Separación Ciega de Fuentes aplicado en el Transporte de Señales

Dr. Ingo R. Keck

Congreso Internacional de Informática y Telecomunicaciones

Pasto, Colombia. Octubre 24 al 26 de 2007

Contenido

- Transporte de señales
- Separación Ciega de Señales (*BSS*)
- Ejemplos
- Conclusiones

Contenido

- **Transporte de señales**
  - Qué son señales?
  - Qué significa transporte, mezcla, ruido, etc?
- Separación ciega de señales (*BSS*)
- Ejemplos
- Conclusiones

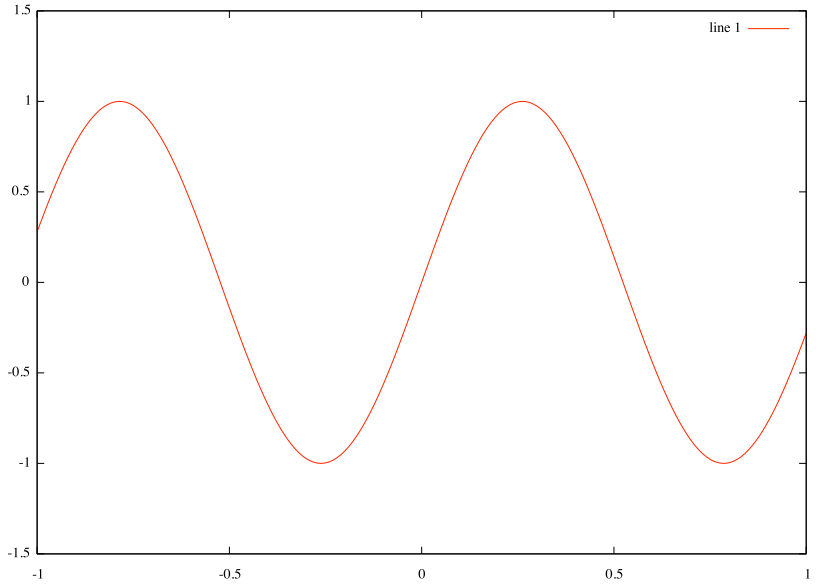
Transporte de Señales

Señales

- Qué son señales?

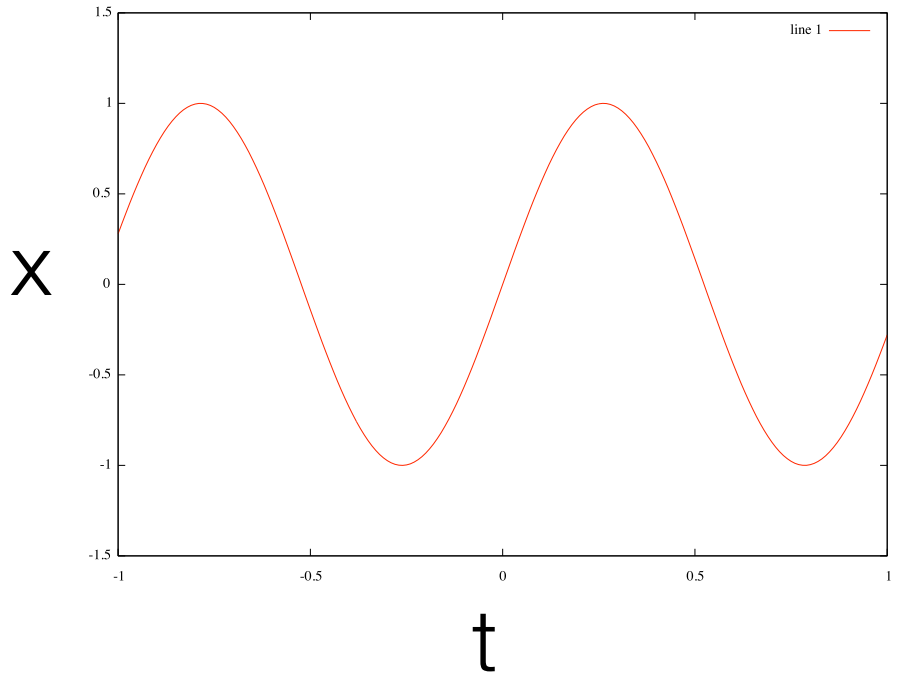
Señales

- Qué son señales?



Señales

- Qué son señales?



Señales

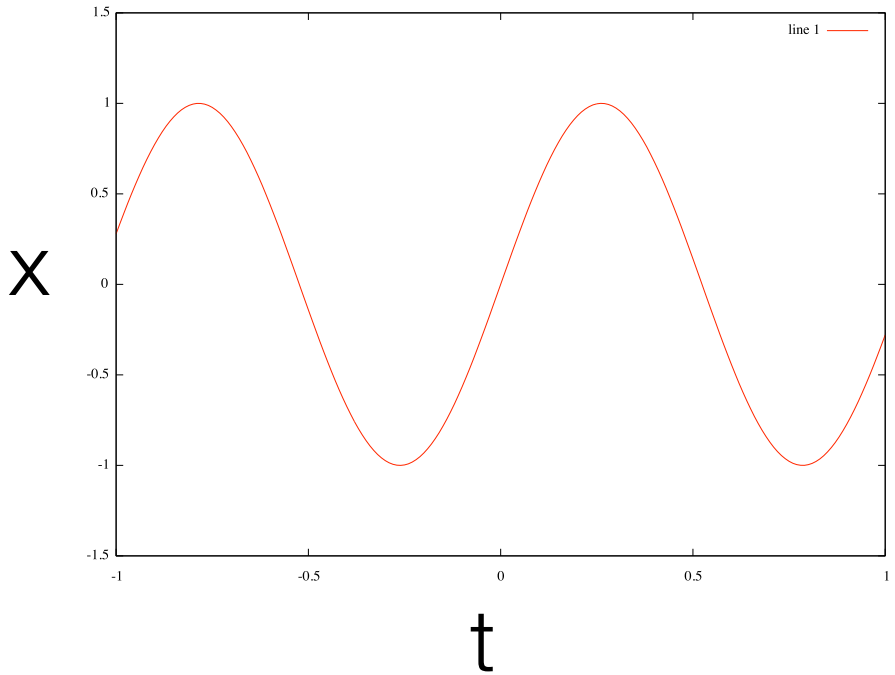
- Qué son señales?

- Matemática:

  - Variables aleatorias $x(r,t), \vec{x}(t)$

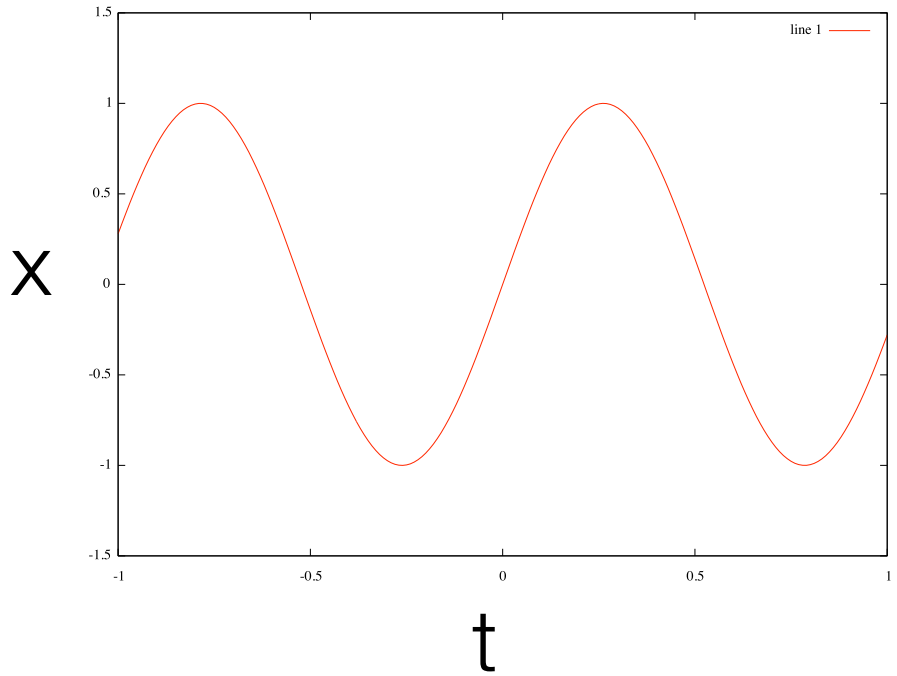
  - Probabilidad $p(x)$

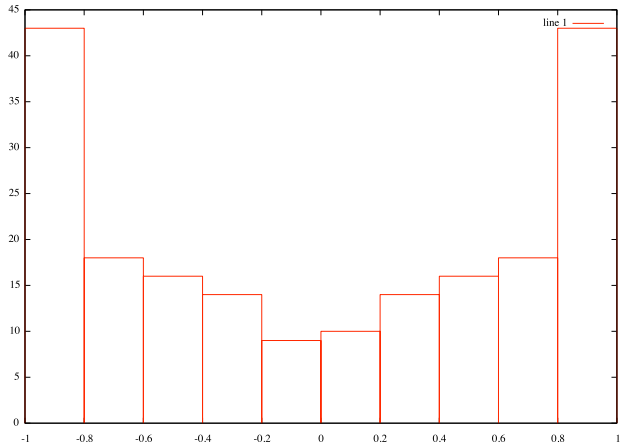
  - Distribución $P(x)$



Señales

- Qué son señales?
- Matemática:
  - Variables aleatorias $x(r,t), \vec{x}(t)$
  - Probabilidad $p(x)$
  - Distribución $P(x)$





Transporte de Señales

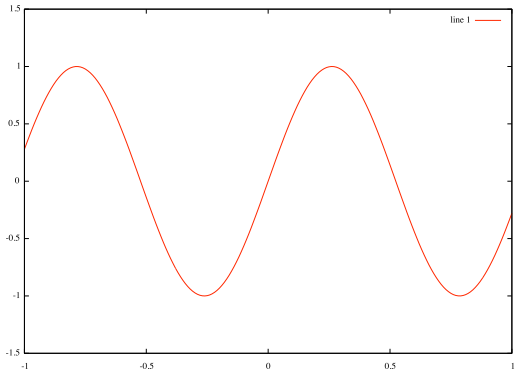
- Qué pasa en el transporte?

Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
    - las señales se mezclan

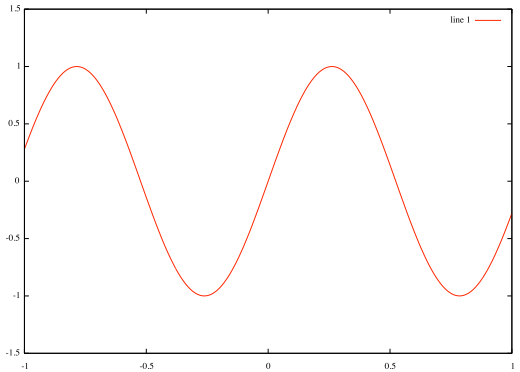
Transporte de Señales

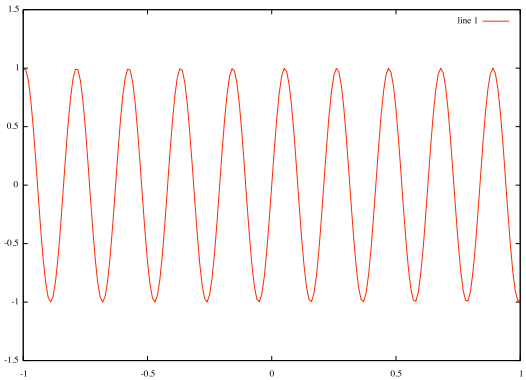
- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan



Transporte de Señales

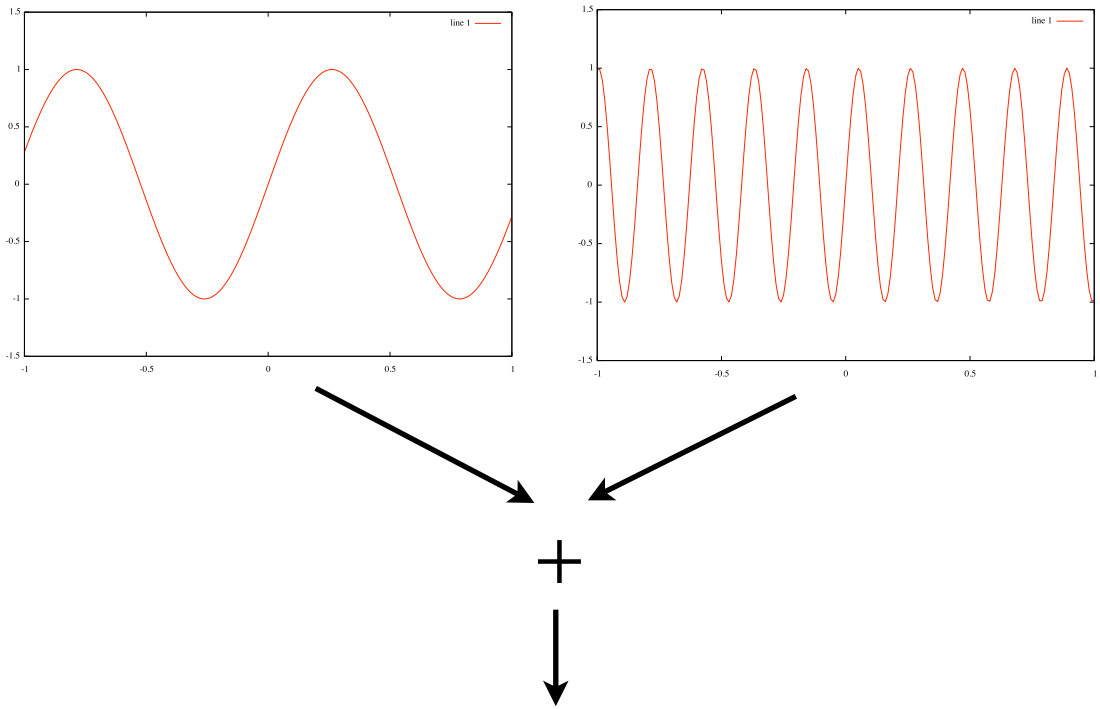
- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan





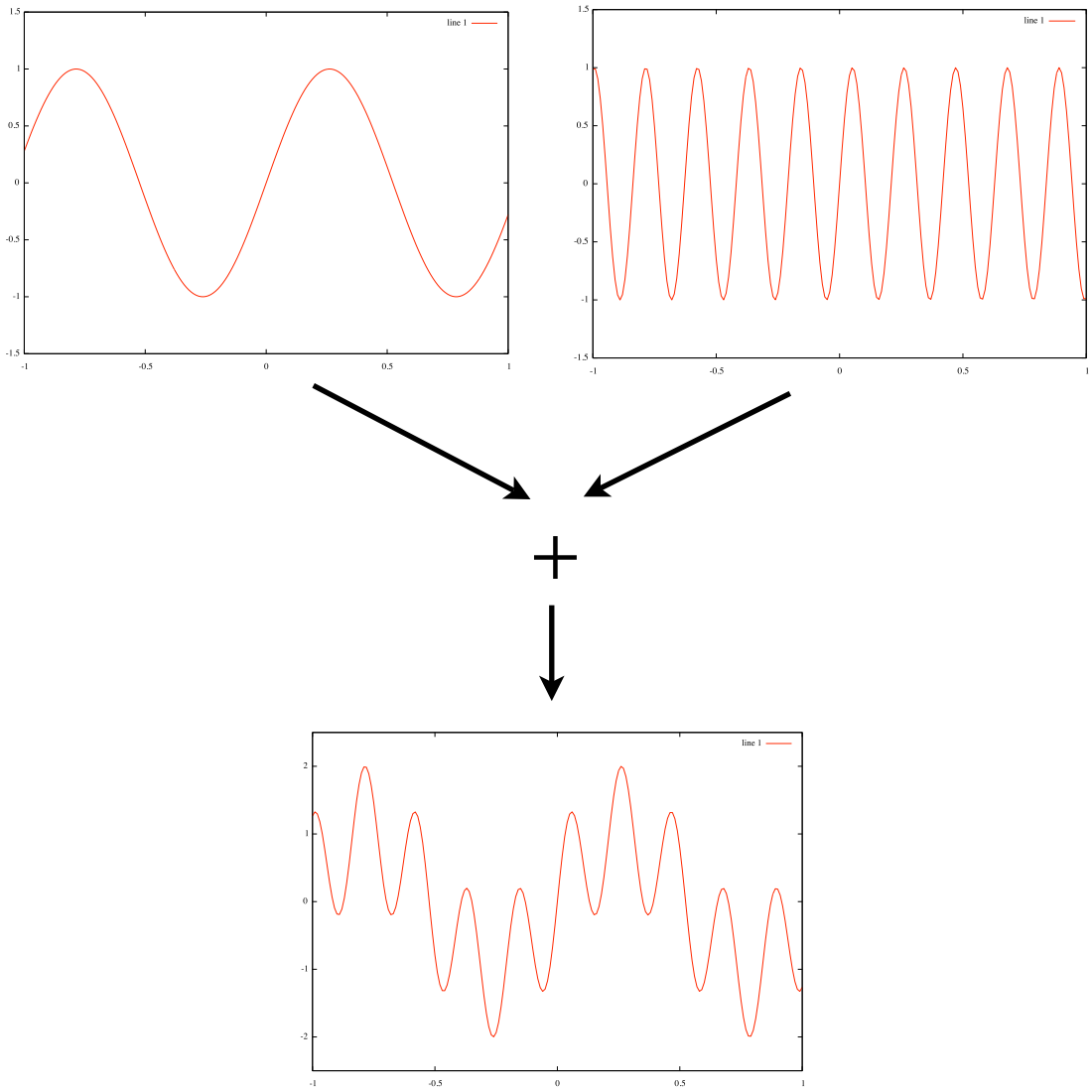
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan



Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan

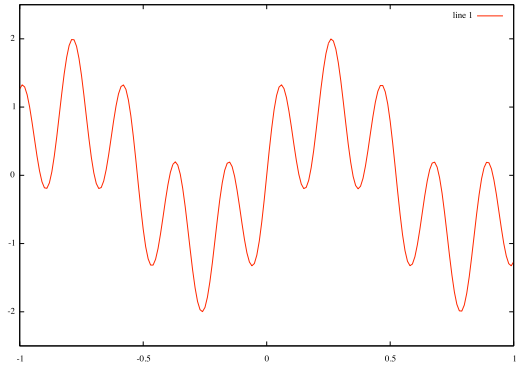


Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
    - las señales se mezclan
    - entra ruido

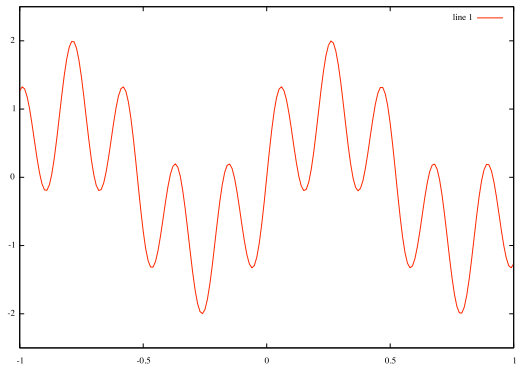
Transporte de Señales

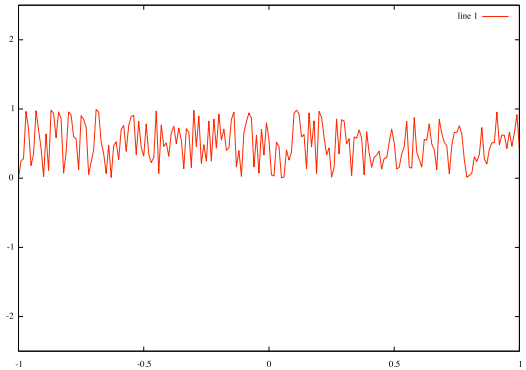
- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido



Transporte de Señales

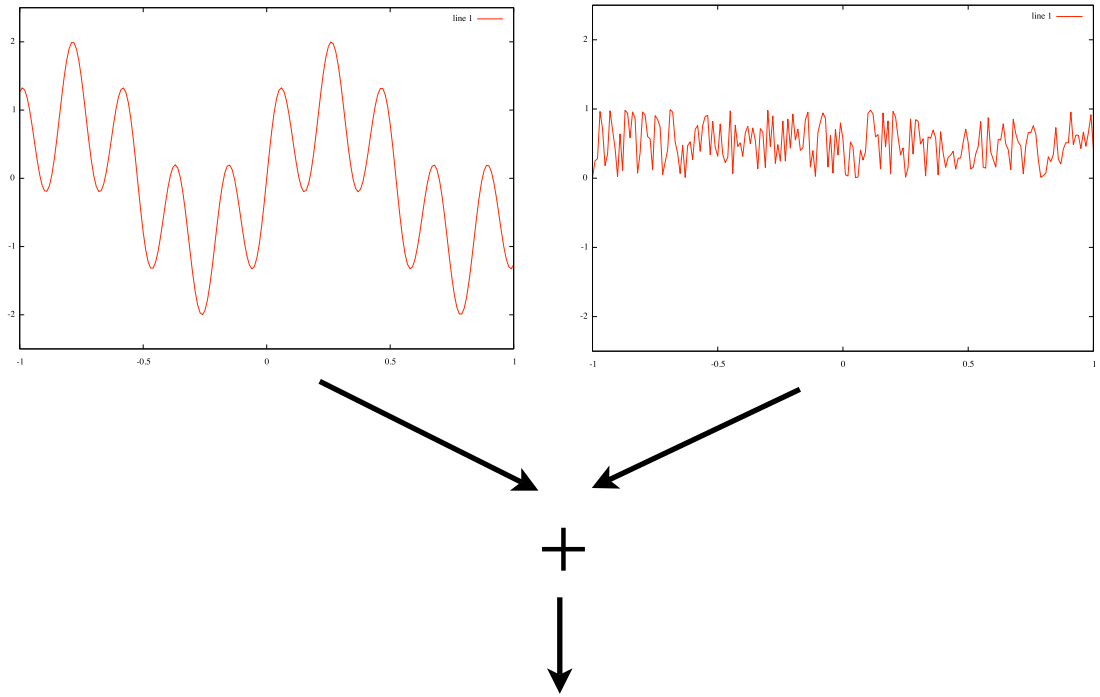
- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido





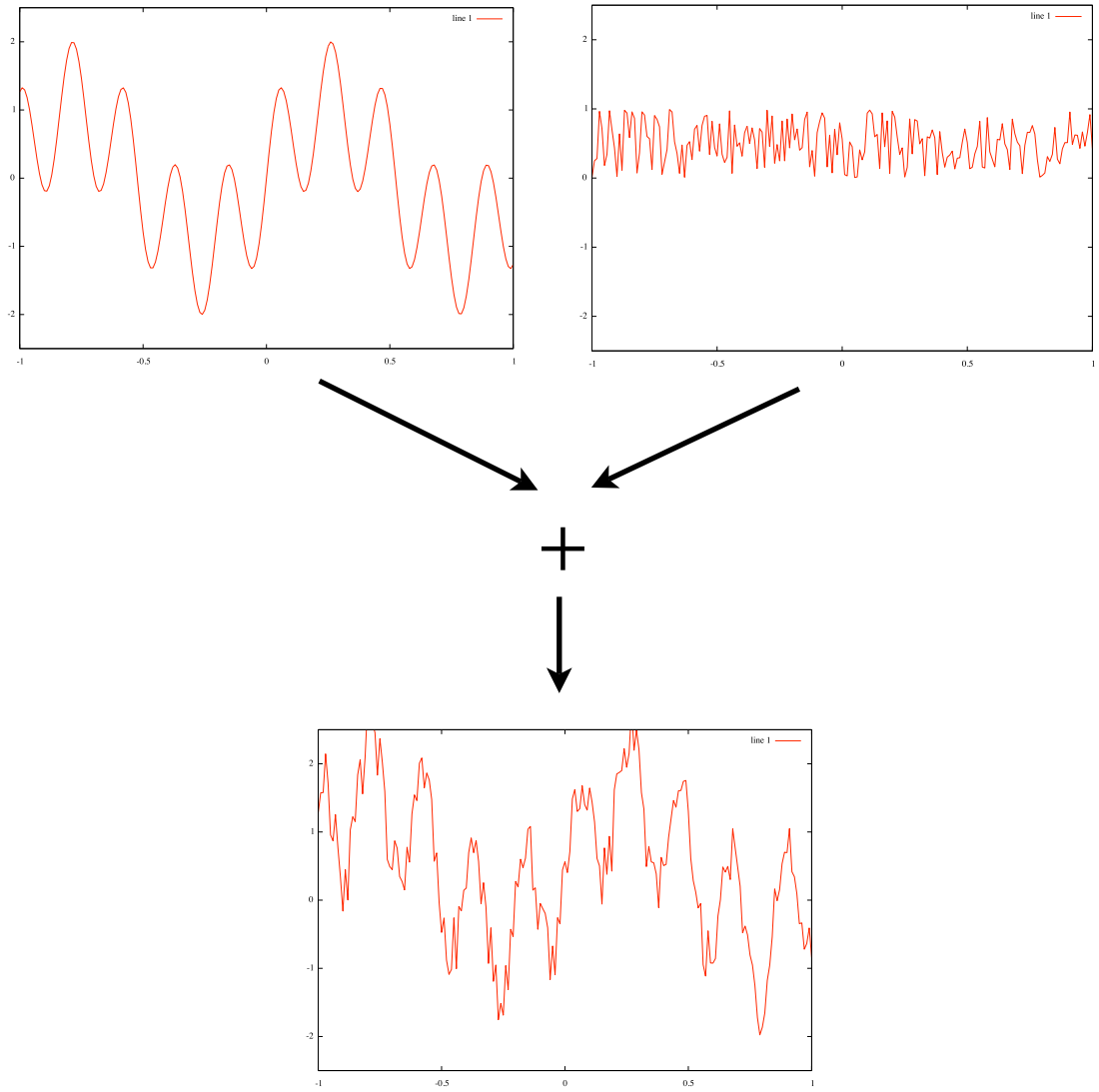
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido



Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido



Transporte de Señales

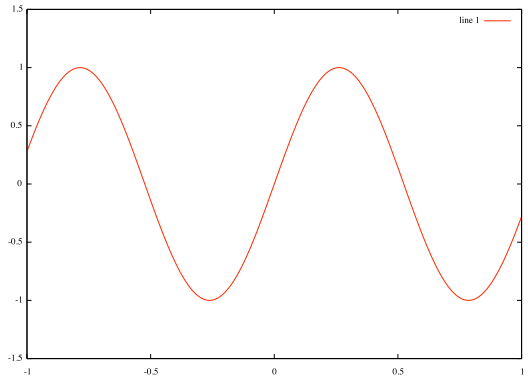
- Qué pasa en el transporte?
    - las señales se mezclan
    - entra ruido
    - transformaciones

Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal

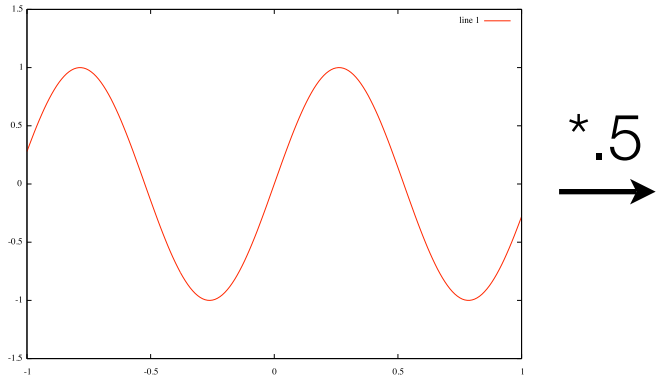
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal



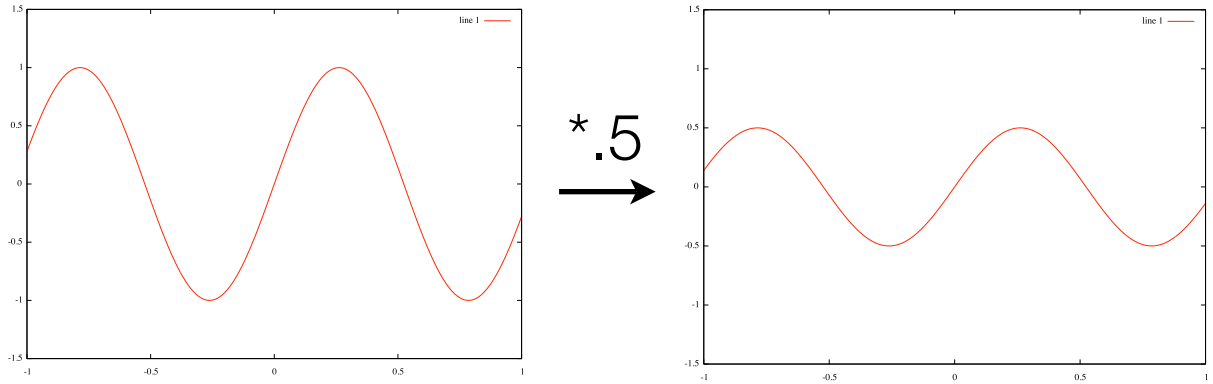
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal



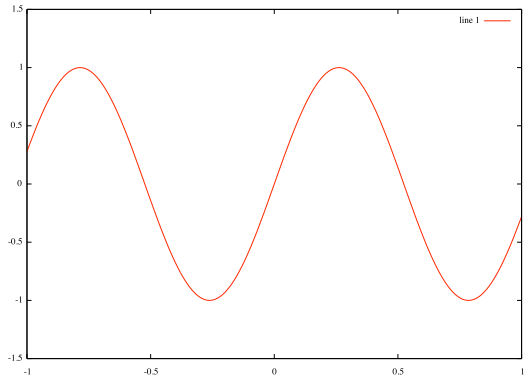
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal



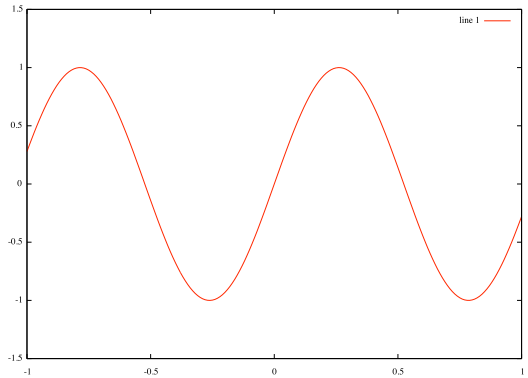
Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal
    - no lineal



Transporte de Señales

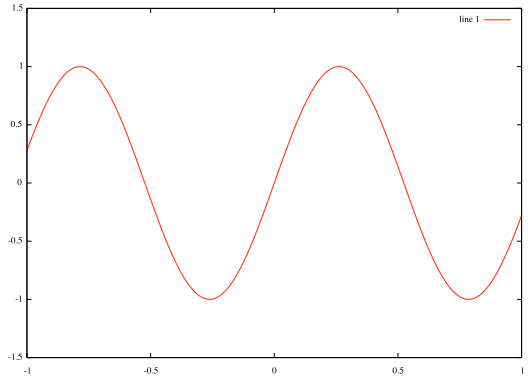
- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal
    - no lineal



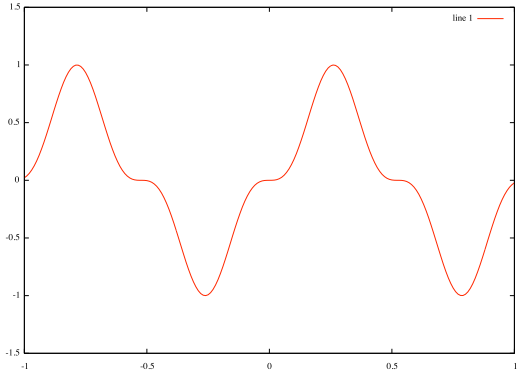
^3 →

Transporte de Señales

- Qué pasa en el transporte?
  - las señales se mezclan
  - entra ruido
  - transformaciones
    - lineal
    - no lineal



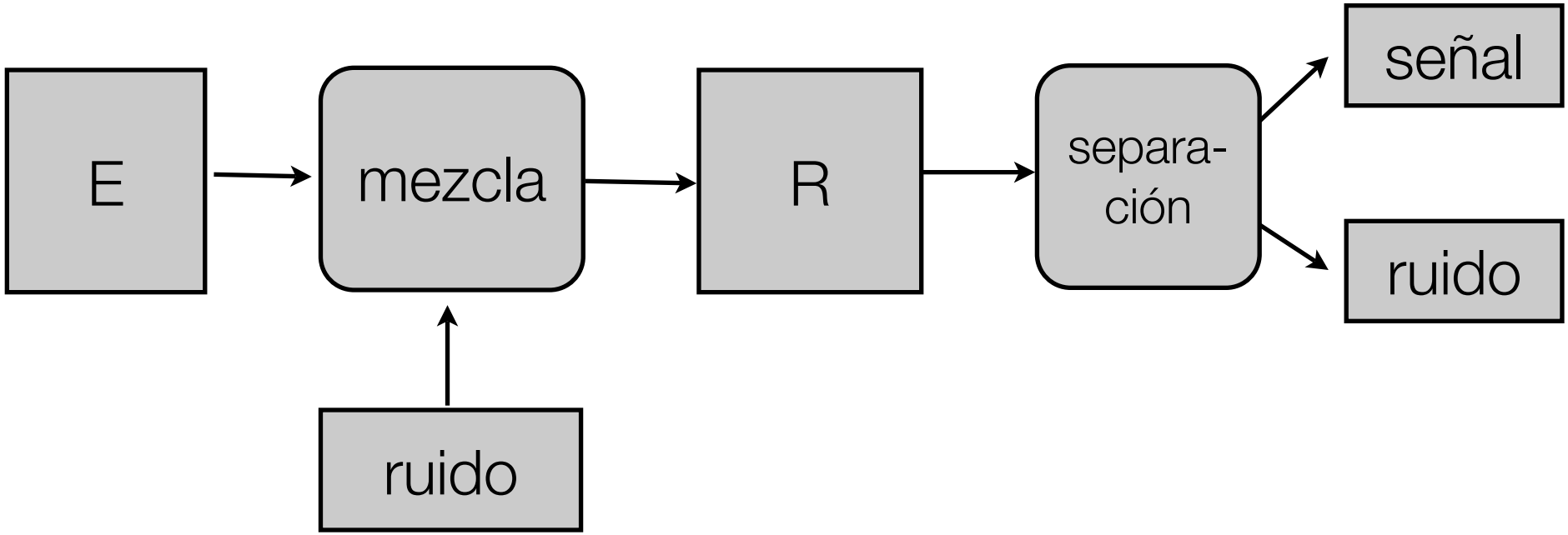
^3 →



Transporte de Señales

- Transporte = Mezcla

- Entonces: Recepción = Separación.



