

Seminarios. Master en Ciencias y
Tecnologías de la Computación
Universidad Politécnica de Madrid
Curso 2015/16

Fusión Sensorial

Fernando García y David Martín

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Laboratorio de Sistemas Inteligentes
Universidad Carlos III de Madrid

Fusion Sensorial (DF)

El concepto de Fusión Sensorial data del periodo entre la primera y la segunda guerra mundial.

Adoptado por el departamento de defensa de los Estados Unidos (DoD) con el propósito de ayudar en operaciones de toma de decisiones Mando y Control. En inglés: Command and Control (C2).

La idea era crear tecnología y base científica que ayude en este tipo de tareas.

Elemento clave en tareas de inteligencia.

Fusion Sensorial (DF)

Omnipresente en las aplicaciones actuales por la explosión de las tecnologías de la información: Robótica, vehículos, defensa, tecnologías móviles, aviónica...

- Ambigüedad de la terminología
- Difícil definición

Definición

“DF Seeks to combine information from multiple sources to achieve inferences that cannot be obtained from a single sensor or source, or whose quantity exceeds that of an inference drawn from any single source”.

Hall and Llinas

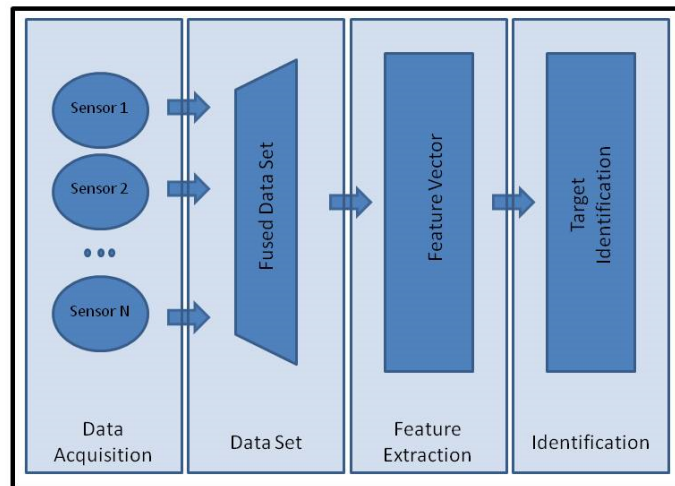
“Data fusion is the process of combining data or information to estimate or predict entity states”.

A. Steinberg and C. Bowman

Arquitecturas

Nivel Bajo: (Fusión directa) Combina información sin procesar, de diferentes fuentes, para formar un conjunto de datos más complejo y completo que aporta más información.

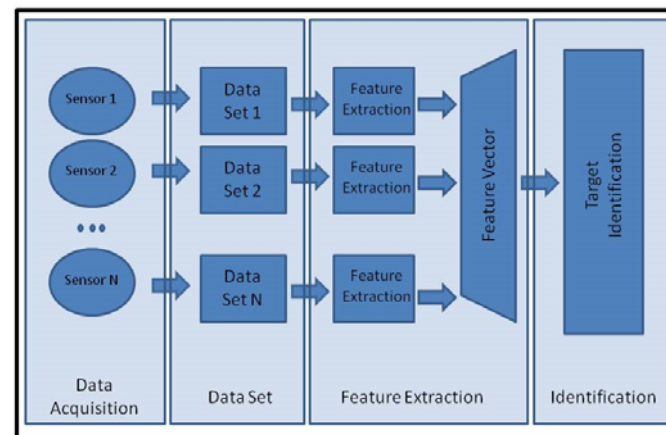
- **Mismo fenómeno físico**
- **Métodos clásicos de estimación: Ej. Filtro de Kalman**



Arquitecturas

Nivel Medio: (feature level) Combina información pre-procesada, de diferentes fuentes, esta información es finalmente procesada por un estimador a un nivel más alto.

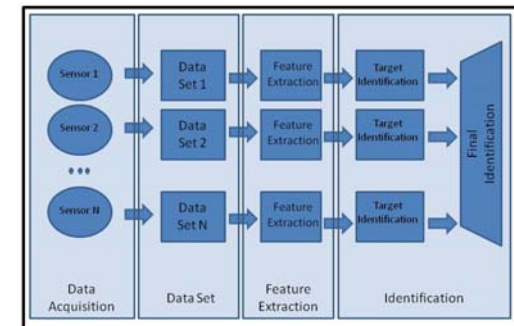
- **Permite aprovechar características especiales de cada sensor**
- **Métodos de aprendizaje automático: Ej. SVM, o Redes Neuronales**
- **Los límites con el nivel alto son difusos**



Arquitecturas

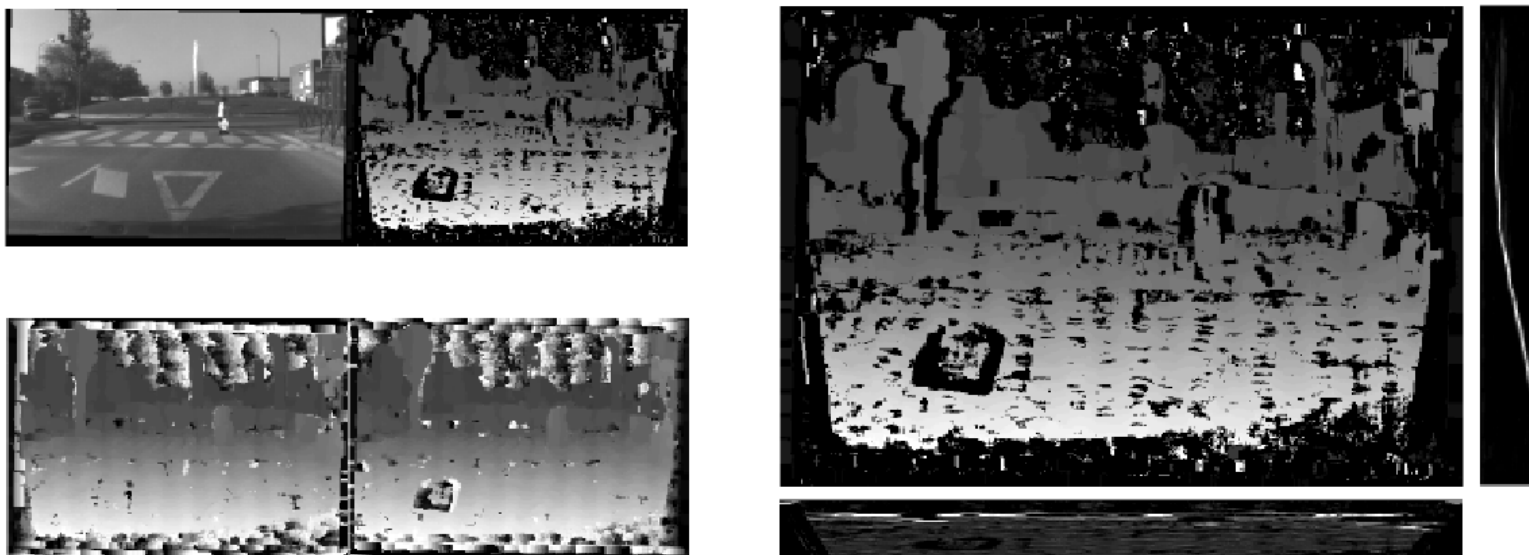
Nivel Alto: (fusión a nivel de decisión). Combina la decisión realizada de forma independiente por cada uno de los sensores. La decisión final se realiza de acuerdo a la decisión de cada nivel de forma independiente y una etapa final que tiene en cuenta la certeza de esa decisión y la fiabilidad de cada sensor.

