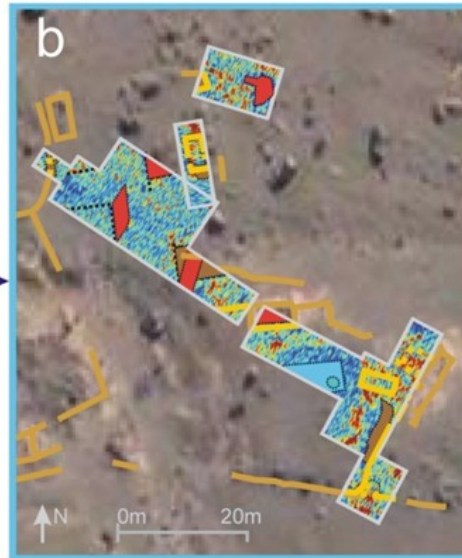


# Ejemplo: análisis de un perfil adquirido en un sitio arqueológico



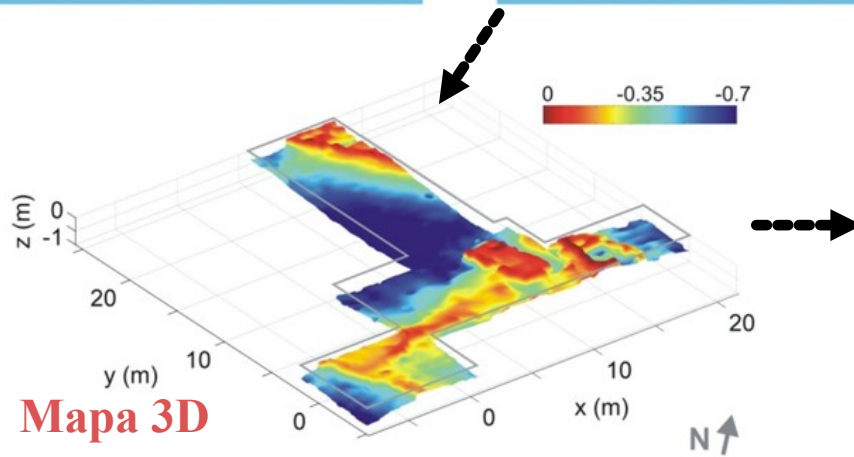
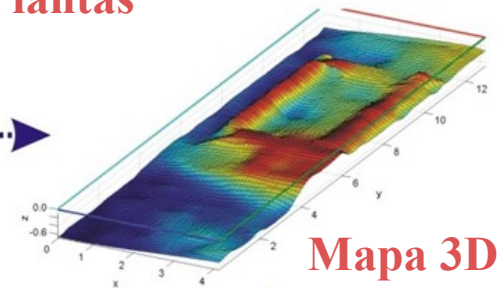
# Aplicaciones: Arqueología