Cómo separar la información sino conocemos las señales originales?

Separación **Ciega** de Señales

Contenido

- Transporte de señales
- **Separación ciega de señales (*BSS*)**
  - Por qué ciega?
  - Características típicas de señales
  - PCA e ICA
- Ejemplos
- Conclusiones

Separación ciega de fuentes (blind source separation)

Separación ciega de fuentes (blind source separation)

- Por qué ciega?

Separación ciega de fuentes (blind source separation)

- Por qué ciega?
  - Separación sin conocer las señales

Separación ciega de fuentes (blind source separation)

- Por qué ciega?
  - Separación sin conocer las señales
  - Separación sin conocer la matriz de mezcla

Separación ciega de fuentes (blind source separation)

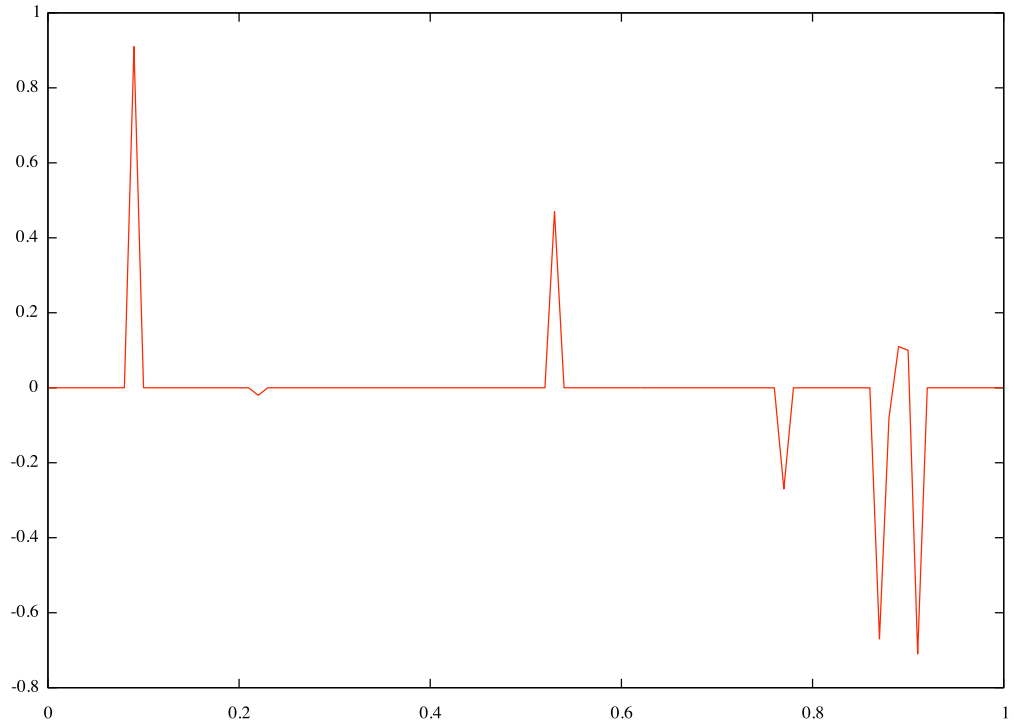
- Por qué ciega?
  - Separación sin conocer las señales
  - Separación sin conocer la matriz de mezcla
  - X = A * S
    - X: Señales mezcladas
    - A: Matriz de mezcla
    - S: Señales fuentes

Separación “ciega” – ¿pero cómo?

- se necesita información adicional:
  - características de la mezcla:
    - lineal, no lineal?
  - características de las señales fuentes:
    - sparse, non-negativo, correlacionado, independiente…

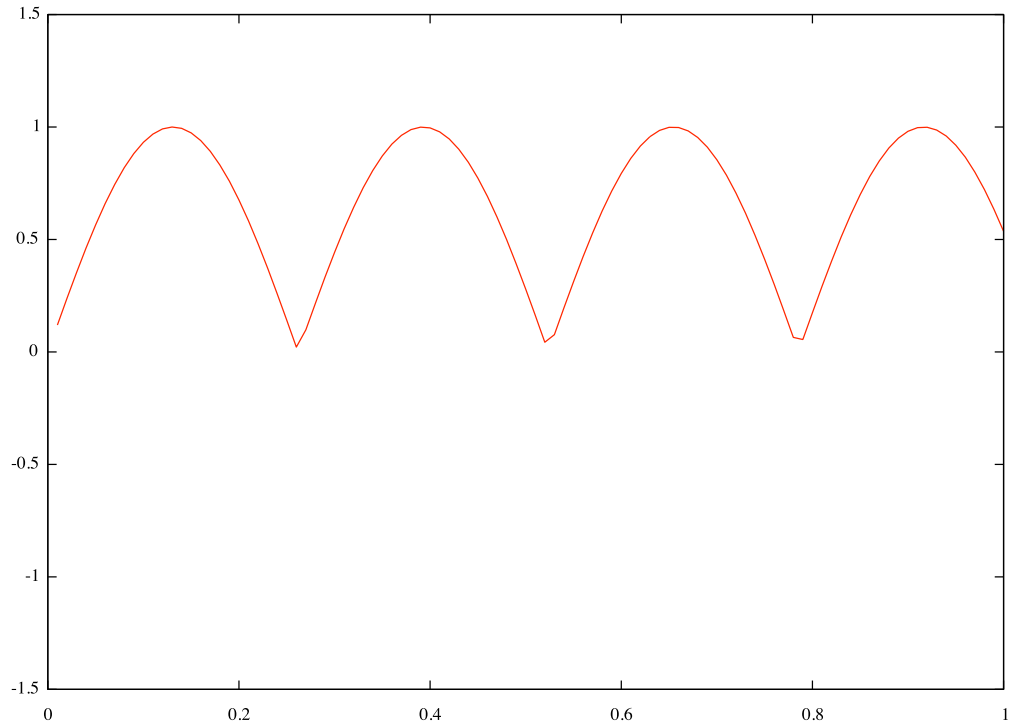
Características de las señales

- las señales son casi siempre cero: análisis de componentes “sparse”



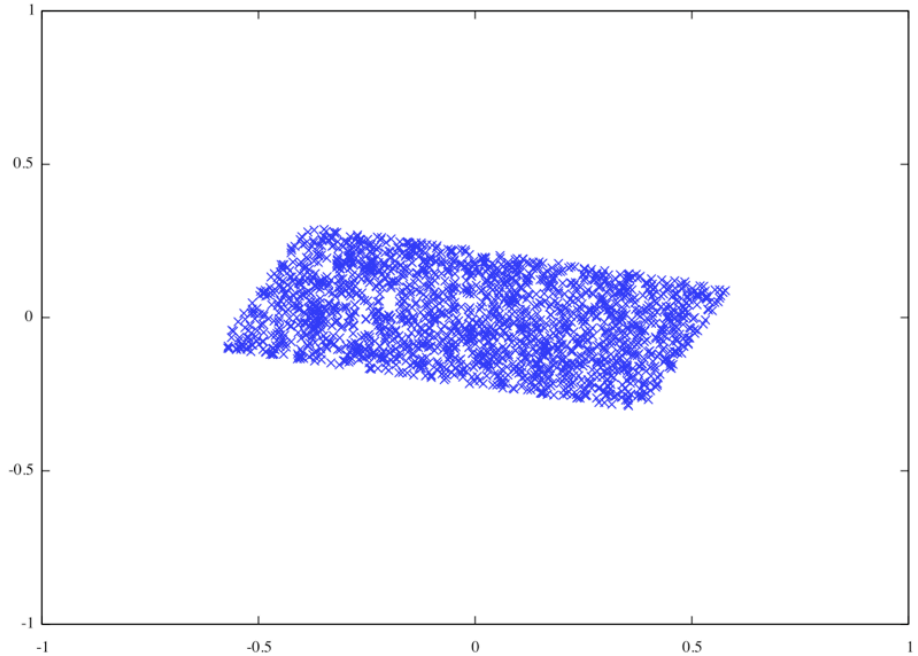
Características de las señales

- mezcla aditiva: “non-negativ matrix factorization”



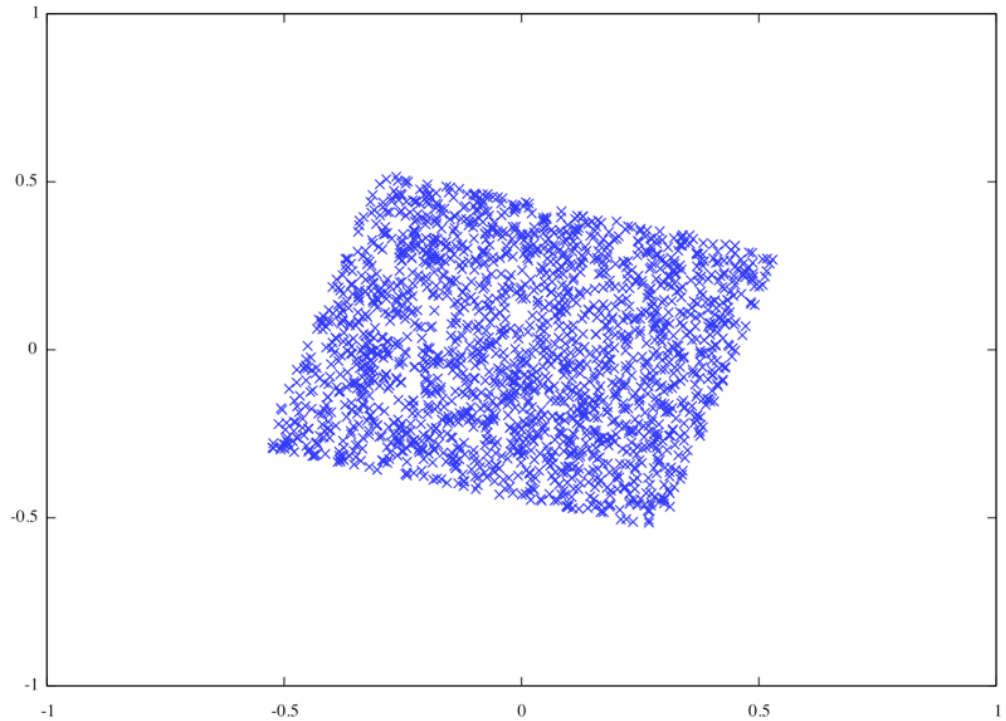
Características de las señales

- las señales son correladas: resultado de una mezcla



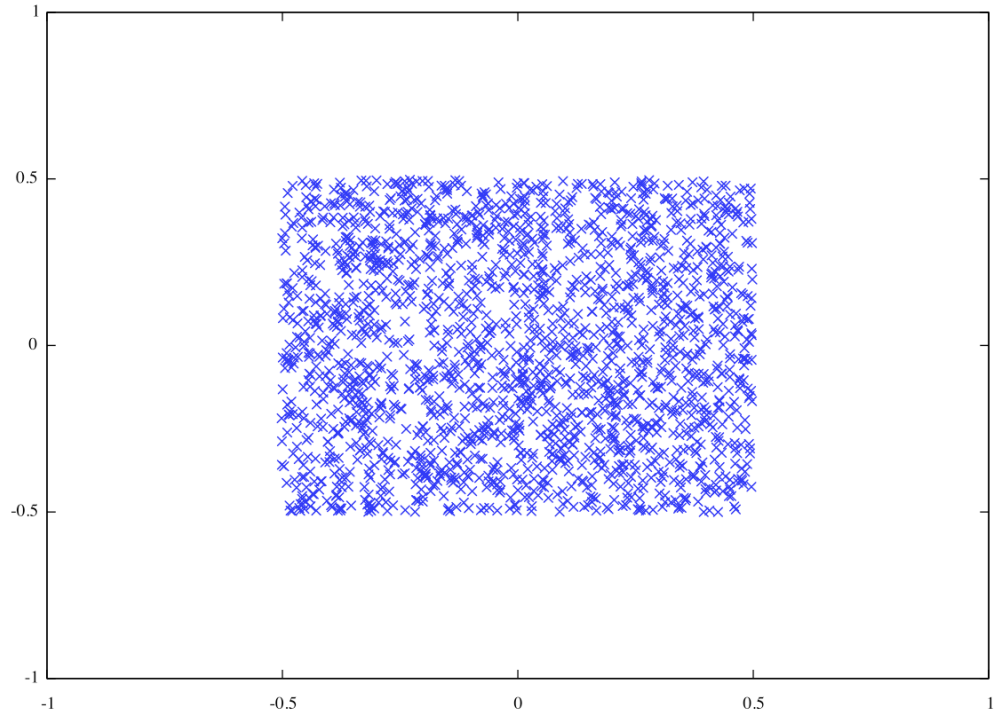
Características de las señales

- las señales son decorreladas: análisis de componentes principales (PCA)



Características de las señales

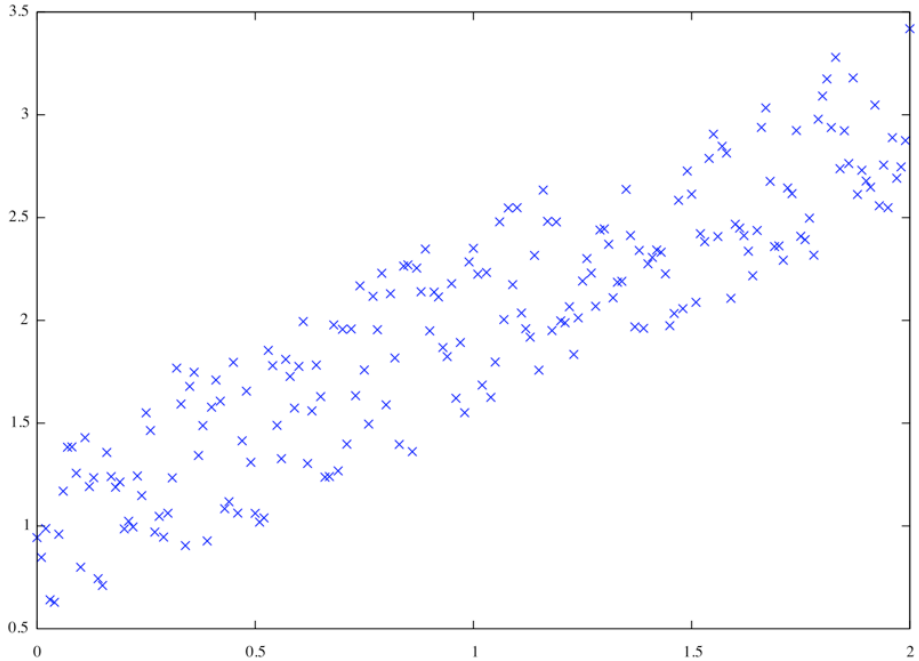
- las señales son estadísticamente independiente: análisis de componentes independientes (ICA)



Fuentes independientes producen señales independientes

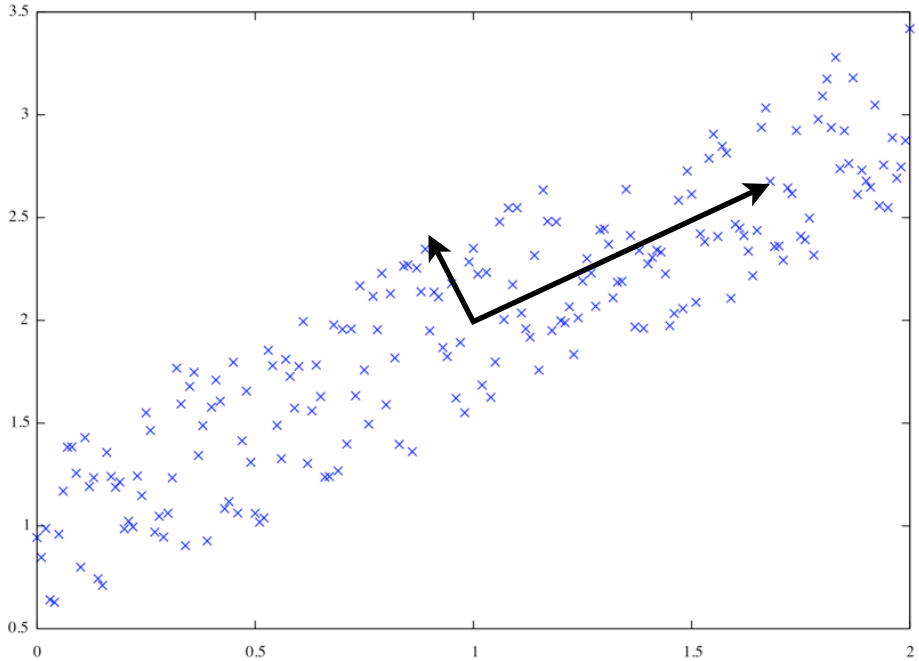
ICA? PCA?