- **Menor complejidad del proceso de fusión**
- **Mayor escalabilidad**
- **Mejora del sistema de fusión es limitada – añade fiabilidad pero no mejora la capacidad de percepción-**
- **Se usan generalmente decisores bayesianos, arboles de decisión o esquemas de votación**



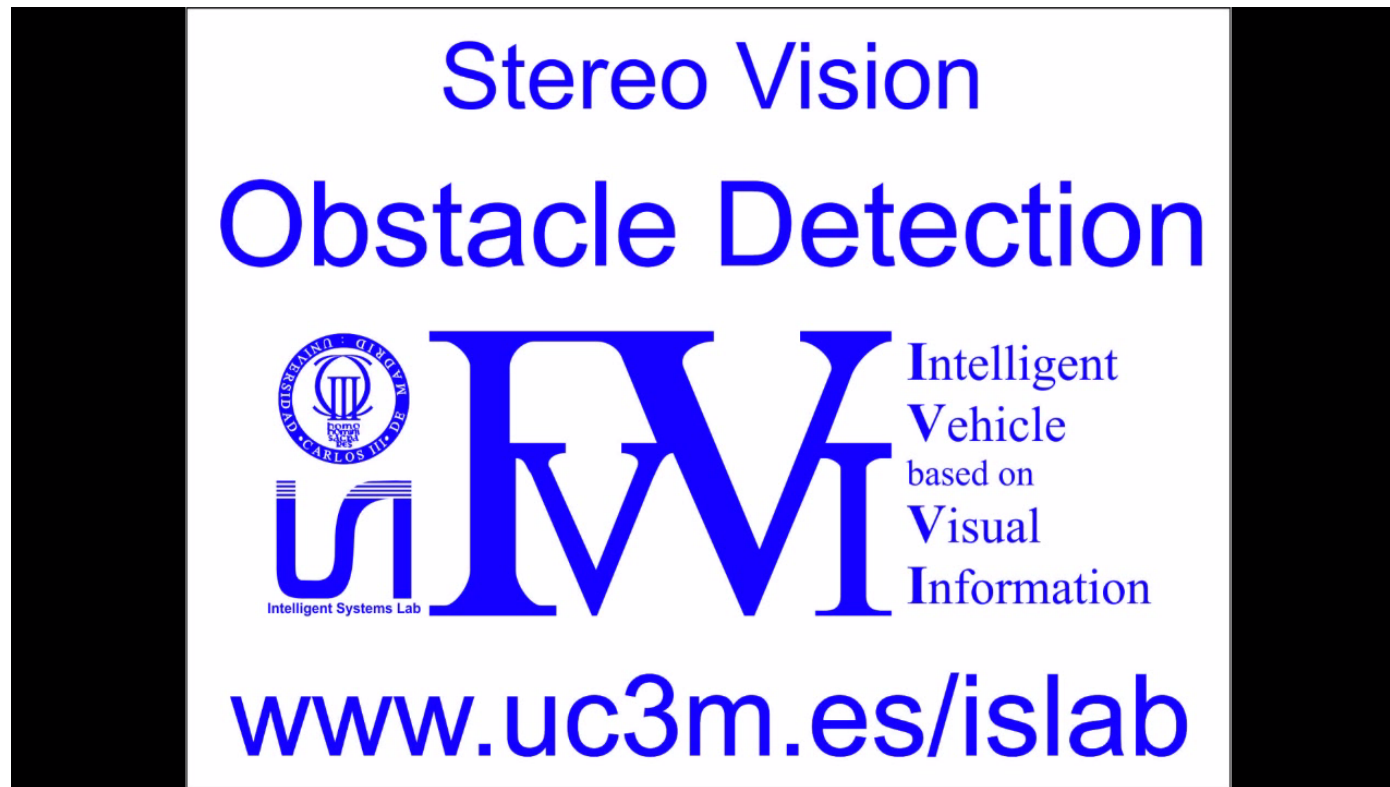
Arquitecturas

Nivel Bajo: Ejemplo 1. Visión estéreo




Arquitecturas

Nivel Bajo: Ejemplo 1. Visión estéreo



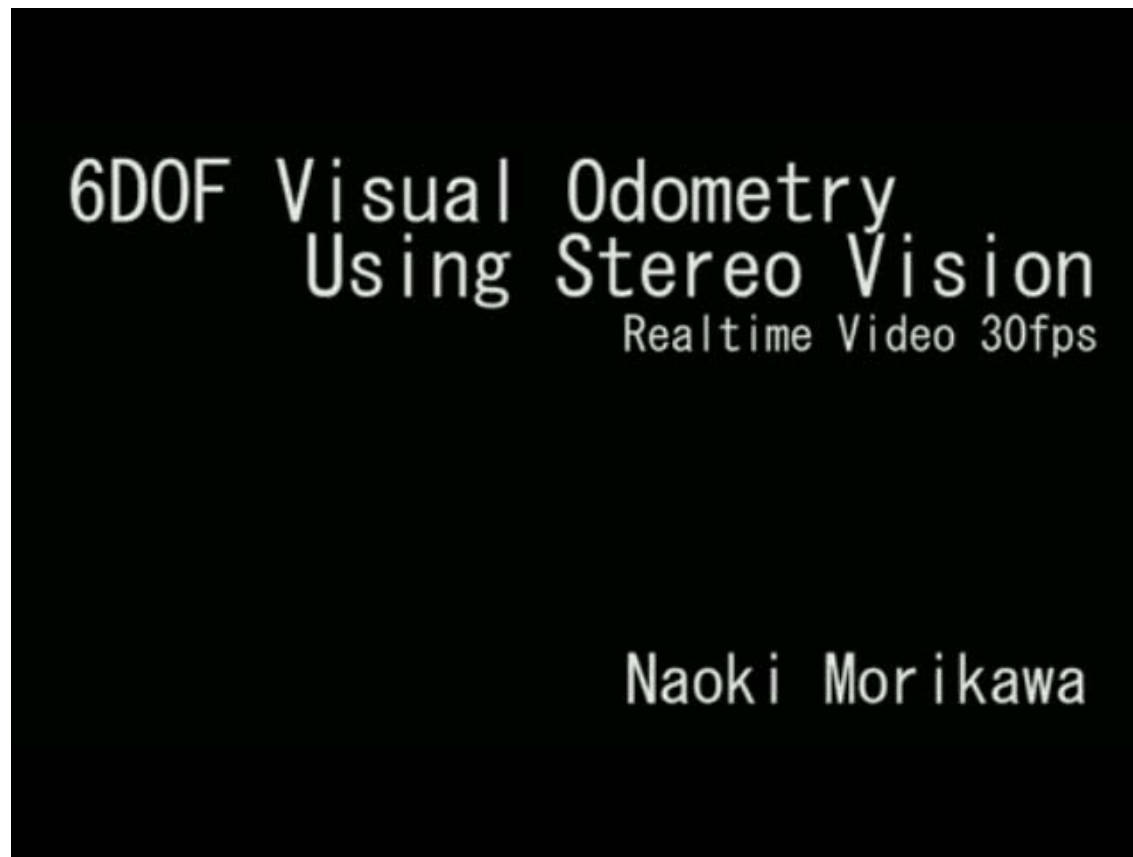
Stereo Vision
Obstacle Detection

  **IWM** Intelligent
Vehicle
based on
Visual
Information

www.uc3m.es/islab

Arquitecturas

Nivel Bajo : Ejemplo 2. Visión estéreo (2)