## Detección y mapeo de estructuras BT-E (s. 14- s. 16)



GPR: mapeo de estructuras enterradas

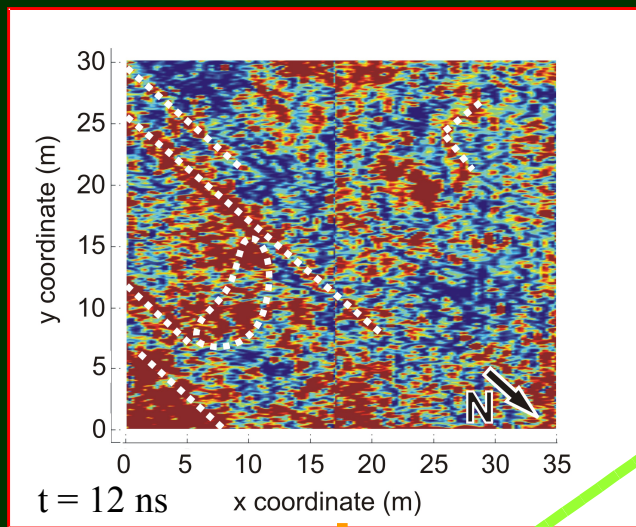
Plantas





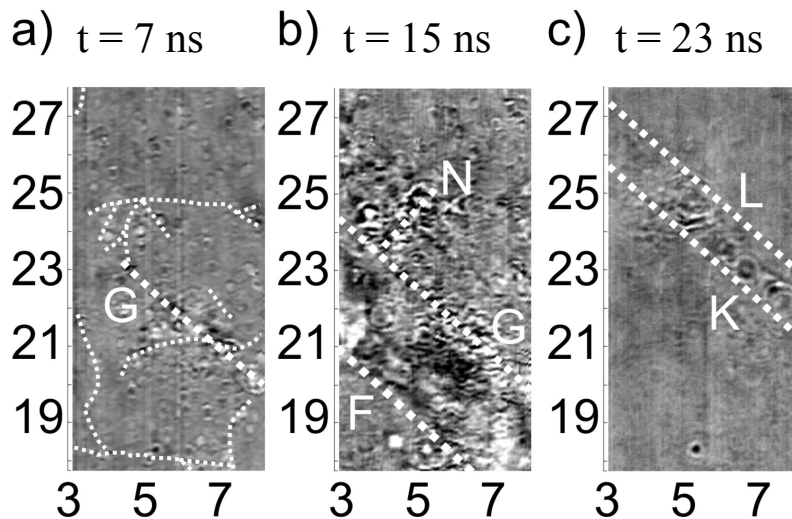
# Aplicaciones: Arqueología

## Detección y mapeo de estructuras Fuerte Sancti Spiritus (1527–1529)

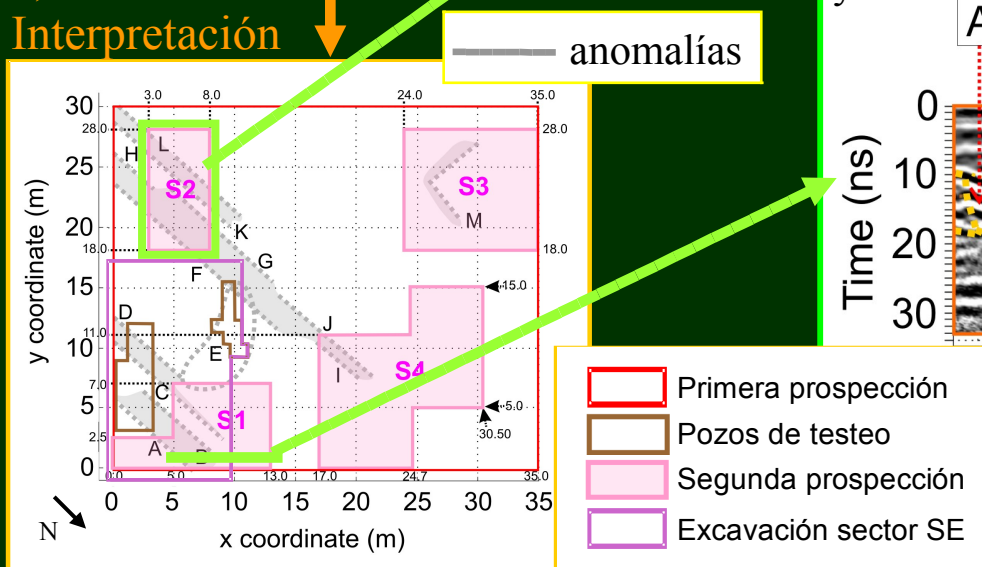


1) Plantas primera prospección

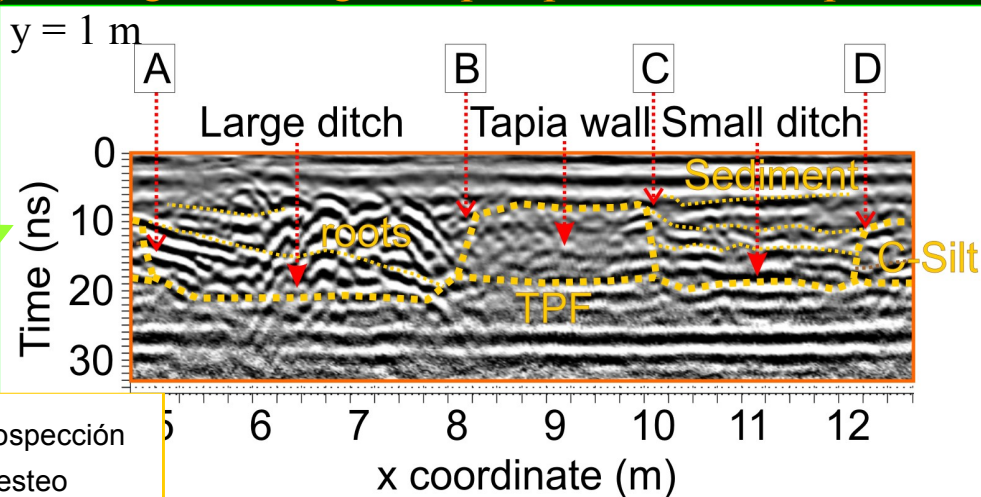