- PCA: “Análisis de Componentes Principales”
    - busca los ejes de la máxima varianza
    - los ejes son ortogonales
    - bien para eliminar el ruido



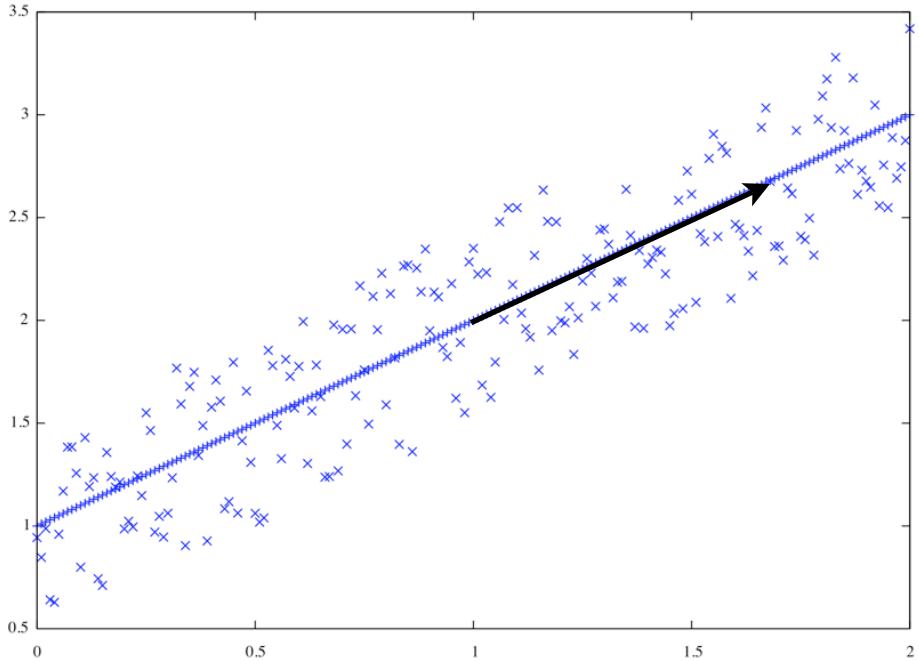
ICA? PCA?

- PCA: “Análisis de Componentes Principales”
    - busca los ejes de la máxima varianza
    - los ejes son ortogonales
    - bien para eliminar el ruido



ICA? PCA?

- PCA: “Análisis de Componentes Principales”
    - busca los ejes de la máxima varianza
    - los ejes son ortogonales
    - bien para eliminar el ruido

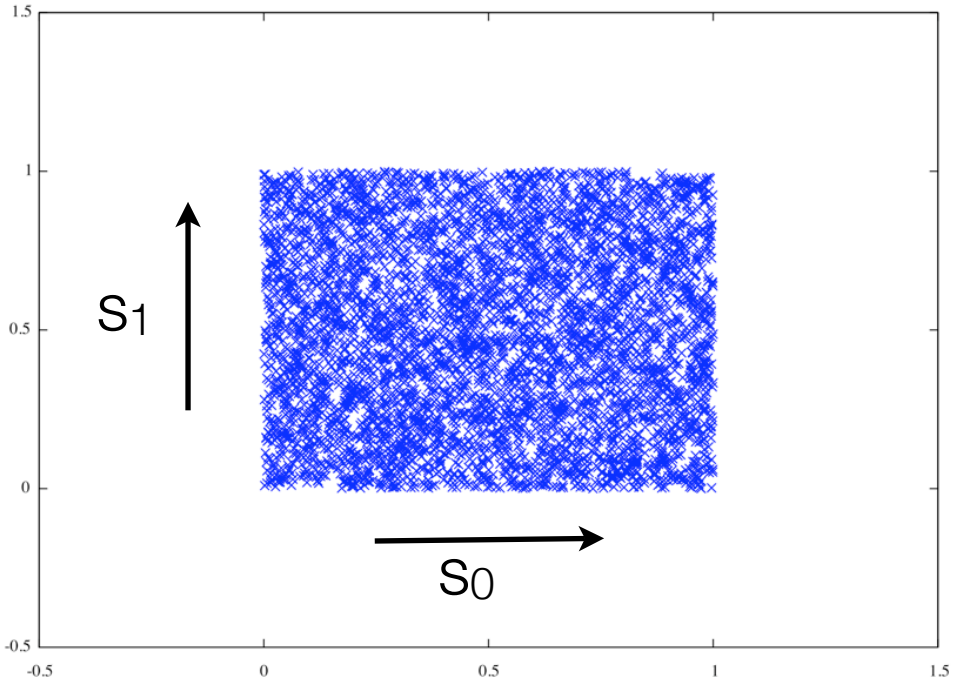


PCA? ICA!

- ICA: “Análisis de Componentes Independientes”
    - busca los ejes de la máxima independencia
    - los ejes no son ortogonales
    - busca diferencias: información

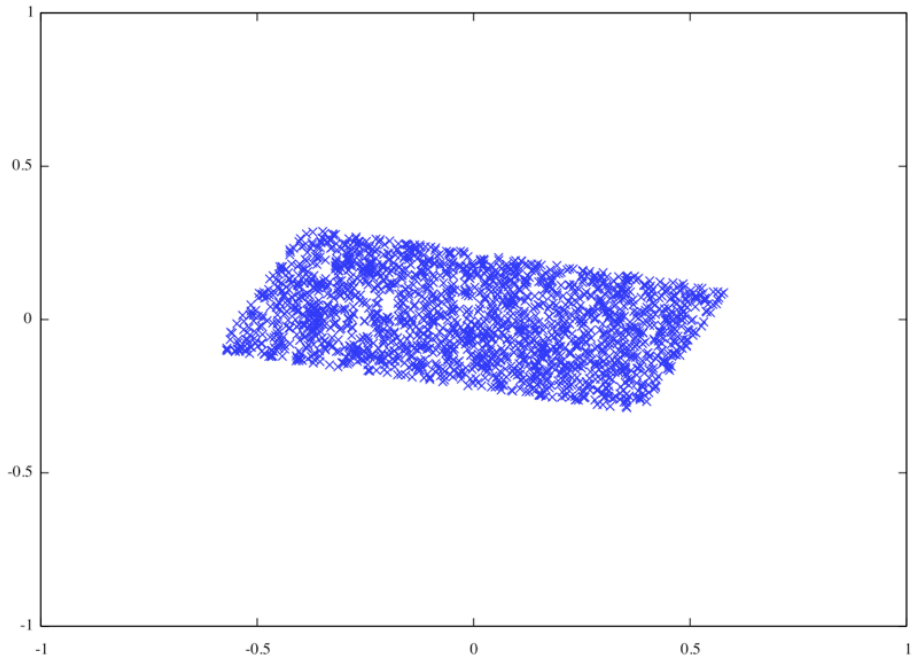
Ejemplo

- Variables aleatorias s0 y s1
- distribución univariante
- independiente estadísticamente

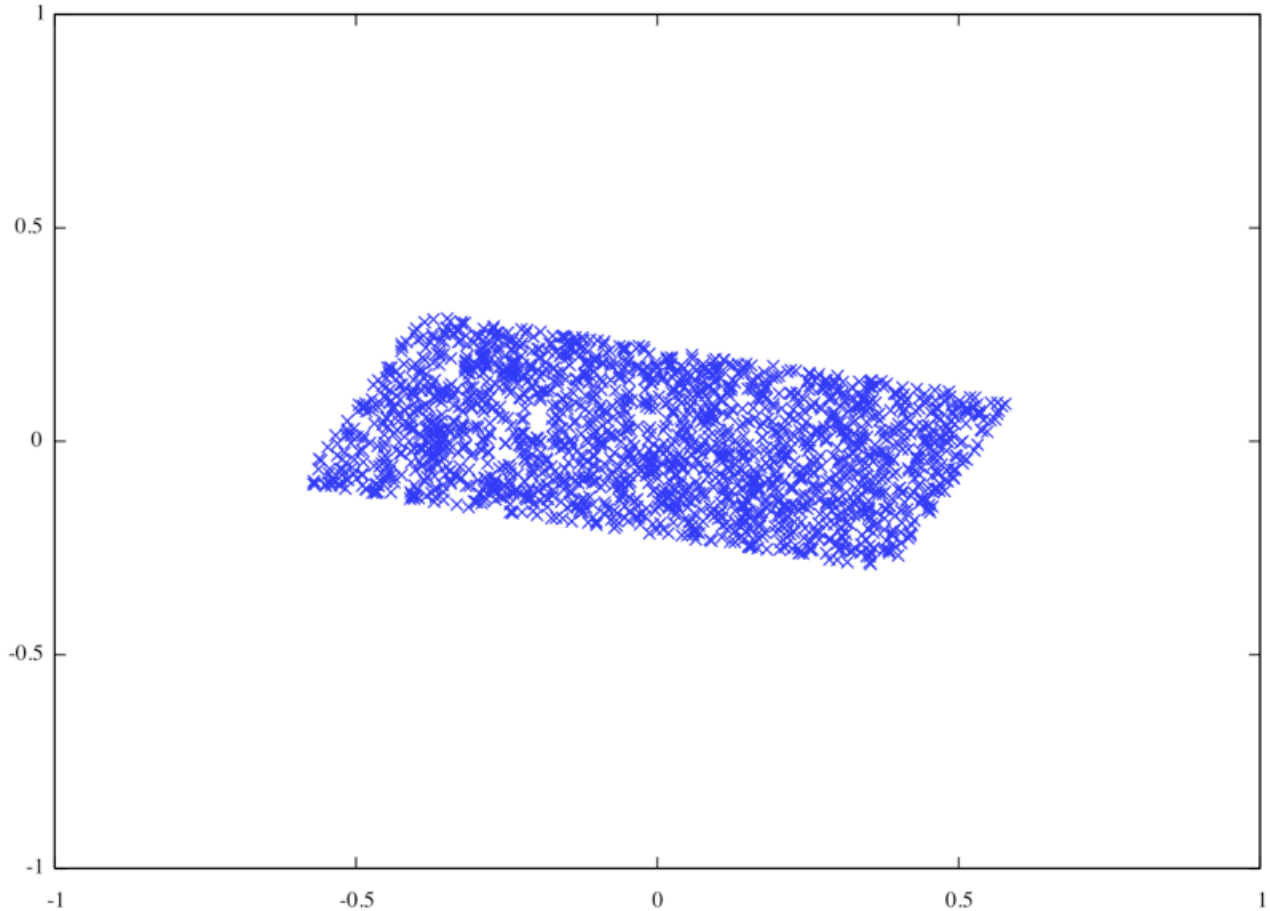


Ejemplo

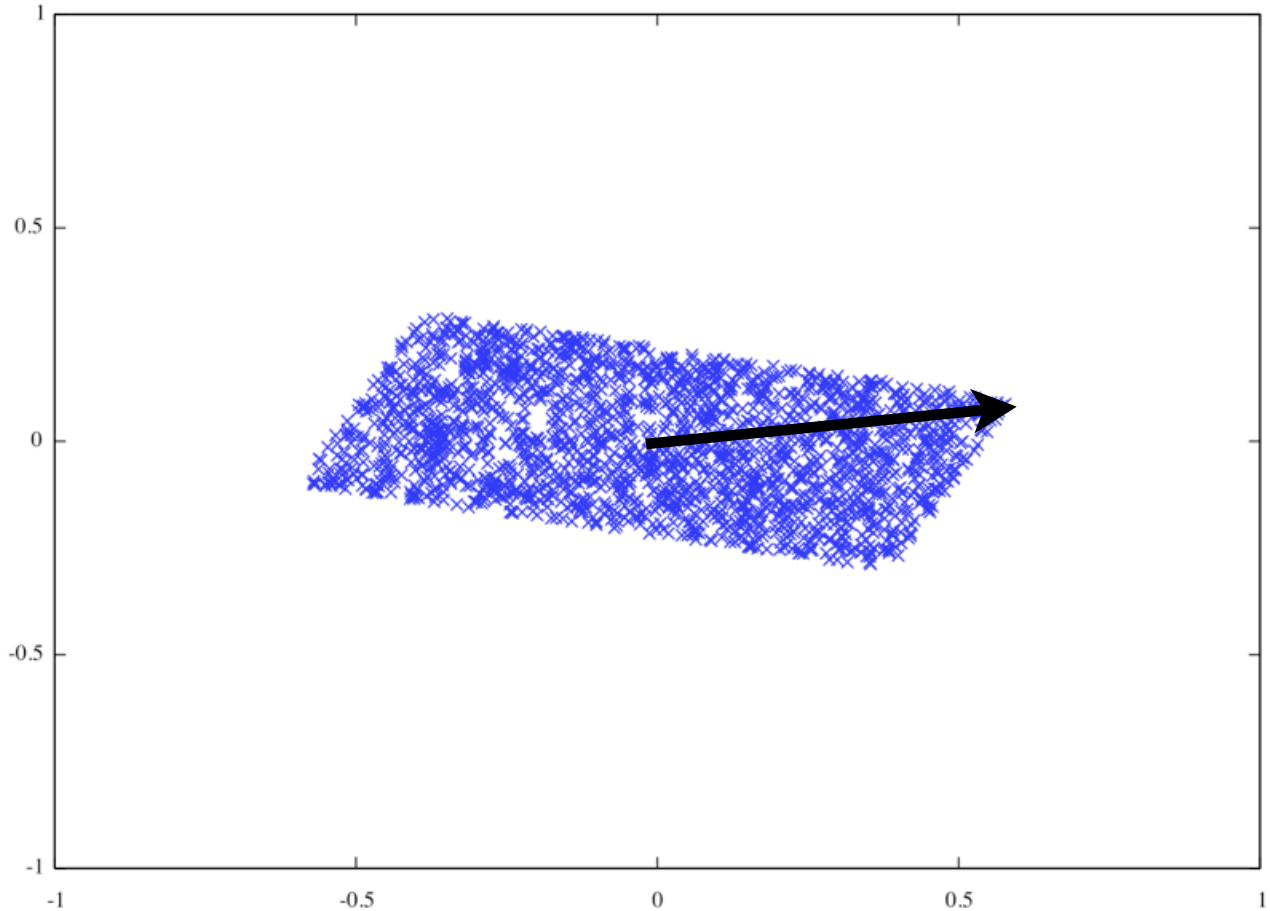
- Matriz de mezcla: A
  - X = A * S
  - corresponde a una rotación y extensión
  - post no lineal: transformación



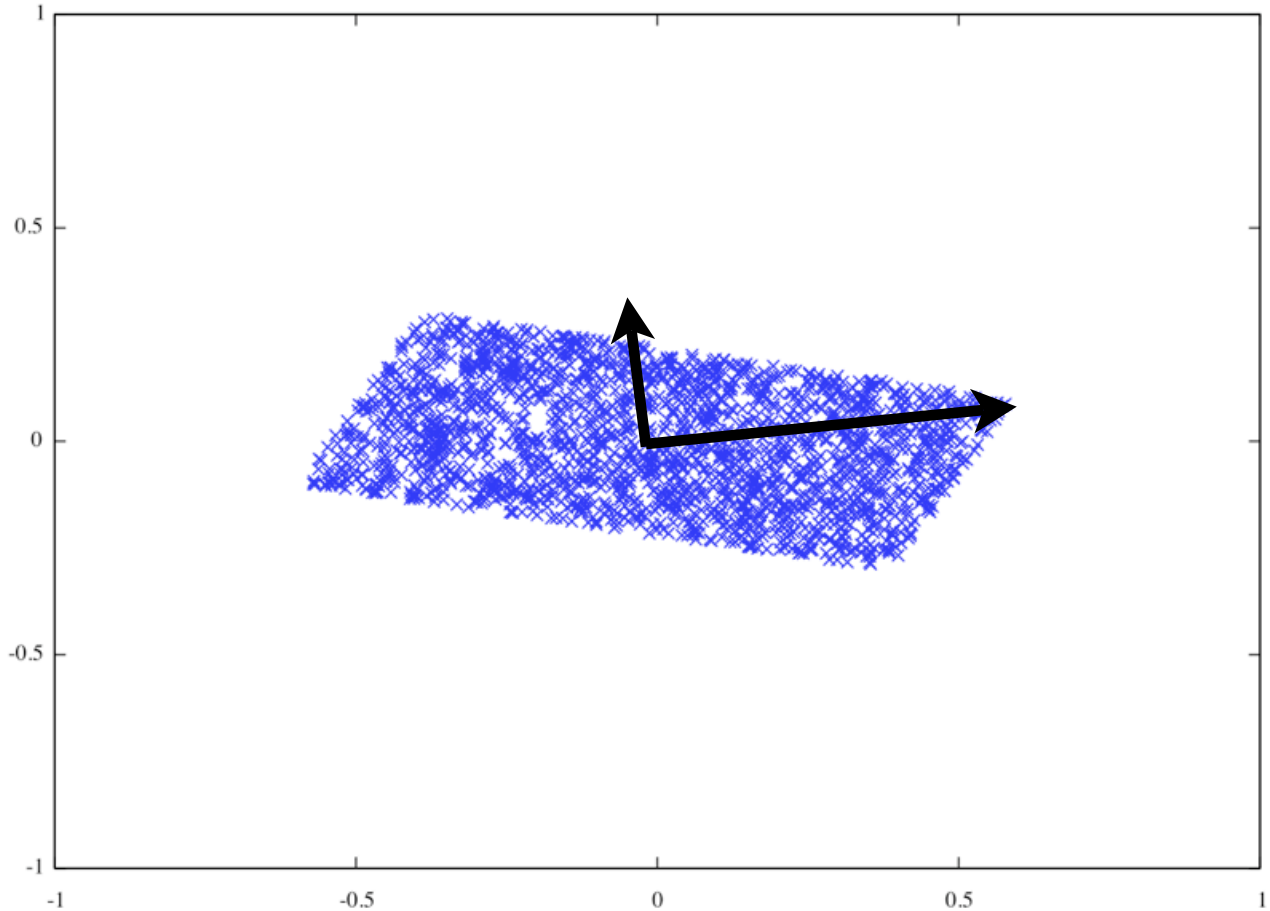
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