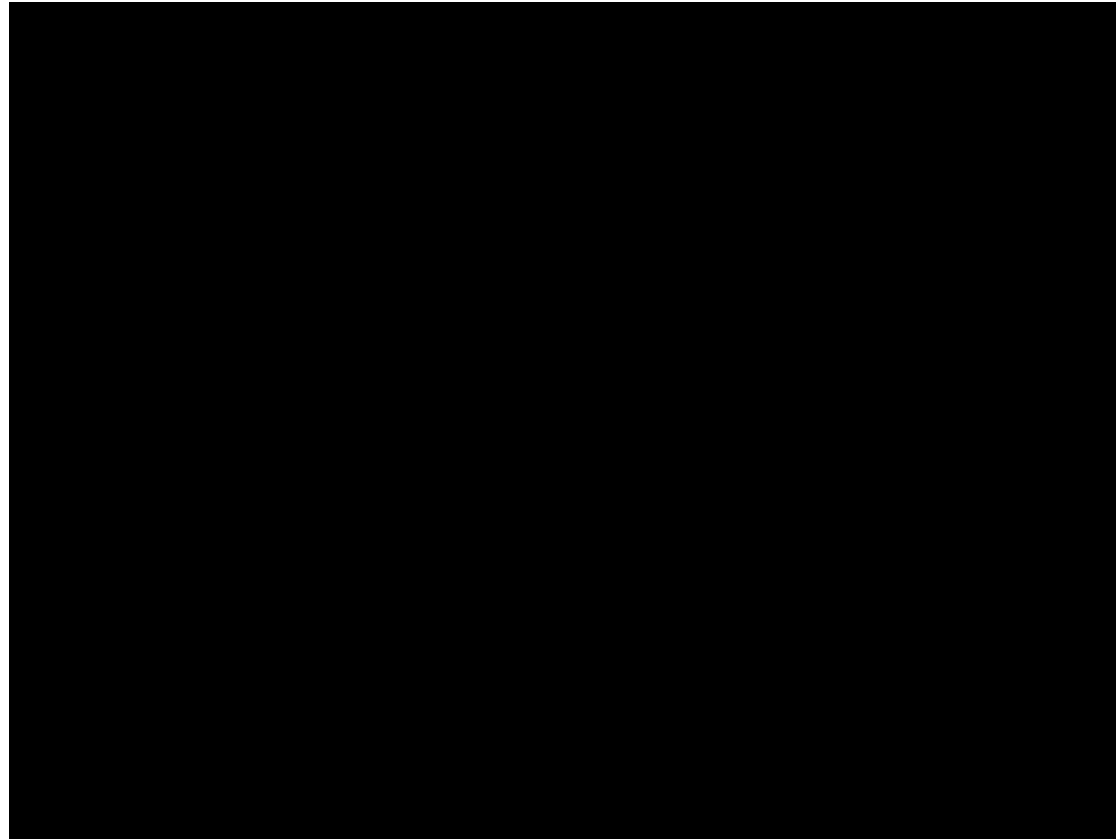
Arquitecturas

Nivel Bajo : Ejemplo 2. Visión estéreo (3)



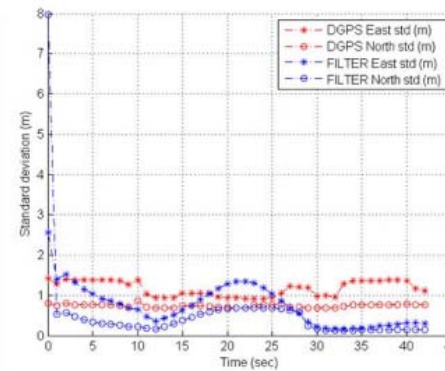
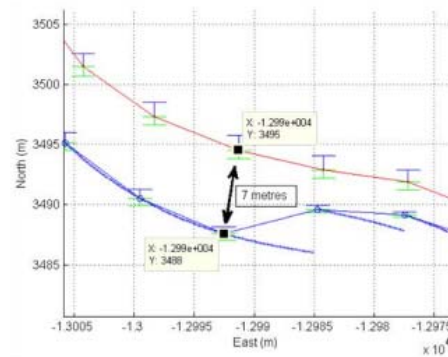
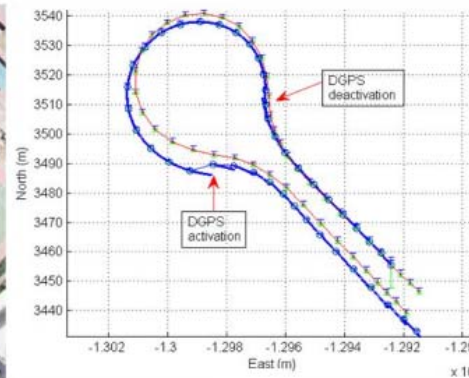
Architectures

Low Level : Example 3. Stereo Vision (3)