### 3) Plantas segunda prospección



### 2) Anomalías - Interpretación



### 3) Radargramas segunda prospección - Interpretación





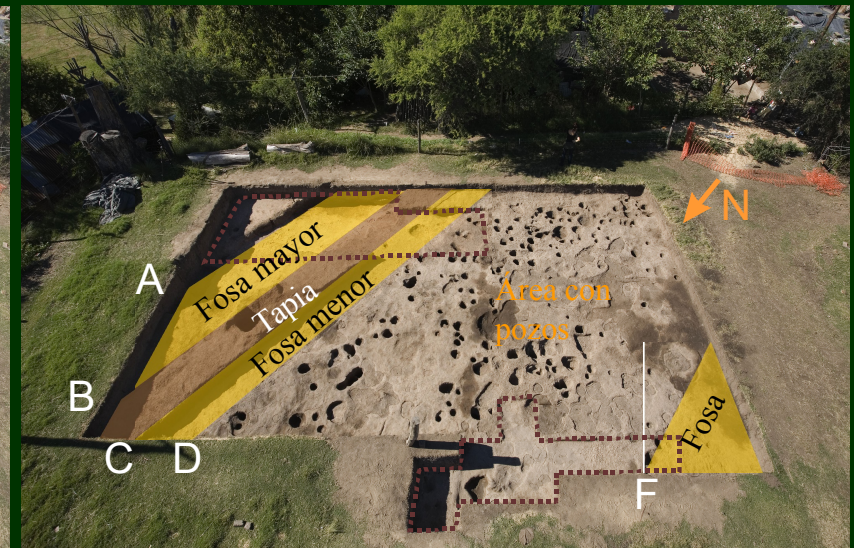
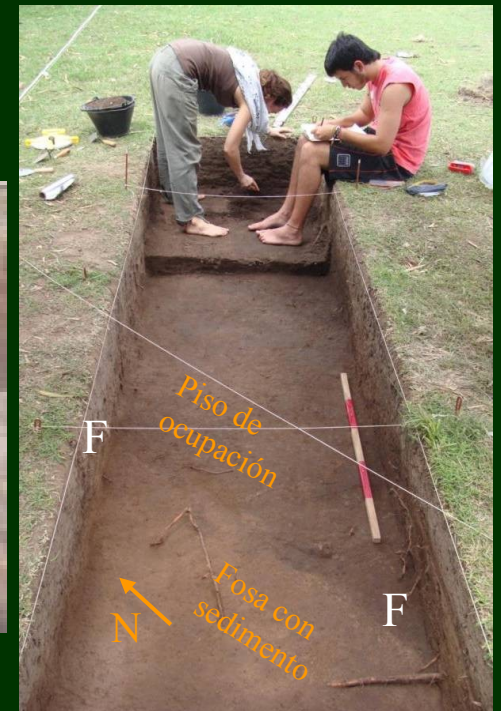
# Aplicaciones: Arqueología

## Detección y mapeo de estructuras

### Fuerte Sancti Spiritus (1527-1529)



Pozos de testeo



Excavación del sector SE