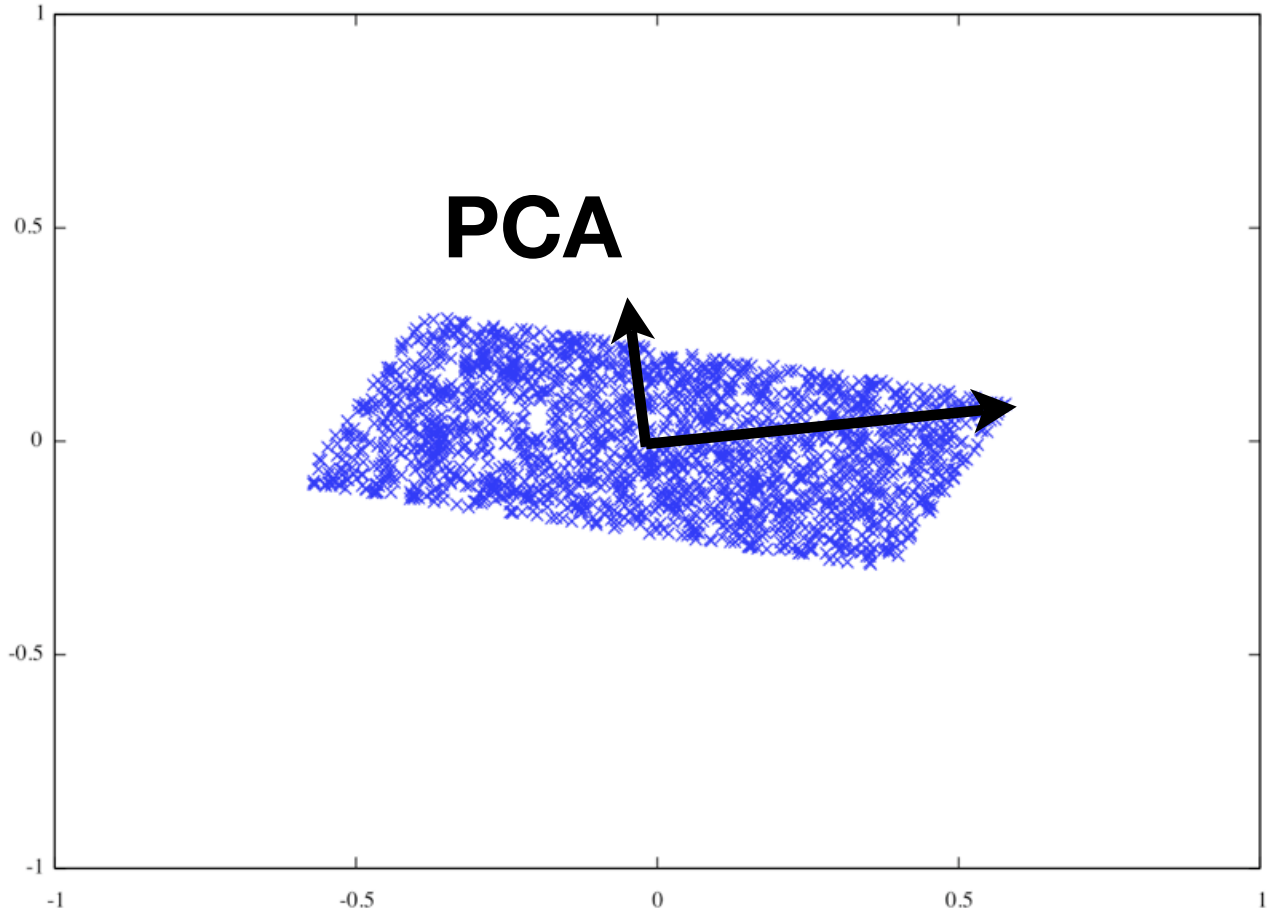
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



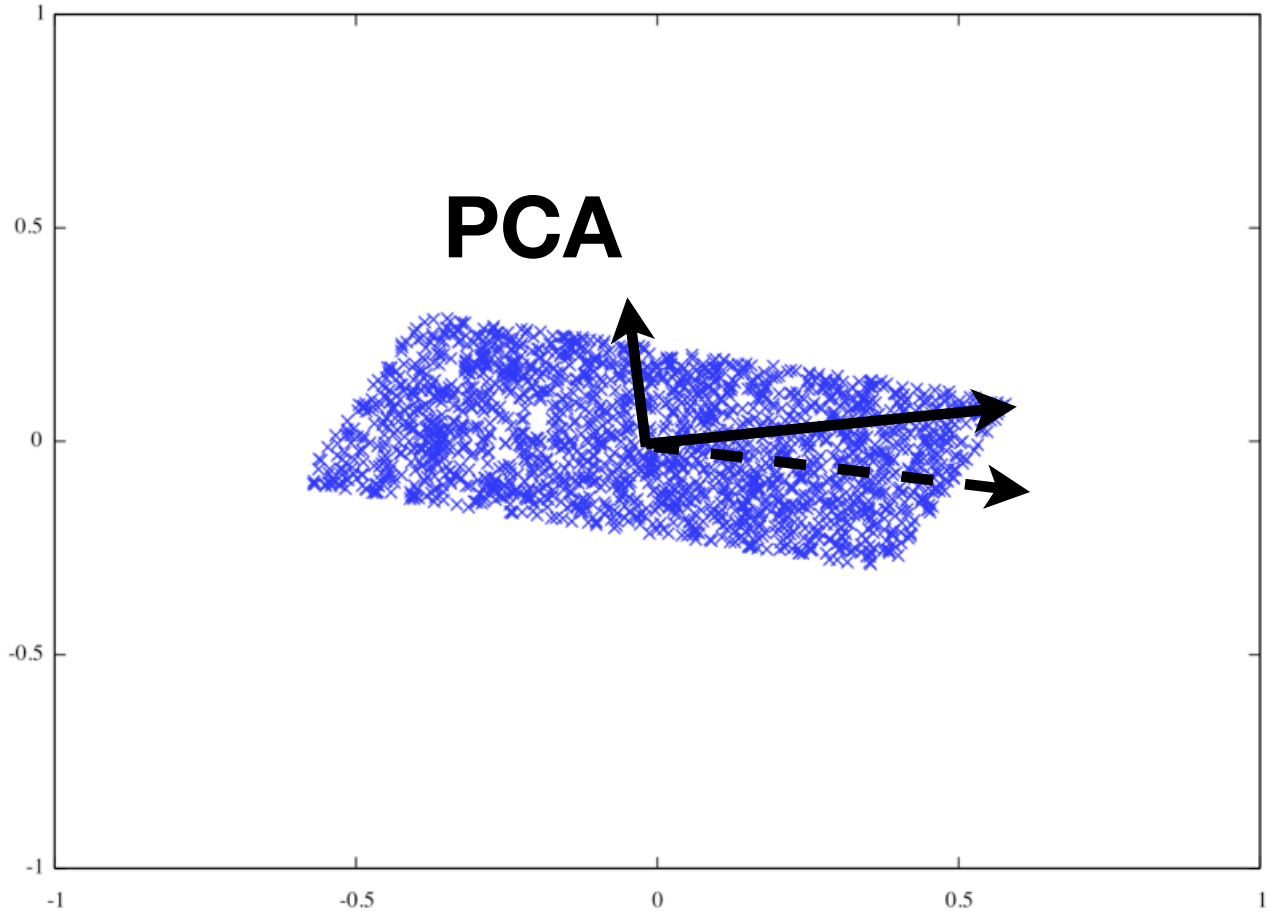
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



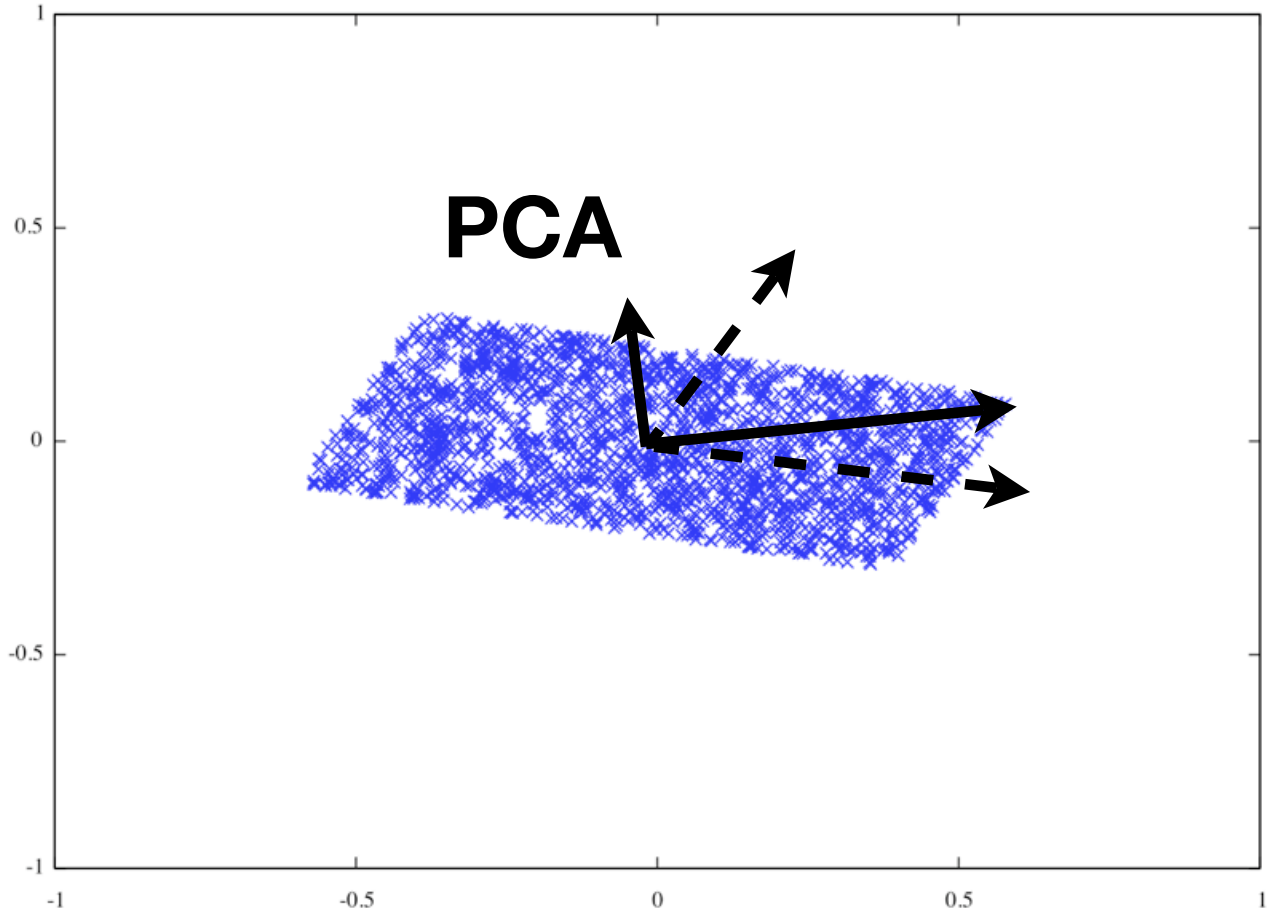
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



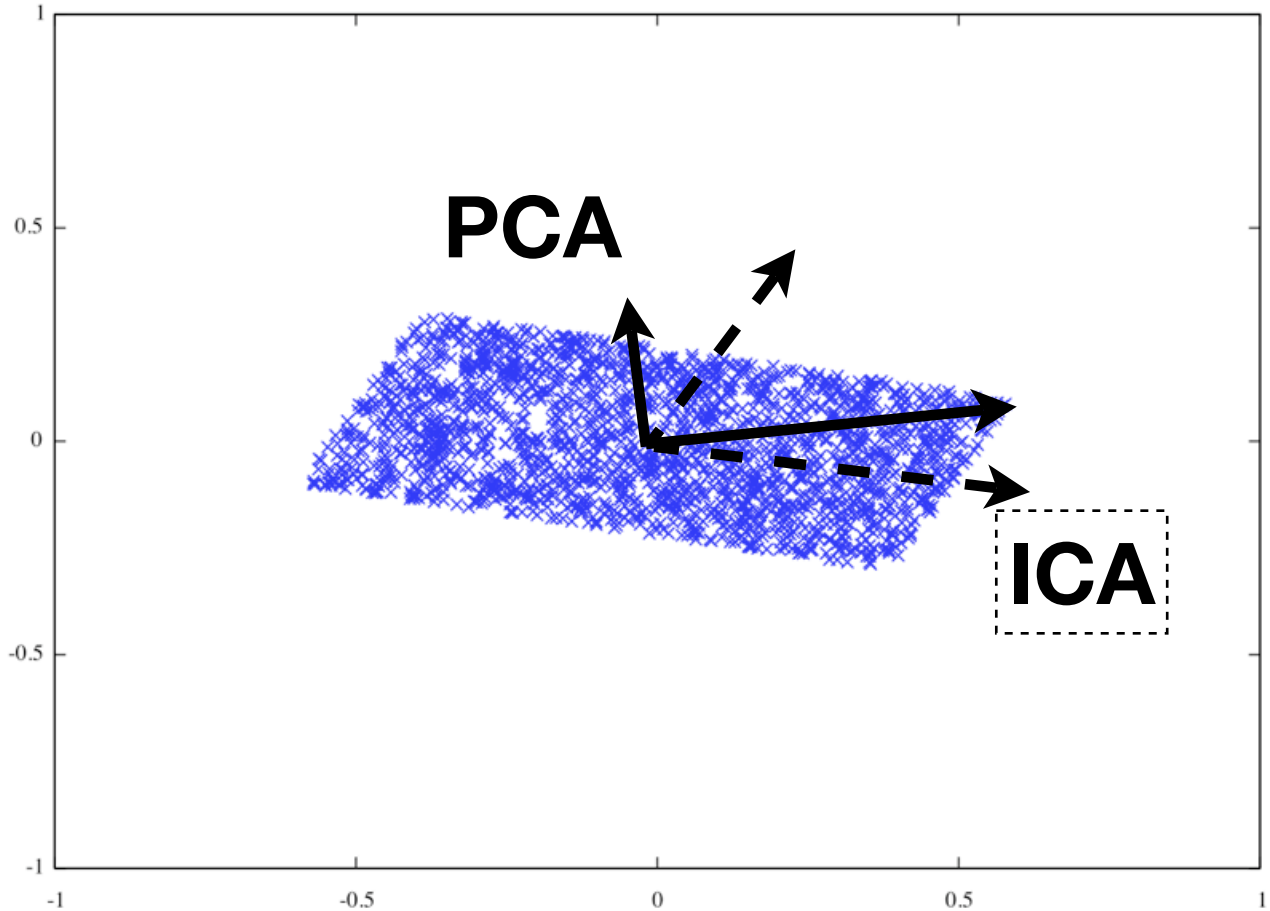
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



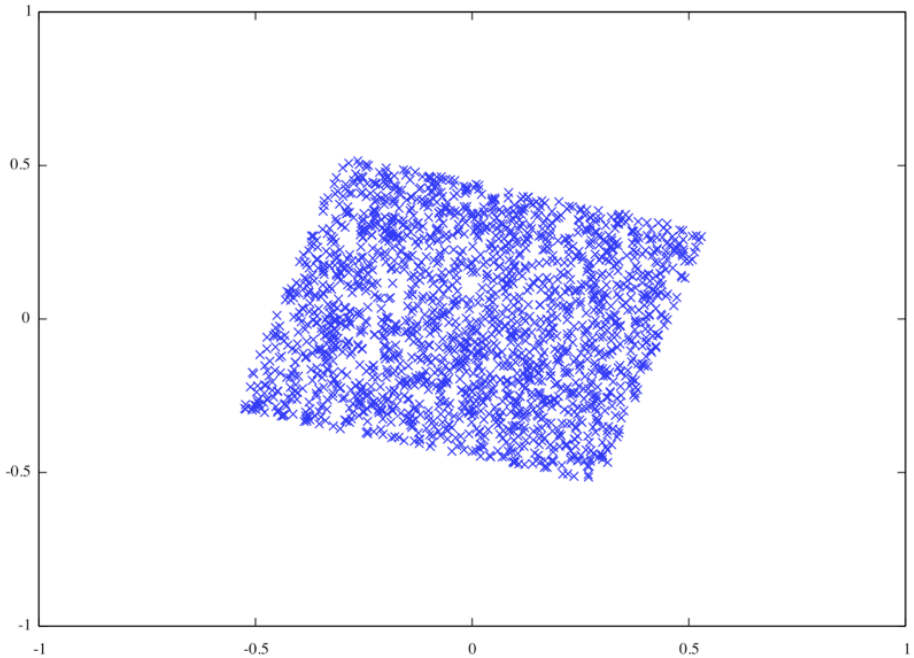
Ejemplo: Ejes de PCA e ICA



PCA

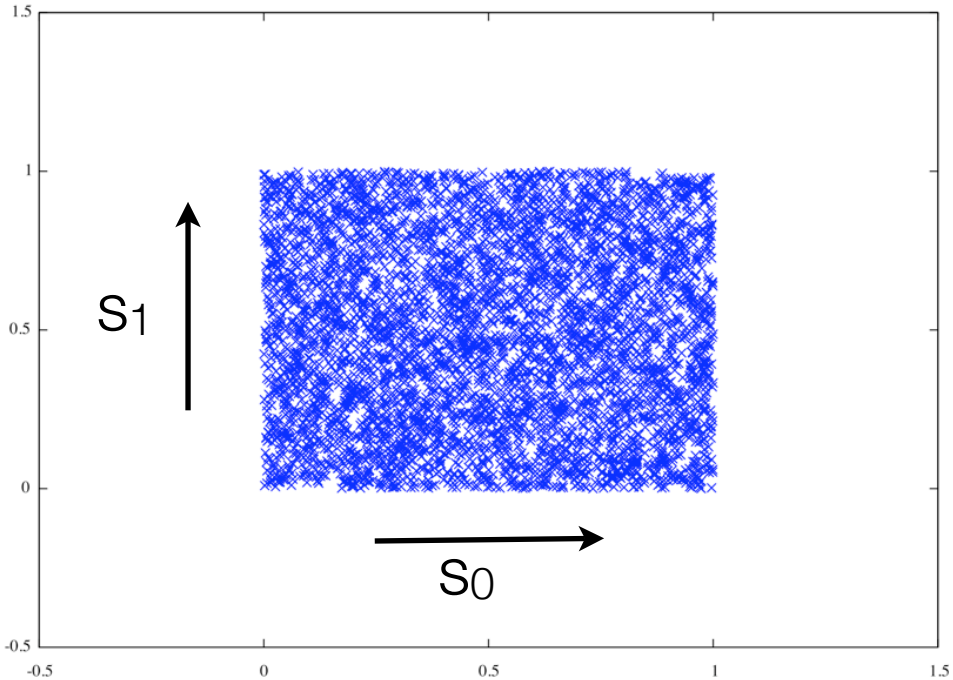
- PCA: sólo hace una decorrelación de los datos