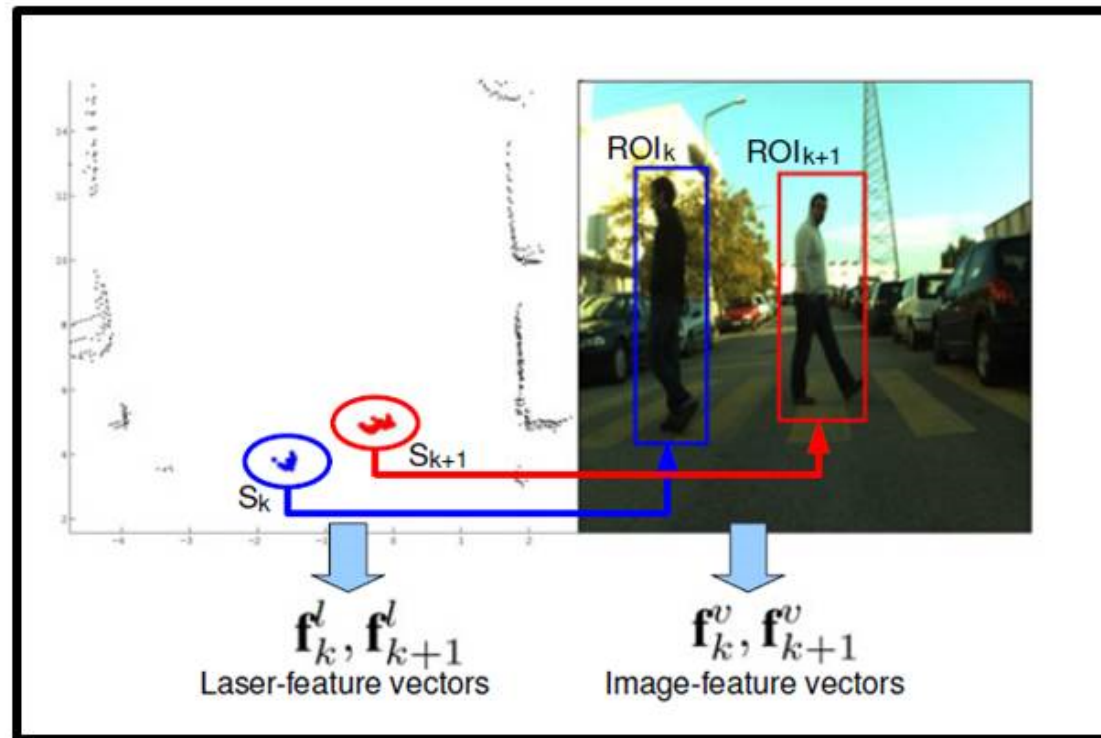
Arquitecturas

Nivel Bajo : Ejemplo 3. GPS + Inercial



Arquitecturas

Nivel Medio: Detección de peatones



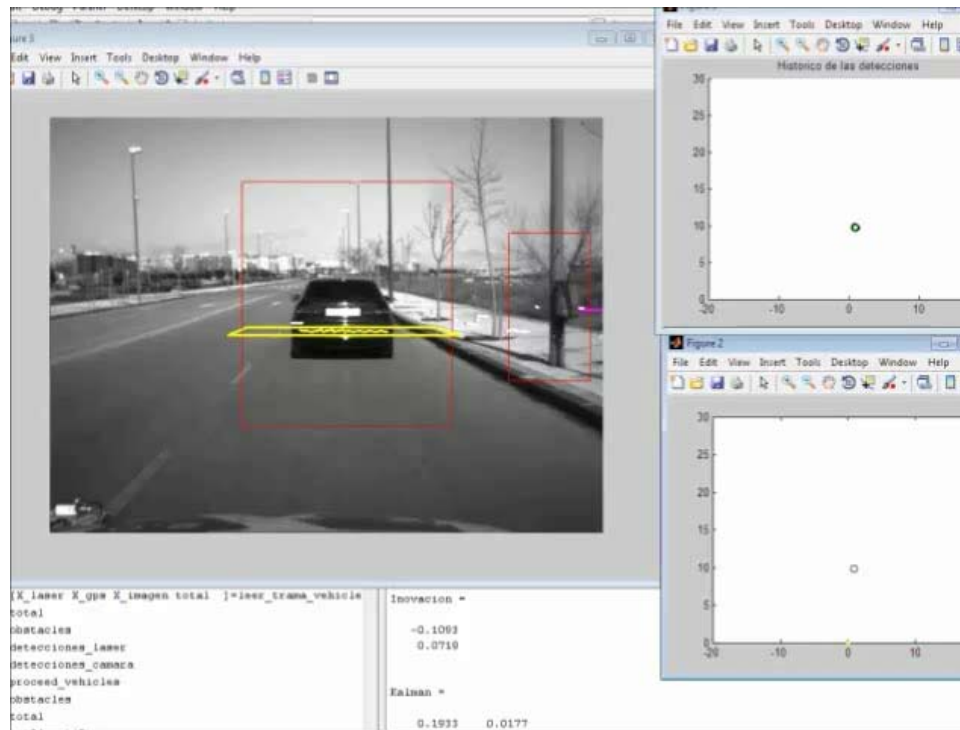
Arquitecturas

Nivel Medio: Biometrica



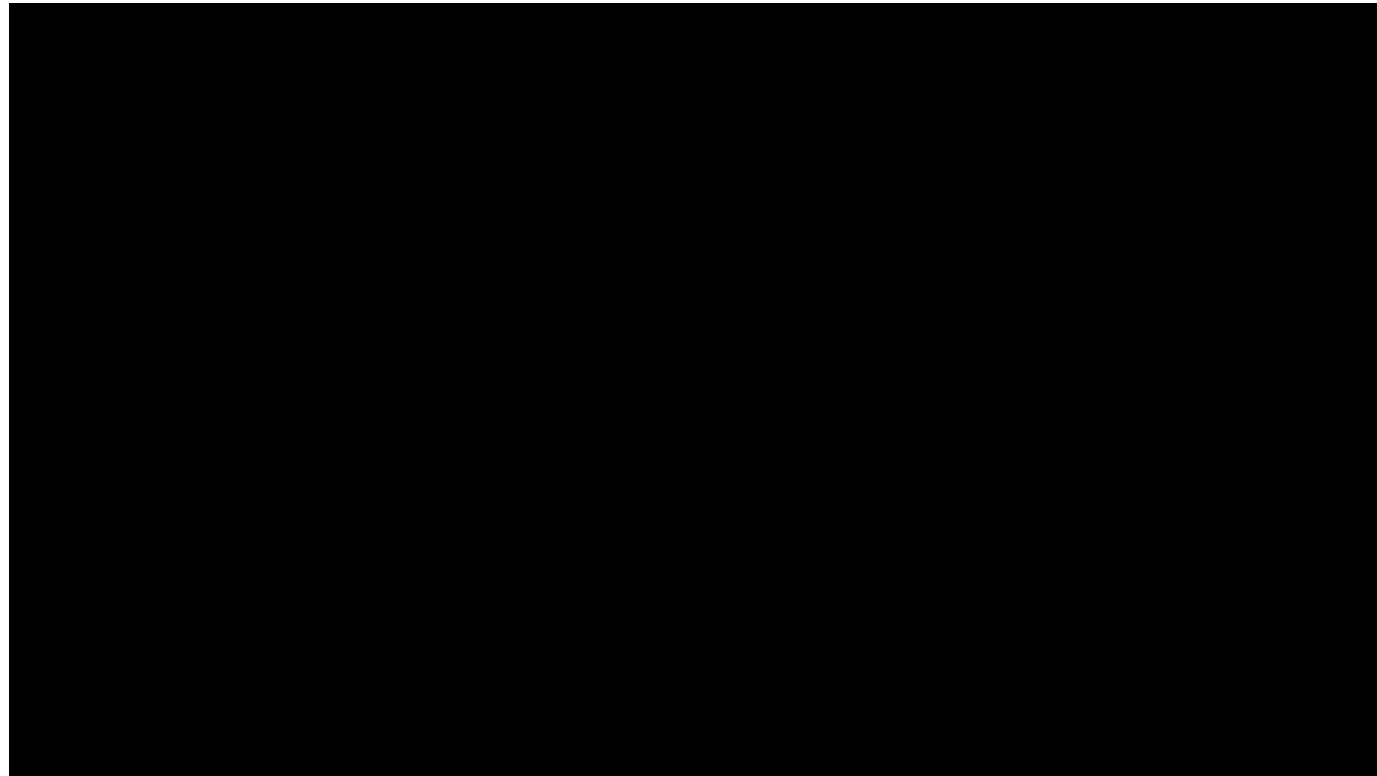
Arquitecturas

Nivel Alto: Detección de coches



Arquitecturas

Nivel Alto: Detección de peatones



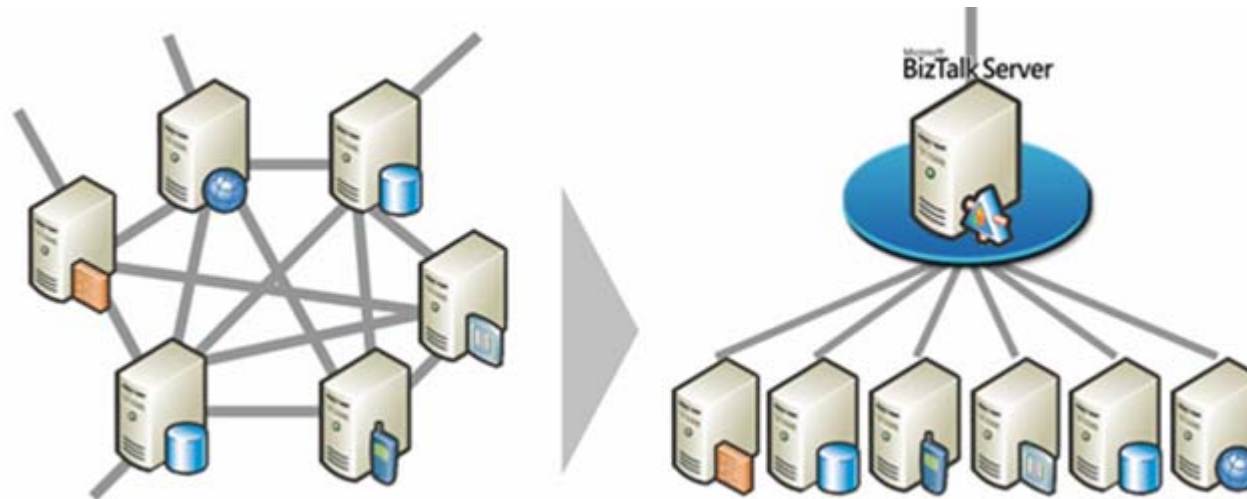
Arquitecturas

Centralizada vs Descentralizada

La movilidad es un factor fundamental en las aplicaciones actuales. Los sistemas modernos requieren de una nueva forma de diferenciar los diferentes sistemas:

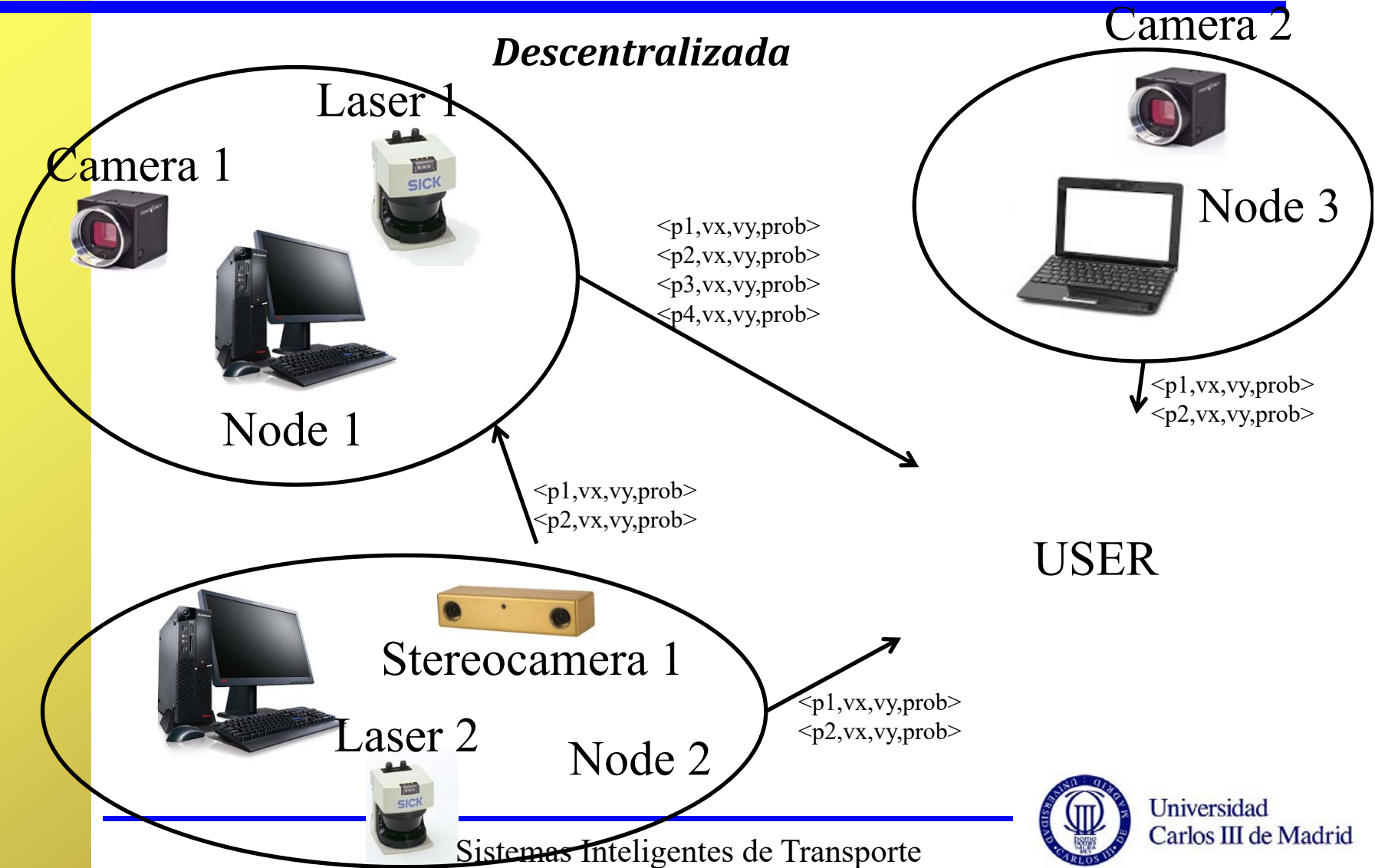
Centralizados: Aquellos con un único decisor, que recoge información de todos los sensores. La fusión se realiza de forma centralizada con toda la información disponible.

Descentralizados: Estos sistemas realizan detecciones y clasificación de forma independiente, en cada nodo, con información parcial, con uno o varios sensores, pero no con la información de todos ellos. Generalmente esta fusión sensorial requiere de un sistema a alto nivel capaz de asociar las diferentes detecciones.