- los datos se quedan rotados



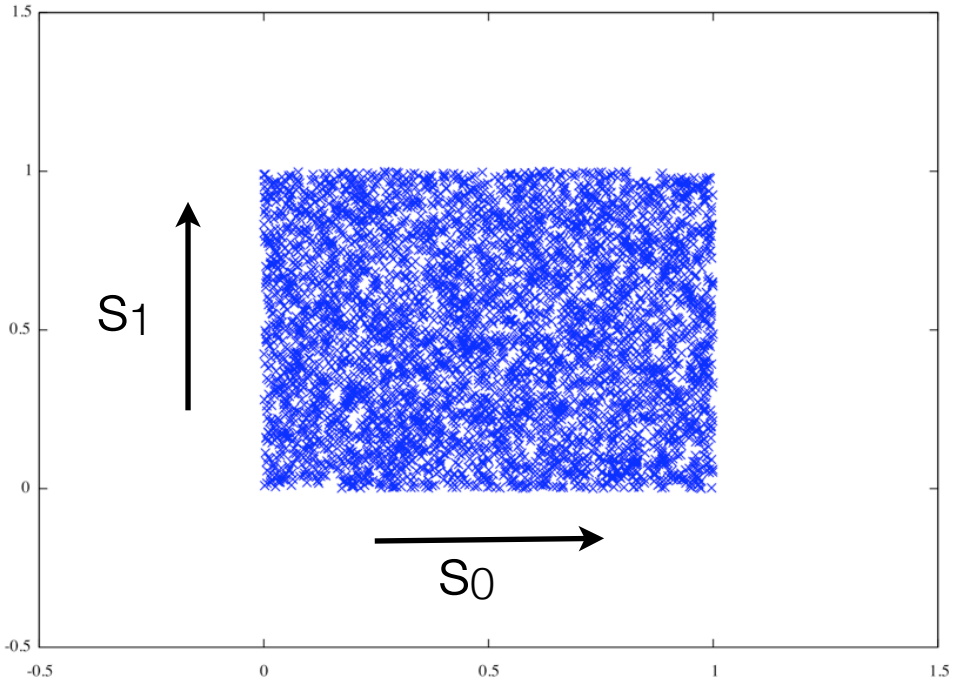
ICA

- Vuelve a los datos originales
  - si el modelo es correcto

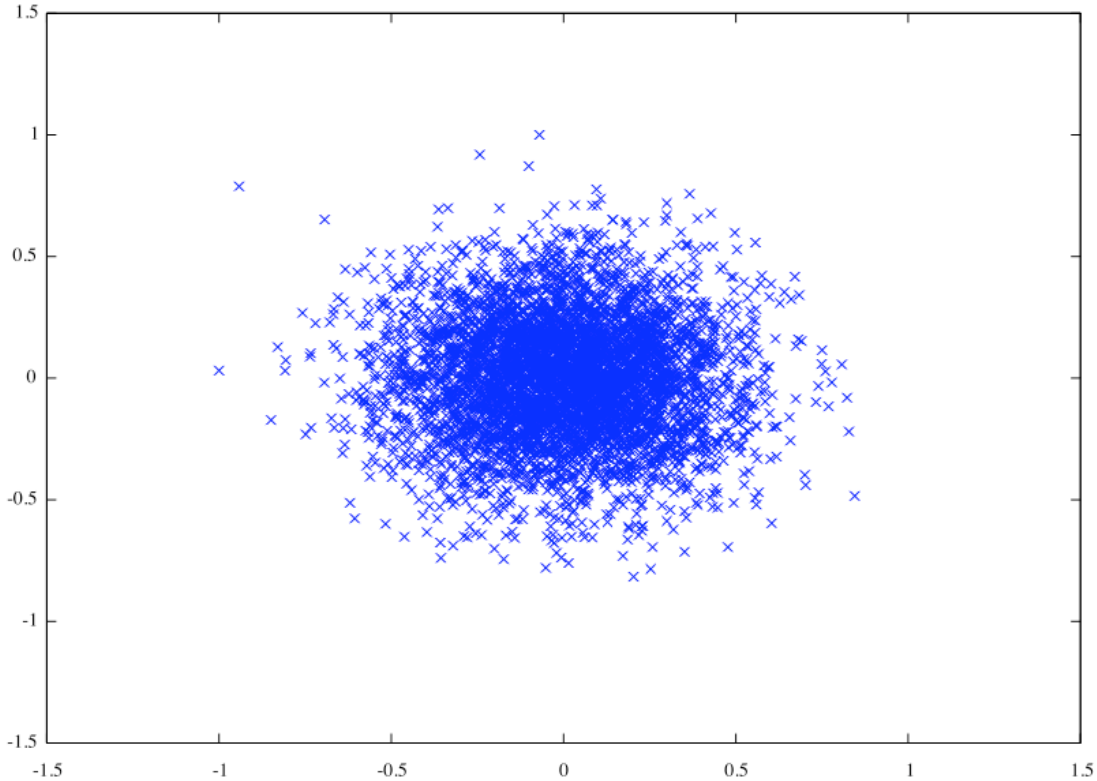


ICA

- Vuelve a los datos originales
  - si el modelo es correcto

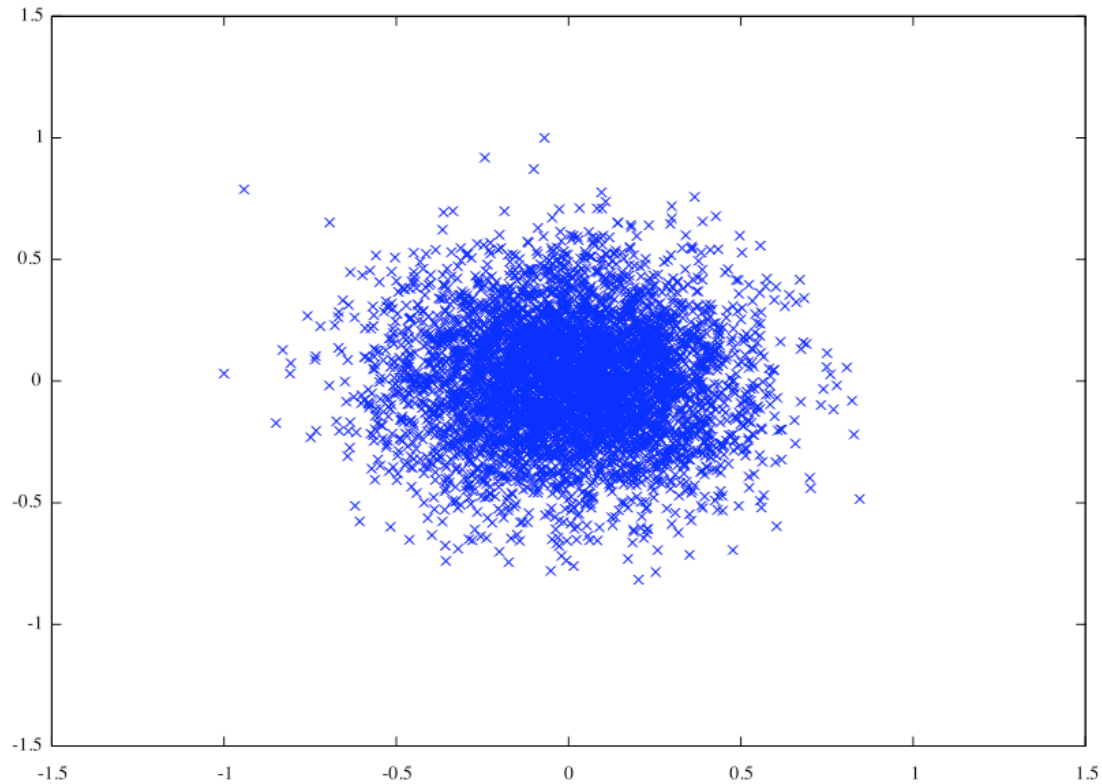


Mezclas de señales gaussianas



- simetría: rotación

Mezclas de señales gaussianas



- simetría: rotación

- no se puede separar porque no existe una dirección principal

Algoritmos

- Medidas:
    - Información mutua
    - Negentropía
    - Distancia a la distribución gaussiana

Algoritmos

- Analítico
  - JADE, AMUSE (depende de PCA)
  - independiente de las valores iniciales, algoritmos estables
- Numérico
  - FastICA, Infomax
  - dependen de las valores iniciales, peligro de mínimos locales

Ruido

- Ruido lineal:
  - $X = A*S + R1 = A* (S+R2)$
- Mezcla post no lineal
  - $X = F (A*(S+Ri)) + Re$
- Mezcla no lineal
  - $X = F(S+Ri) + Re$

Ejemplos

Contenido

- Transporte de señales
- Separación ciega de señales (*BSS*)
- **Ejemplos**
  - Cocktail Party
  - Artefactos
  - ECG
  - MIMO
- Conclusiones

Cocktail Party

Problema Cocktailparty

- Las señales en el mundo real son mezclas de las señales:

  originales + ruido + artefactos

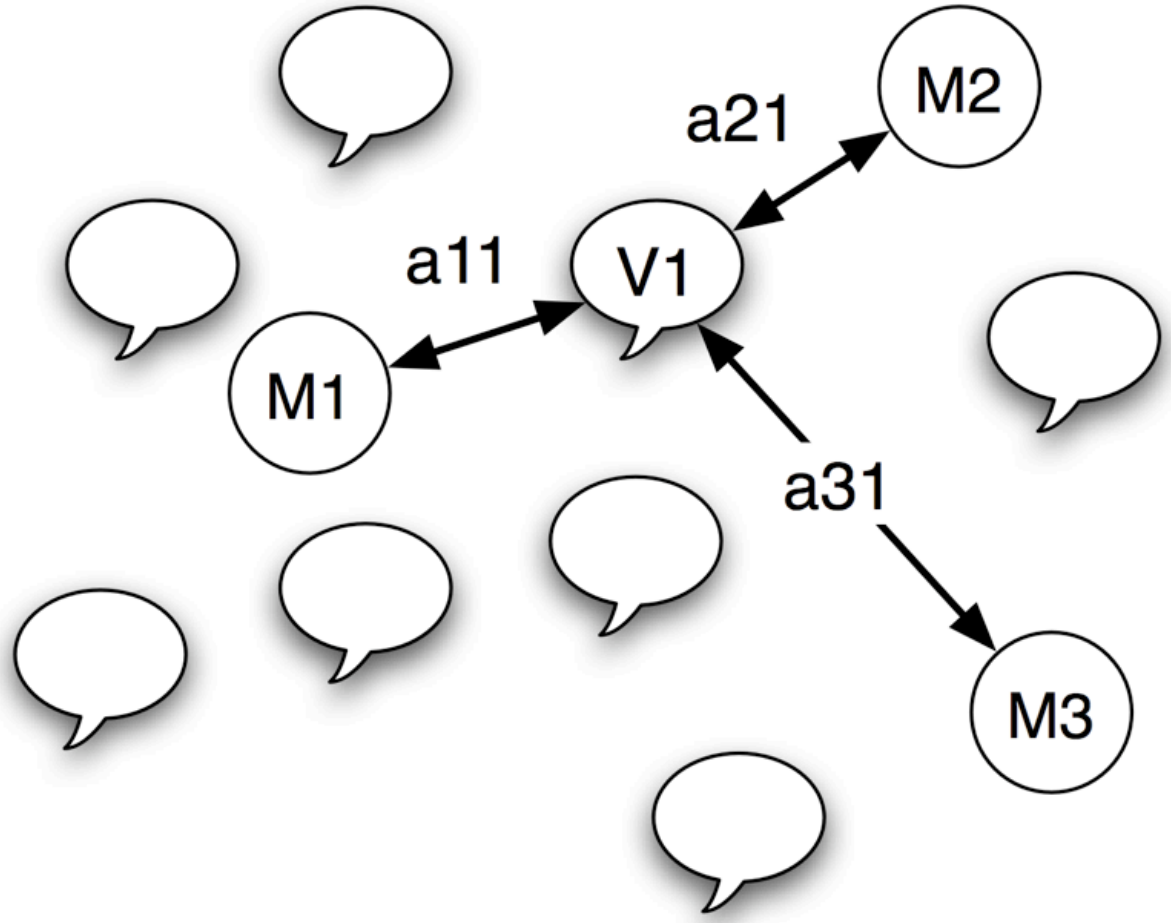
- El tratamiento de las señales es difícil y caro

- Qué hace el cerebro humano en una situación como esta?

¿Solución?

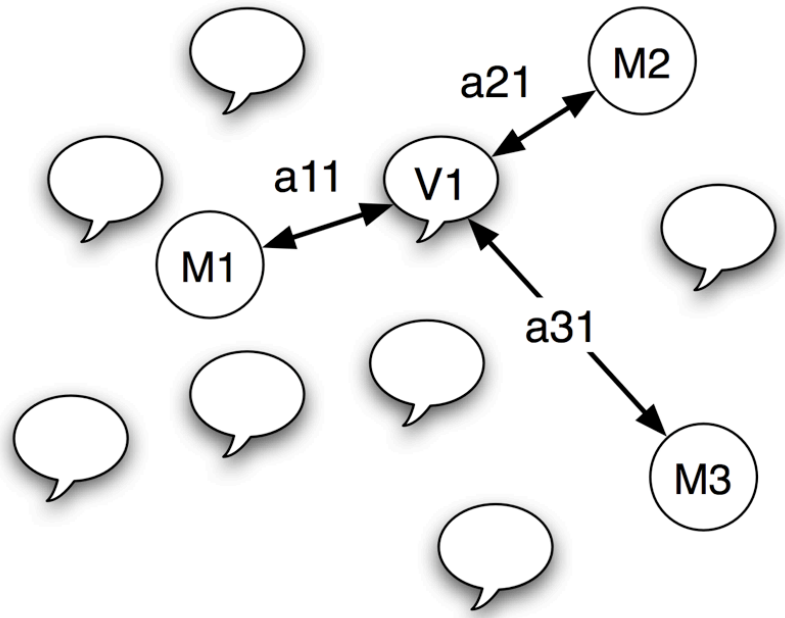
- Hay características que se puede utilizar:
    - las voces vienen de diferentes personas (= son estadísticamente independiente)
    - la posición no se cambia (o sólo lentamente)
    - la mezcla es instantánea y lineal

Modelo matemático



El número de fuentes

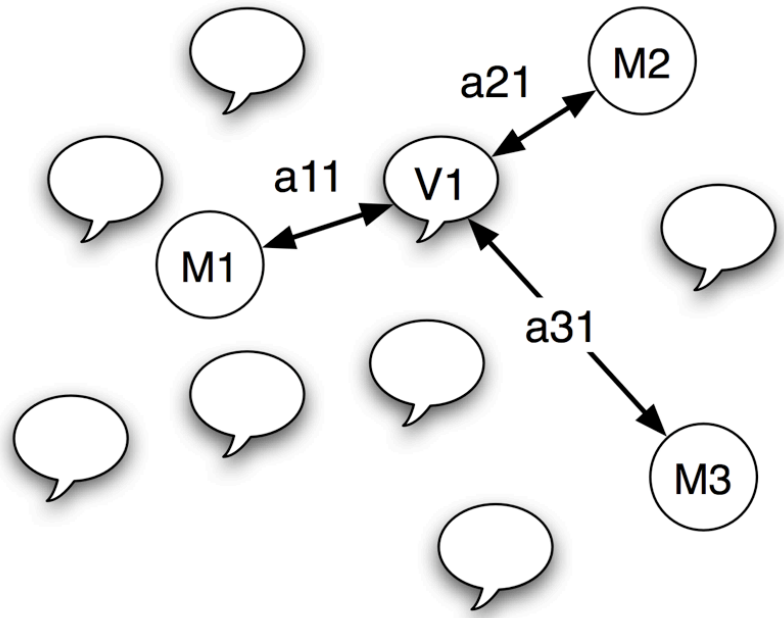
- Cuántas fuentes se pueden separar?



El número de fuentes

- Cuántas fuentes se pueden separar?
  - Sistema de ecuaciones lineales:

    M1 = a11 * V1 + a12 * V2 + …
    M2 = a21 * V1 + a22 * V2 + …
    M3 = a31 * V1 + a32 * V2 + …

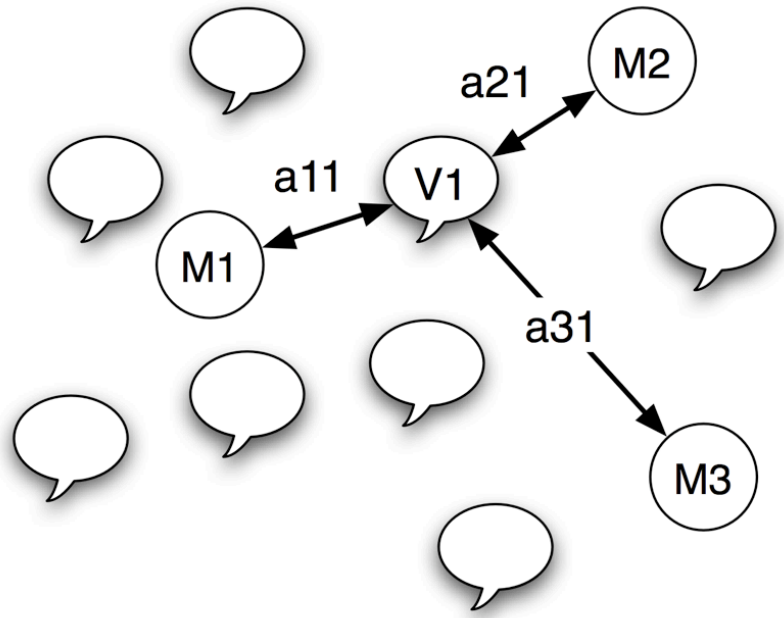


El número de fuentes

- Cuántas fuentes se pueden separar?
  - Sistema de ecuaciones lineales:

    M1 = a11 * V1 + a12 * V2 + …
    M2 = a21 * V1 + a22 * V2 + …
    M3 = a31 * V1 + a32 * V2 + …

  - #M < #V: „overcomplete“
    #M = #V: „complete“
    #M > #V: „undercomplete“



El número de fuentes

- Cuántas fuentes se pueden separar?

  - Sistema de ecuaciones lineales:

    M1 = a11 * V1 + a12 * V2 + …
    M2 = a21 * V1 + a22 * V2 + …
    M3 = a31 * V1 + a32 * V2 + …

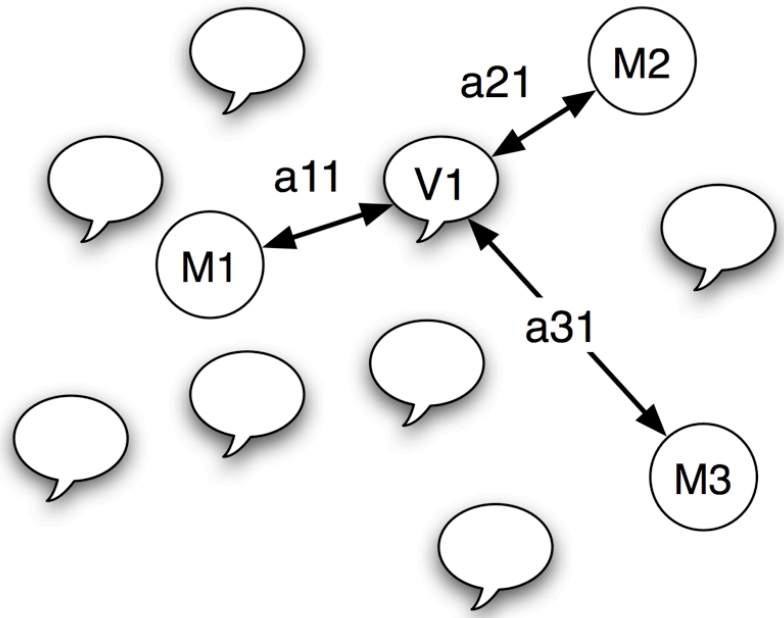
  - #M < #V: „overcomplete“
    #M = #V: „complete“
    #M > #V: „undercomplete“

X1 = a11 * S1 + a12 * S2 + …
X2 = a21 * S1 + a22 * S2 + …
X3 = a31 * S1 + a32 * S2 + …

X = A * S

Mezcla lineal

- S: las voces
- X: las grabaciones de los micrófonos
- A: la matriz de mezcla
- X=A*S

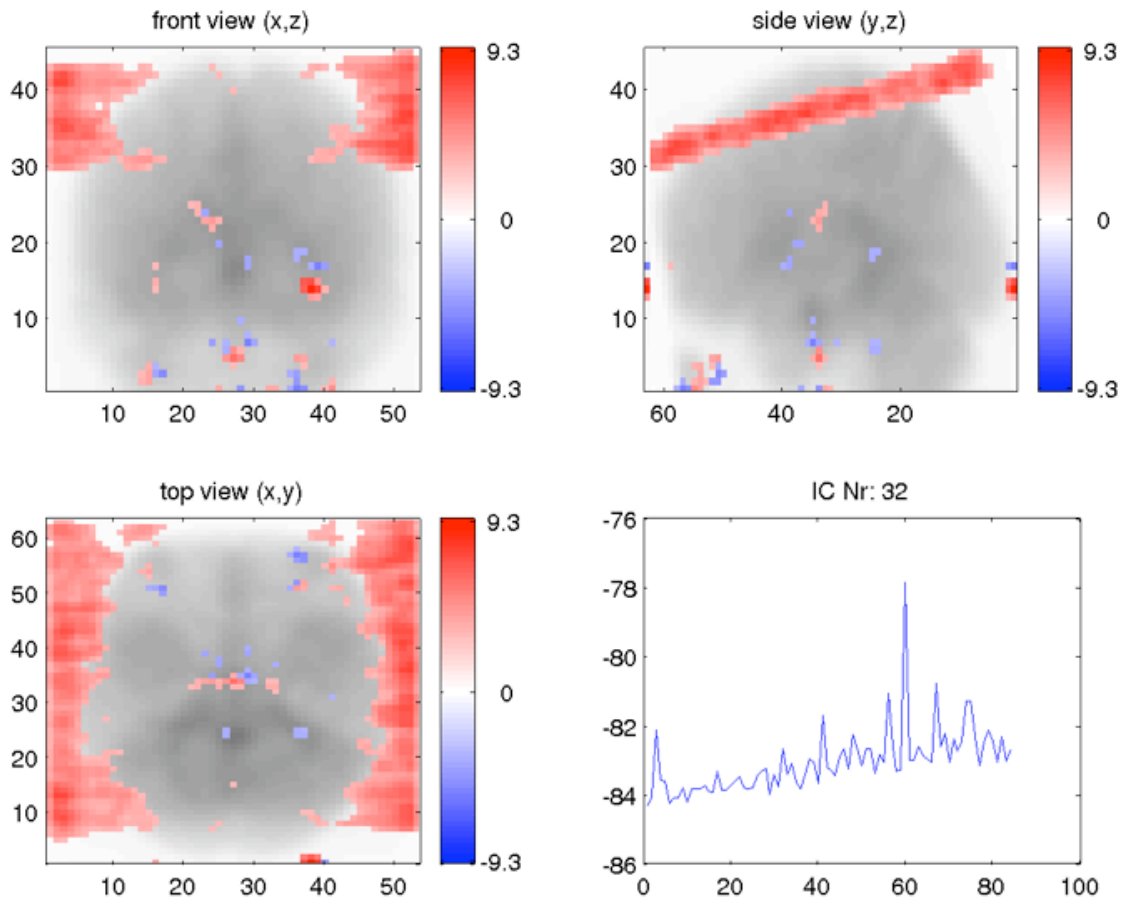


Simon Haykin and Zhe Chen, “The cocktail party problem,” Neural Computation, vol. 17, pp. 1875–1902, 2005.

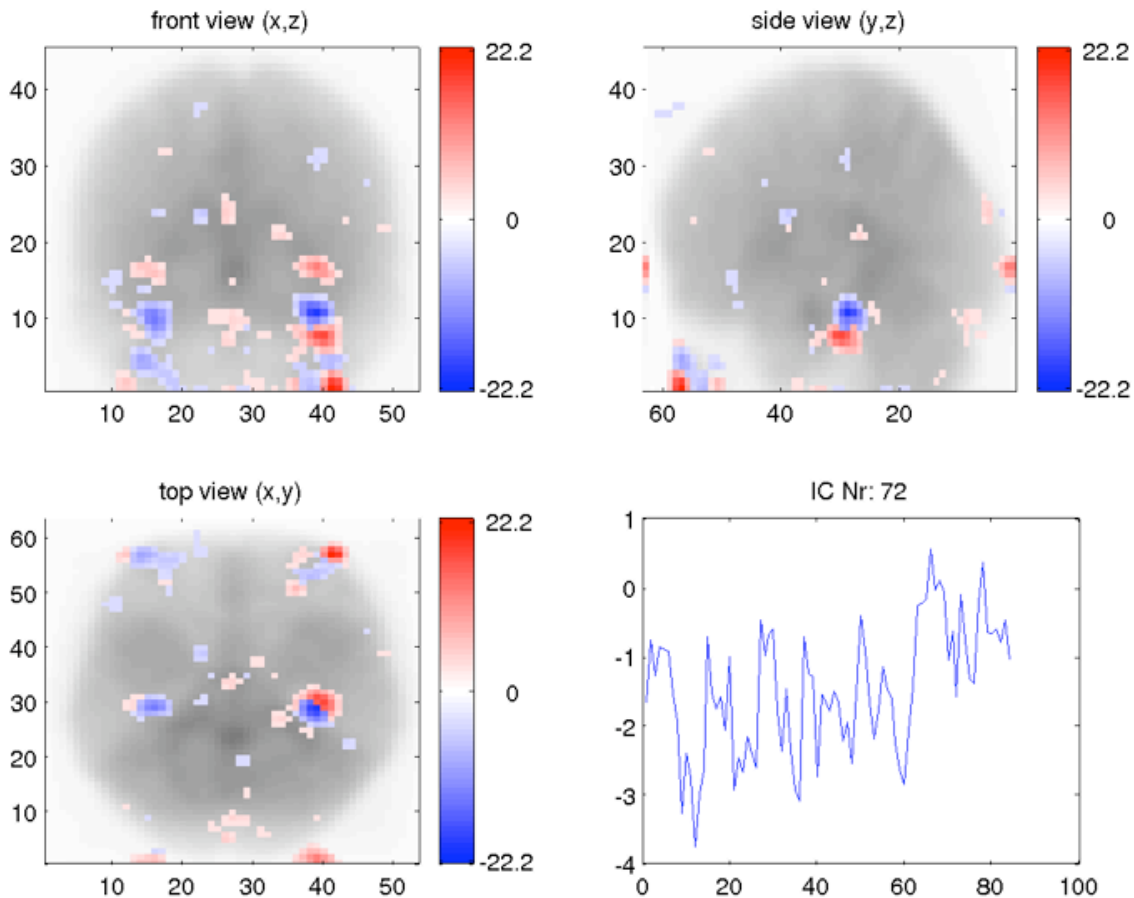
Artefactos

- fMRI
- EEG
- Imágenes
- Sonido
- etc

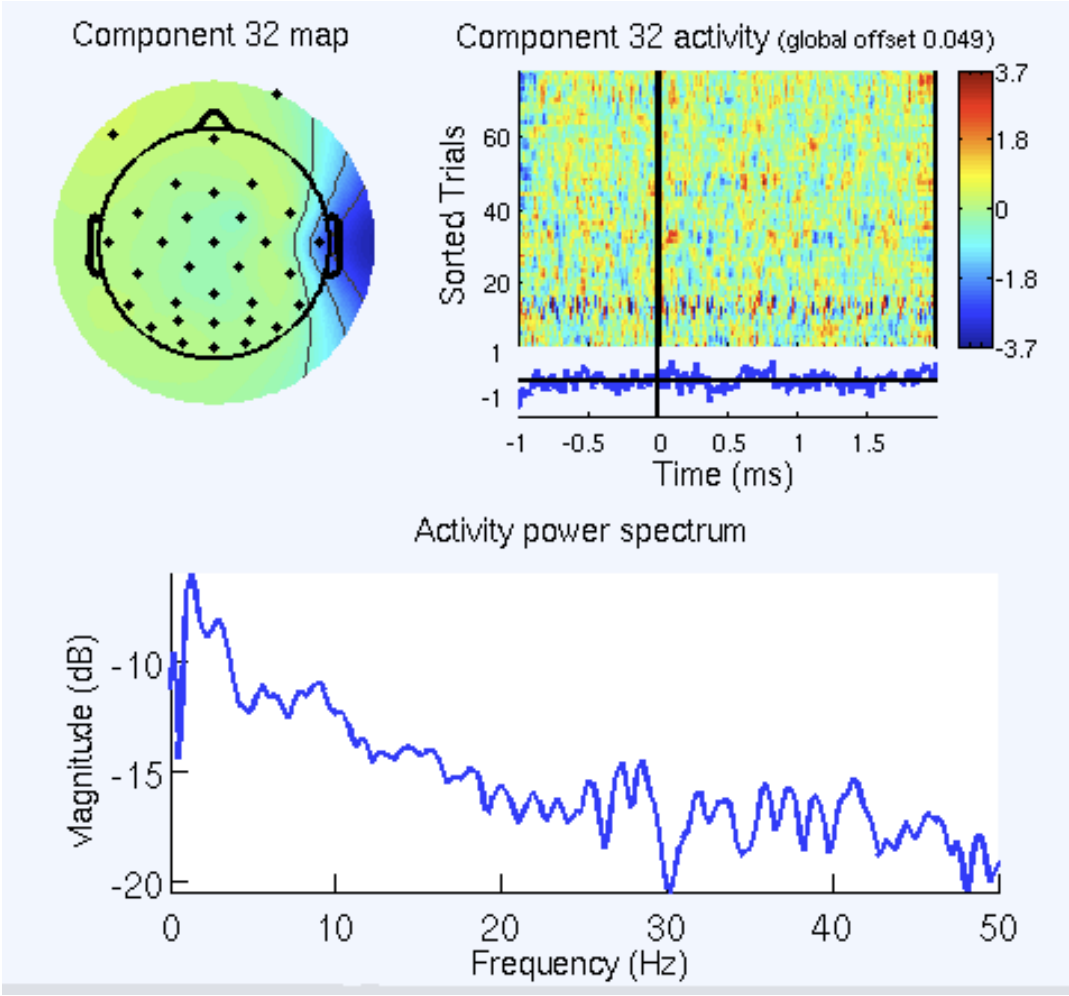
Artefactos fMRI



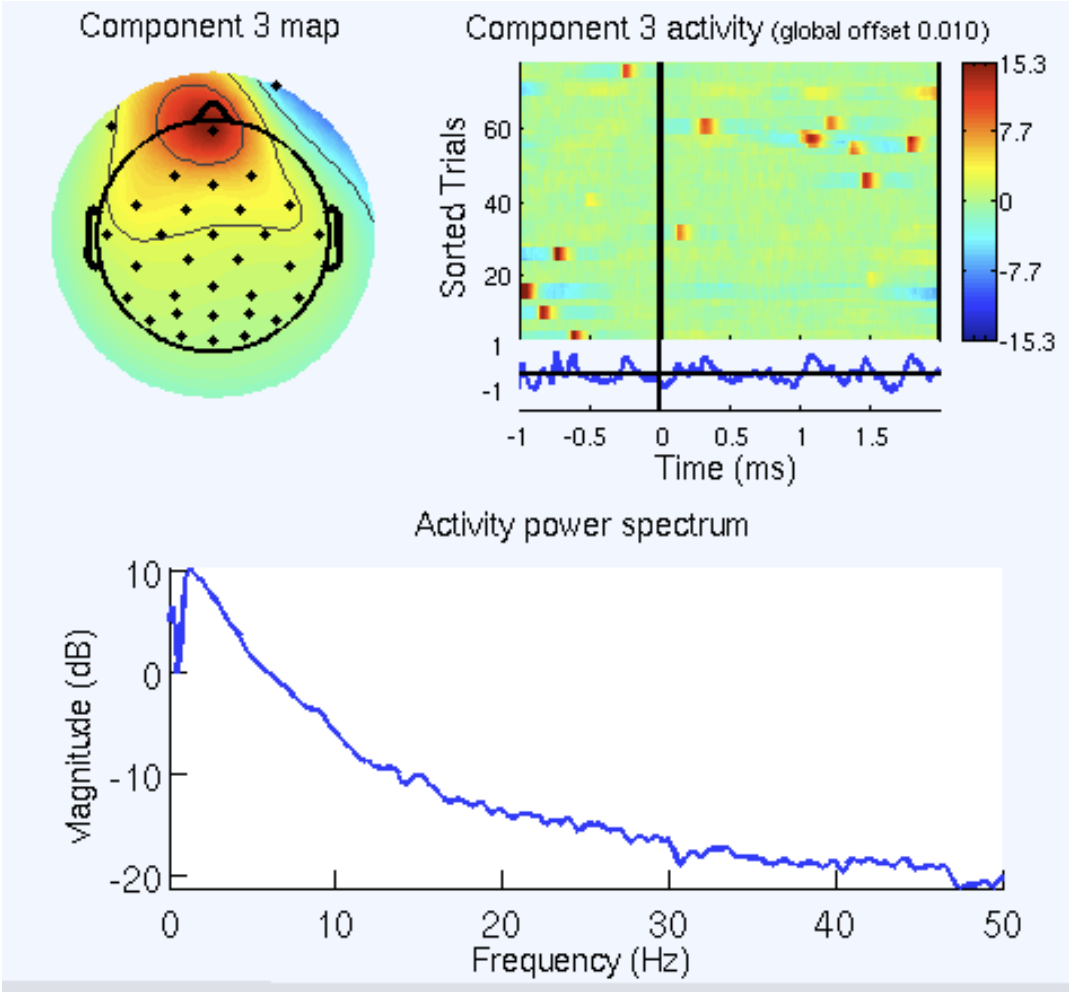
Artefactos fMRI



Artefactos EEG



Artefactos EEG: parpadear



Separación de artefactos

- Artefactos:
  - no estan relacionados a la señal de interés
    - estadísticamente independiente
    - distribución diferente