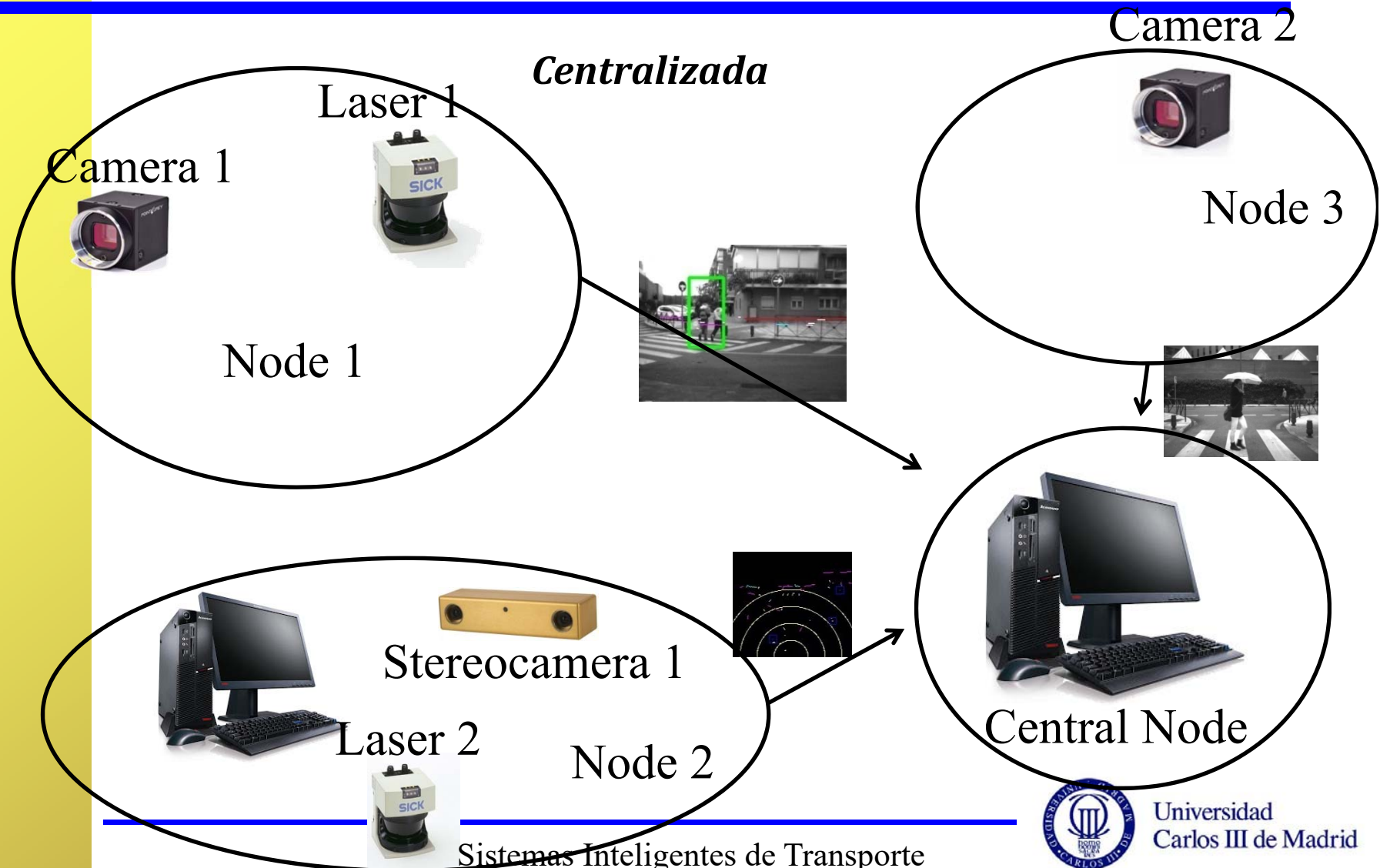


Niveles vs central./Decentral.