Separación de artefactos

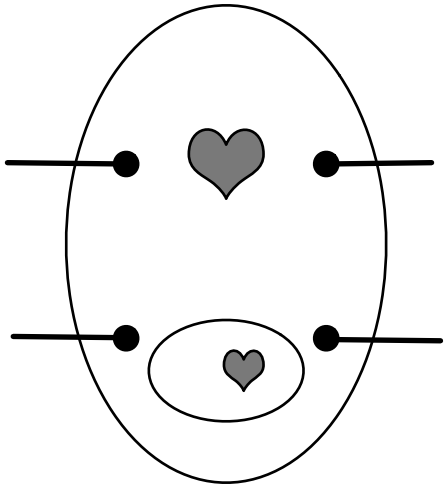
- Artefactos:
  - no estan relacionados a la señal de interés
    - estadísticamente independiente
    - distribución diferente
- ideal para la separación con ICA

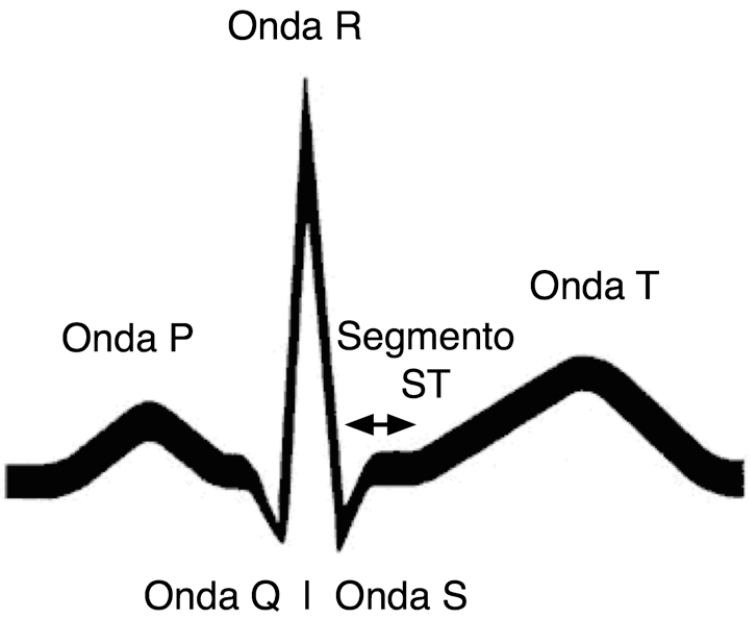
Separación de artefactos

- Artefactos:
  - no estan relacionados a la señal de interés
    - estadísticamente independiente
    - distribución diferente
- ideal para la separación con ICA
- detección automática, por ejemplo:
  - EEG - señal de los ojos
  - Imágenes - ruido

Electrocardiograma

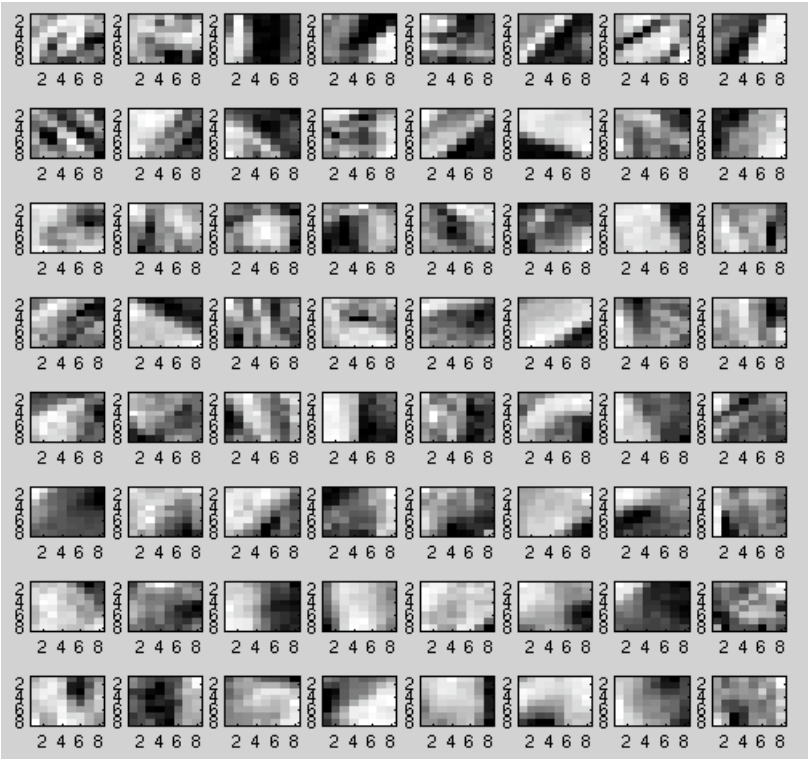
- Separación ECG madre <> feto





Vicente Zarzozo Gascón Peligrí and Asoke K. Nandi, “Extracción del ecg mediante técnicas de separación ciega de fuentes,” in Actas CASEIB 98, 1998, pp. 89–92.

Imágenes



Imagenes

- X = A * S
- Imagenes son las observaciones X
- columnas de A son los filtros
- S son las respuestas de los filtros

S. Nassabay, Estudio Comparativo de la Técnica Análisis de Componentes Independientes “ICA” Aplicado al Procesamiento Digital de Imágenes con Ruido, Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 2006.

Redes inalámbricas: MIMO

- Multiple Input Multiple Output – entradas múltiples salidas múltiples

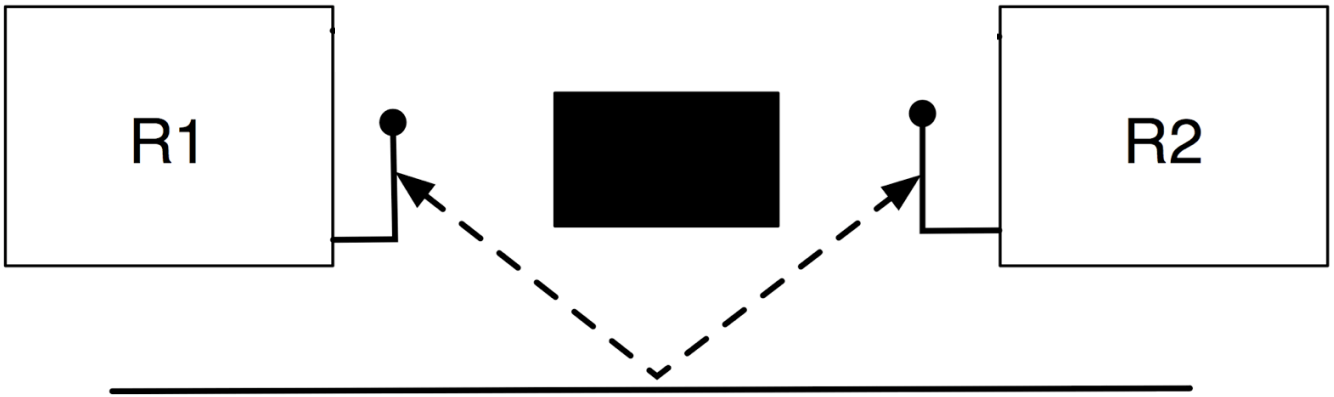
- Redes inalámbricas:

  - SISO, SIMO, MISO, MIMO - S: *single* – única , M: *múltiple*:

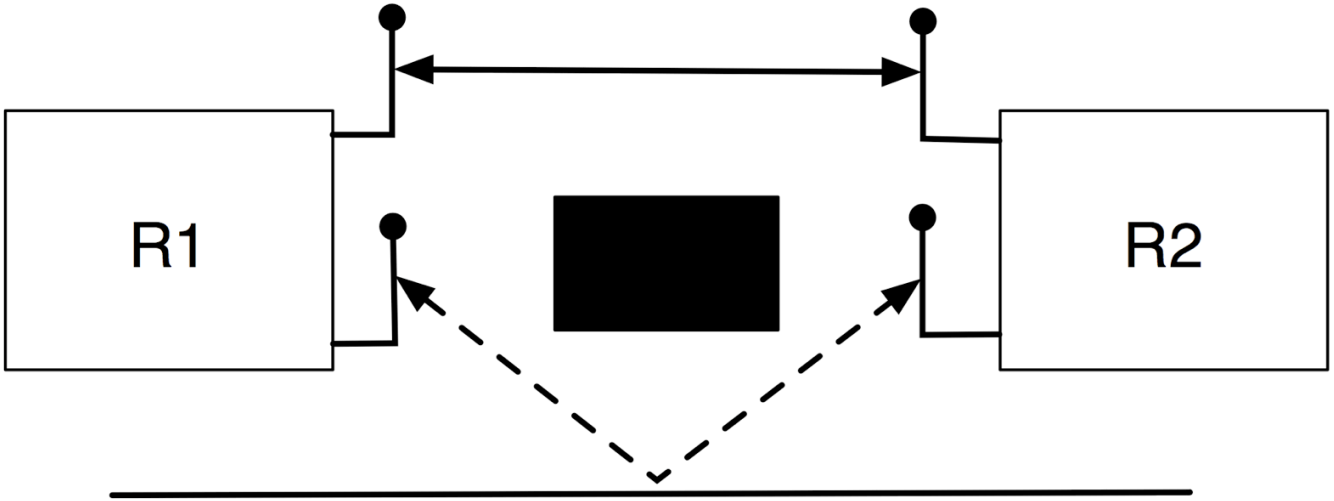
    se refiere al número de las antenas del emisor (input) y receptor (output)

  - ¿Por qué?

MIMO



MIMO



MIMO

- Problema: Reflexiones en lugares con obstáculos

MIMO

- Problema: Reflexiones en lugares con obstáculos
- Solución 1: antenas múltiples contra ruido y reflexiones

MIMO

- Problema: Reflexiones en lugares con obstáculos
- Solución 1: antenas múltiples contra ruido y reflexiones
- Qué pasa si se aplica el modelo de BSS al problema?

MIMO

- Modelo BSS:

$$X = A * S$$

MIMO

- Modelo BSS:

  X = A * S

- S: fuentes => señales

  X: muestras => antenas

MIMO

- Modelo BSS:

  X = A * S

- S: fuentes => señales

  X: muestras => antenas

- la separación es posible si A tiene vectores de columnas independientes,

  significa que los caminos de las señales tienen que ser diferentes.

MIMO

- Modelo BSS:

  X = A * S

- S: fuentes => señales

  X: muestras => antenas

- la separación es posible si A tiene vectores de columnas independientes,

  significa que los caminos de las señales tienen que ser diferentes.

- cada antena puede transmitir una señal diferente

MIMO

- Modelo BSS:

  X = A * S

- S: fuentes => señales

  X: muestras => antenas

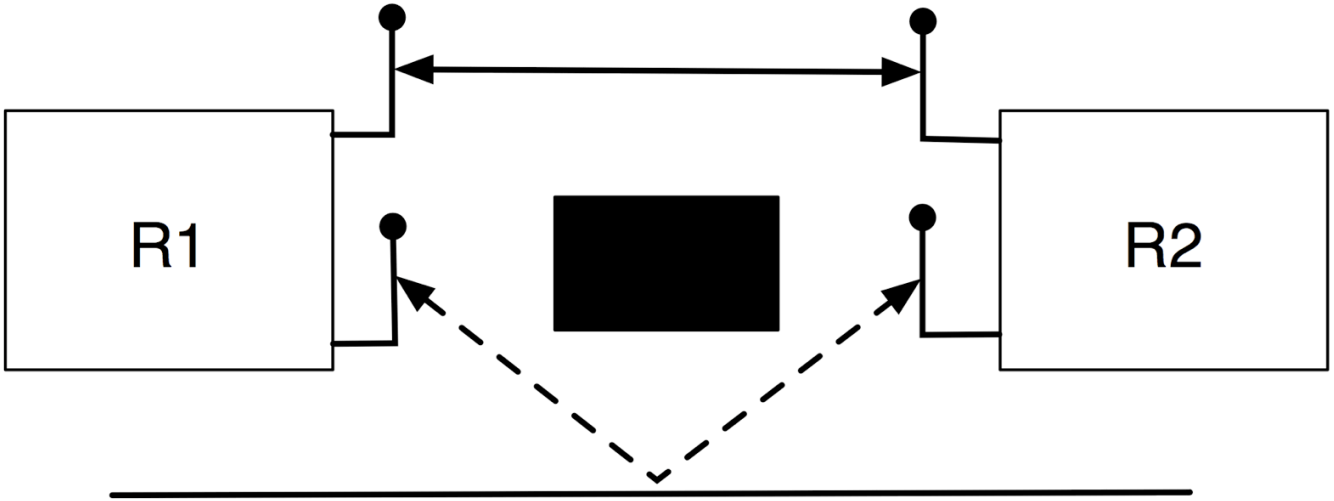
- la separación es posible si A tiene vectores de columnas independientes,

  significa que los caminos de las señales tienen que ser diferentes.

- cada antena puede transmitir una señal diferente

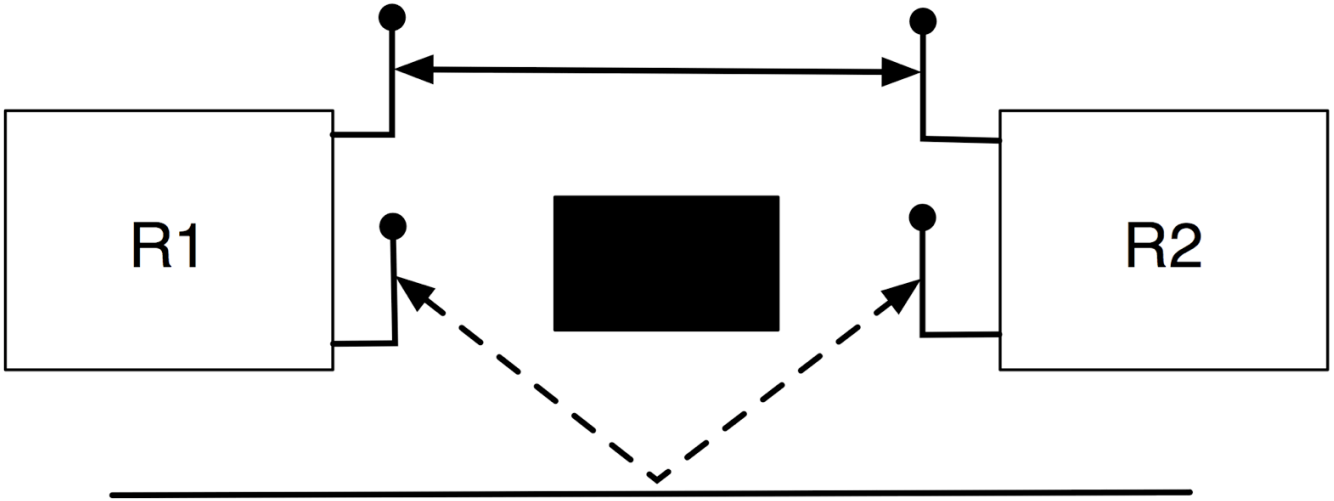
- Aumento de la capacidad en lugares con muchos obstáculos.

MIMO



D. Gesbert and J. Akhtar, “Breaking the barriers of shannon’s capacity: An overview of mimo wireless systems,” Telenor’s Journal: Telektronikk, vol. 1, no. 53–64, 2002.

MIMO



MIMO+BSS: La desventaja se vuelve una ventaja.

D. Gesbert and J. Akhtar, “Breaking the barriers of shannon’s capacity: An overview of mimo wireless systems,” Telenor’s Journal: Telektronikk, vol. 1, no. 53–64, 2002.

Conclusiones

Conclusiones

- BSS e ICA tienen un gran campo de aplicaciones
  - separación de datos
  - separación de artefactos
  - aumento de la transmisión
- Pero: A veces hay métodos mejores

Informaciones en el WWW

- FastICA: http://www.cis.hut.fi/projects/ica/fastica/
- ICALAB: http://www.bsp.brain.riken.jp/ICALAB/
- ICA Central: http://www.tsi.enst.fr/icacentral/
- Red Tematica ICA-BSS: http://ica2004.ugr.es/bss/index.html

Muchas gracias

http://ingokeck.de/es