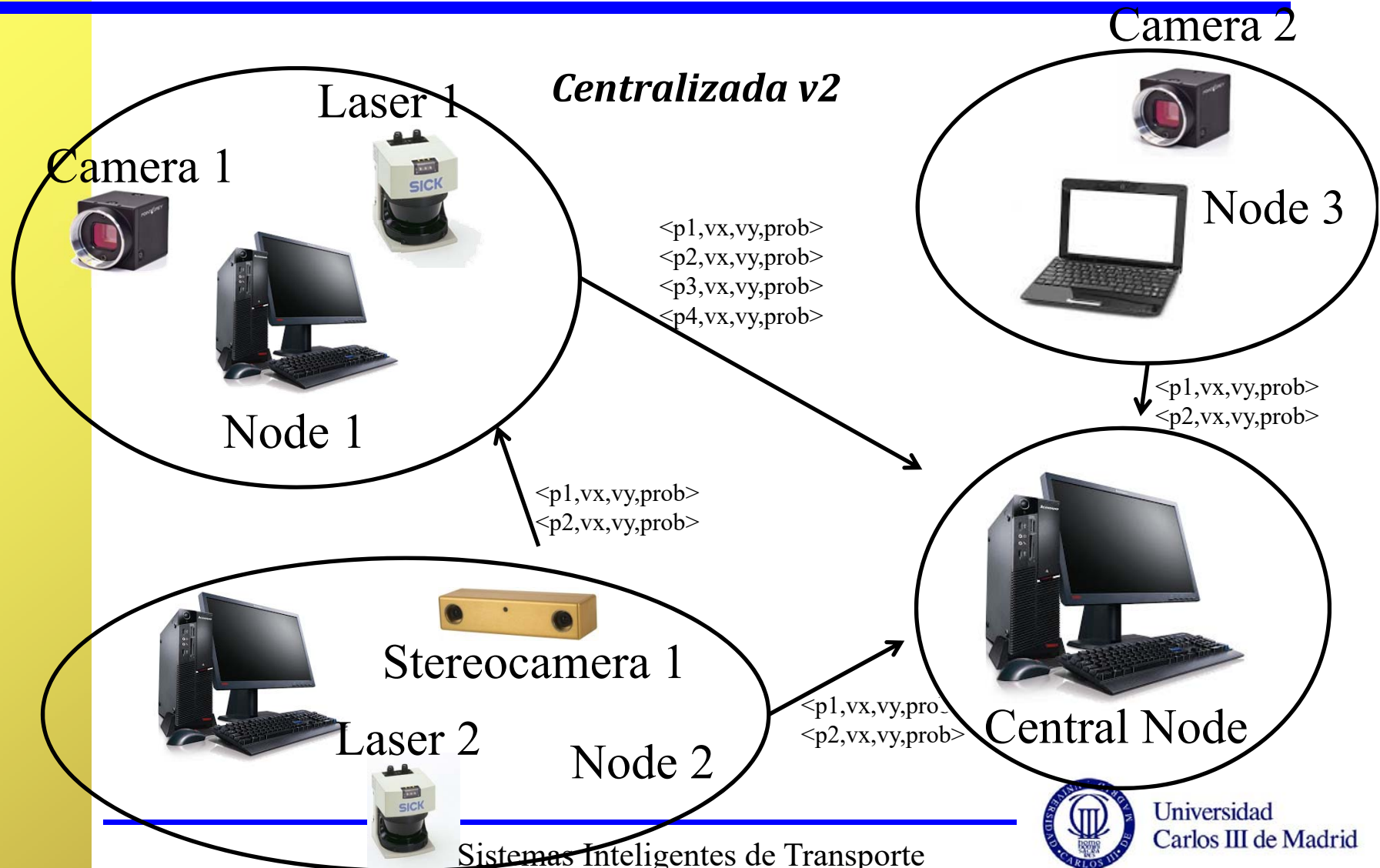
Arquitecturas



Arquitecturas

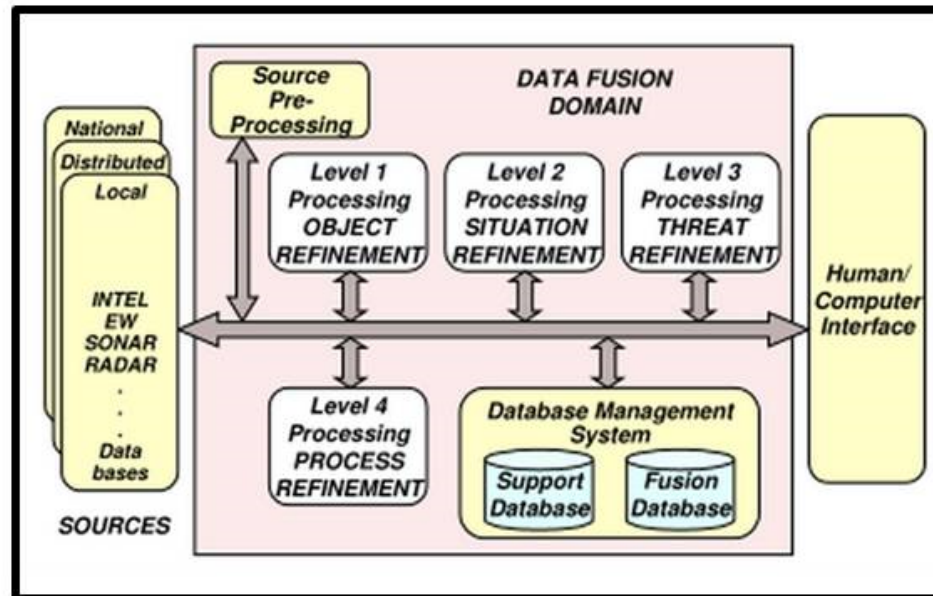


Arquitecturas



Modelos

The JDL model v2



En 1999, Bowman y White, postulan un nuevo modelo actualizado, que es una revisión del modelo clásico de JDL. La idea es dar una mejor categorización de los diferentes problemas que nos encontramos con los sistemas de fusión sensorial, intentando mantener cierta consistencia.

Procesos y Tareas

JDL Process	Processing function	Techniques
Level 1:Object Refinement	Data alignment	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinate transforms • Units Adjustments
	Data/object correlation	<ul style="list-style-type: none"> • Gating techniques • Multiple hypothesis association • Probabilistic data association • Nearest neighbor
	Position/kinematic and attribute estimation	<ul style="list-style-type: none"> • Sequential estimation <ul style="list-style-type: none"> - Kalman filter - $\alpha\beta$ filter - Multiple hypothesis • Batch estimation • Maximum likelihood • Hybrid methods
	Object identity estimation	<ul style="list-style-type: none"> • Physical models • Feature-based techniques <ul style="list-style-type: none"> - Neural networks - Cluster algorithms - Pattern recognition • Syntactic models
Level 2:Situation Refinement	Object aggregation Event/activity interpretation Contextual interpretation	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge-based systems(KBS) <ul style="list-style-type: none"> - Rule-based expert systems - Fuzzy logic - Frame-based • Logical templating • Neural networks - Blackboard systems
Level 3:Threat Refinement	Aggregate force estimation Intent prediction Multi-perspective assessment	<ul style="list-style-type: none"> • Neural networks - Blackboard systems • Fast-time engagement models
Level 4:Process Refinement	Performance evaluation	<ul style="list-style-type: none"> • Measure of evaluation • Measures of performance • Utility theory
	Process control	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-objective optimization <ul style="list-style-type: none"> - Linear programming - Goal programming
	Source requirement determination	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor models
	Mission management	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge-based systems

DF en ITS

En el campo de los vehículos inteligentes, estaríamos ante lo que se denomina Multiple Target Tracking, o seguimiento de múltiples objetivos (MTT). Consiste en aplicaciones de detección y seguimiento de objetivos, que en el caso de los sistemas inteligentes de transporte consiste en detección de peatones, señales de tráfico, otros vehículos, etc...

Data Alignment. O asociación de datos. Consiste en que todos los sensores han de compartir un único sistema de referencia, es decir incluye todas las tareas de cambios de coordenadas o sincronización de tiempos. Generalmente estos sistemas están orientados a la aplicación y no existe soluciones generales.

Data/object correlation. Las detecciones anteriores han de ser asociadas con detecciones actuales, en esto consisten la correlación de detecciones.

Position/movement estimation. Una vez detectados los objetos, es importante estimar el movimiento, para poder anticipar movimientos o permitir el seguimiento de los mismos. Ejemplos. Filtros de Kalman, Filtro de Kalman Extendido, Filtro de Partículas, etc...

Object/identity estimation. Finalmente hay que indicar al sistema si existe o no un determinado objeto, para ello es necesario dar una “estimación final”, basada en la información disponible.

DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

3 modelos, dependiendo de si los sensores son síncronos o asíncronos:

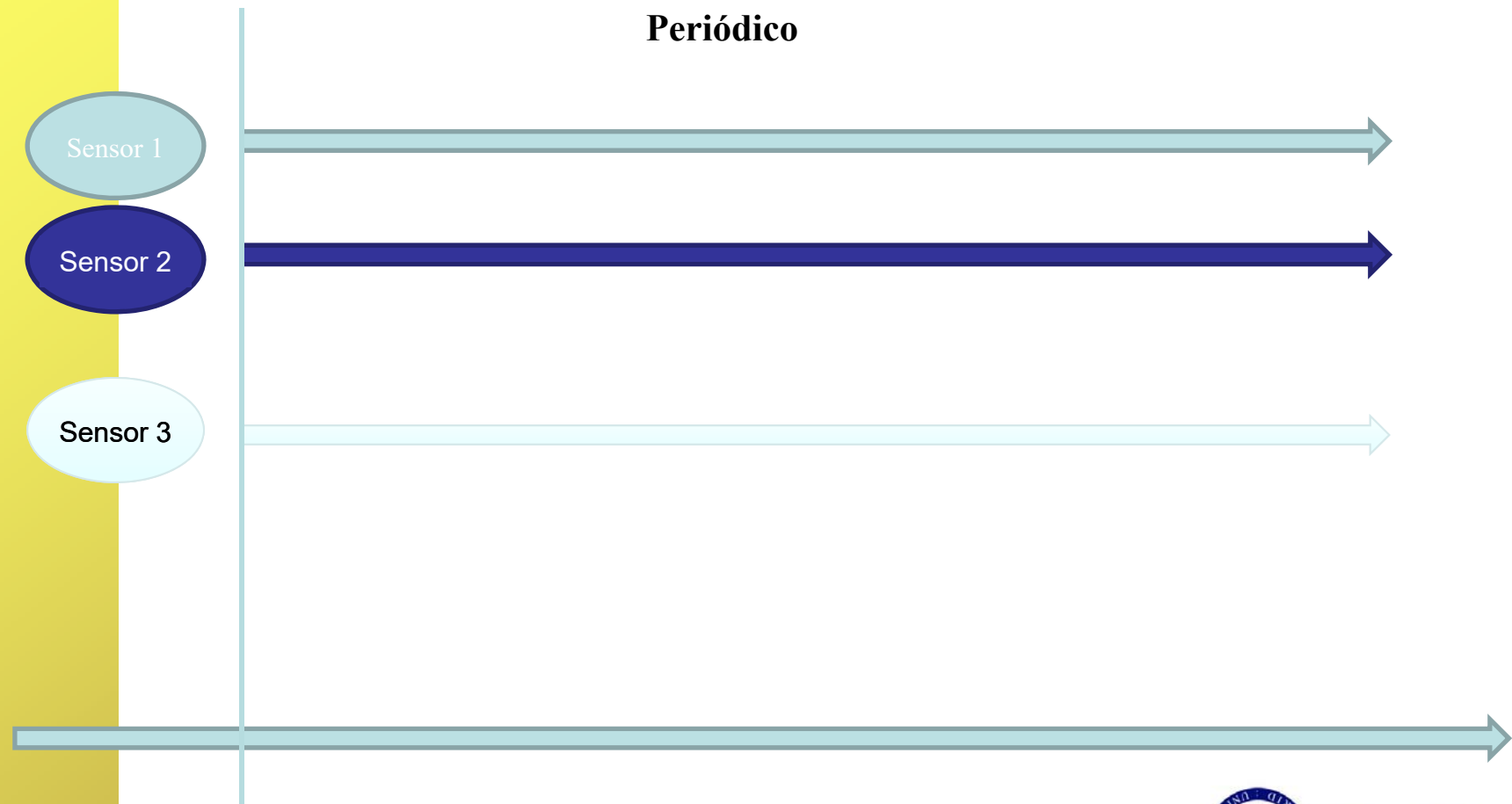
Periódico. El conocimiento a priori del momento de recogida de datos hace que podamos anticipar cuando se realizará la fusión sensorial.

Periódico con refuerzo. Uno de los sensores, al menos, es periódico, lo que permite tener una base, o instante para realizar las previsiones y los demás sensores no síncronos pueden añadir sus observaciones en esos instantes.

Orientado a eventos. Todos los sensores son asíncronos, luego los instantes en los que se realizarán las predicciones serán variables.

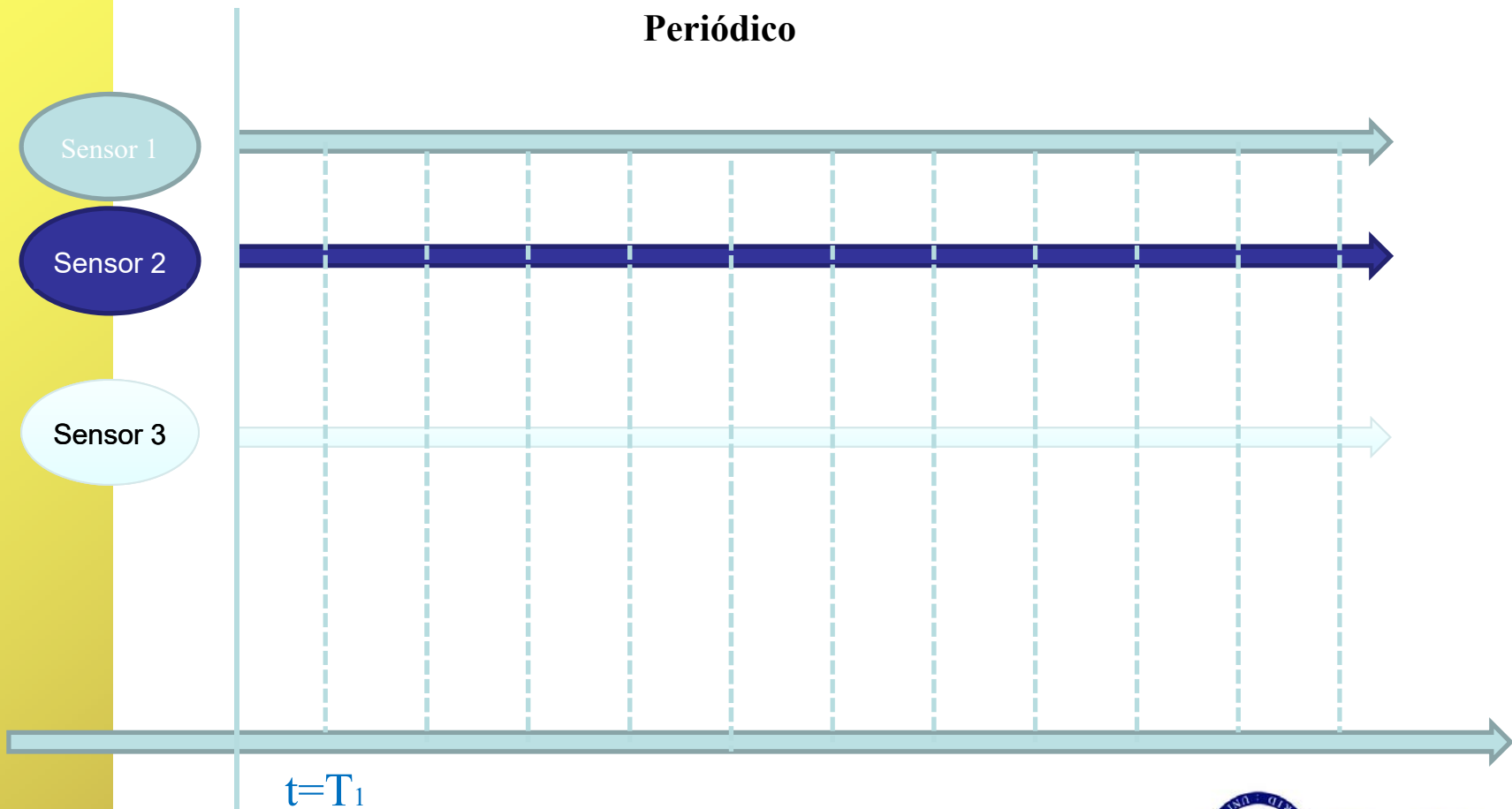
DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos



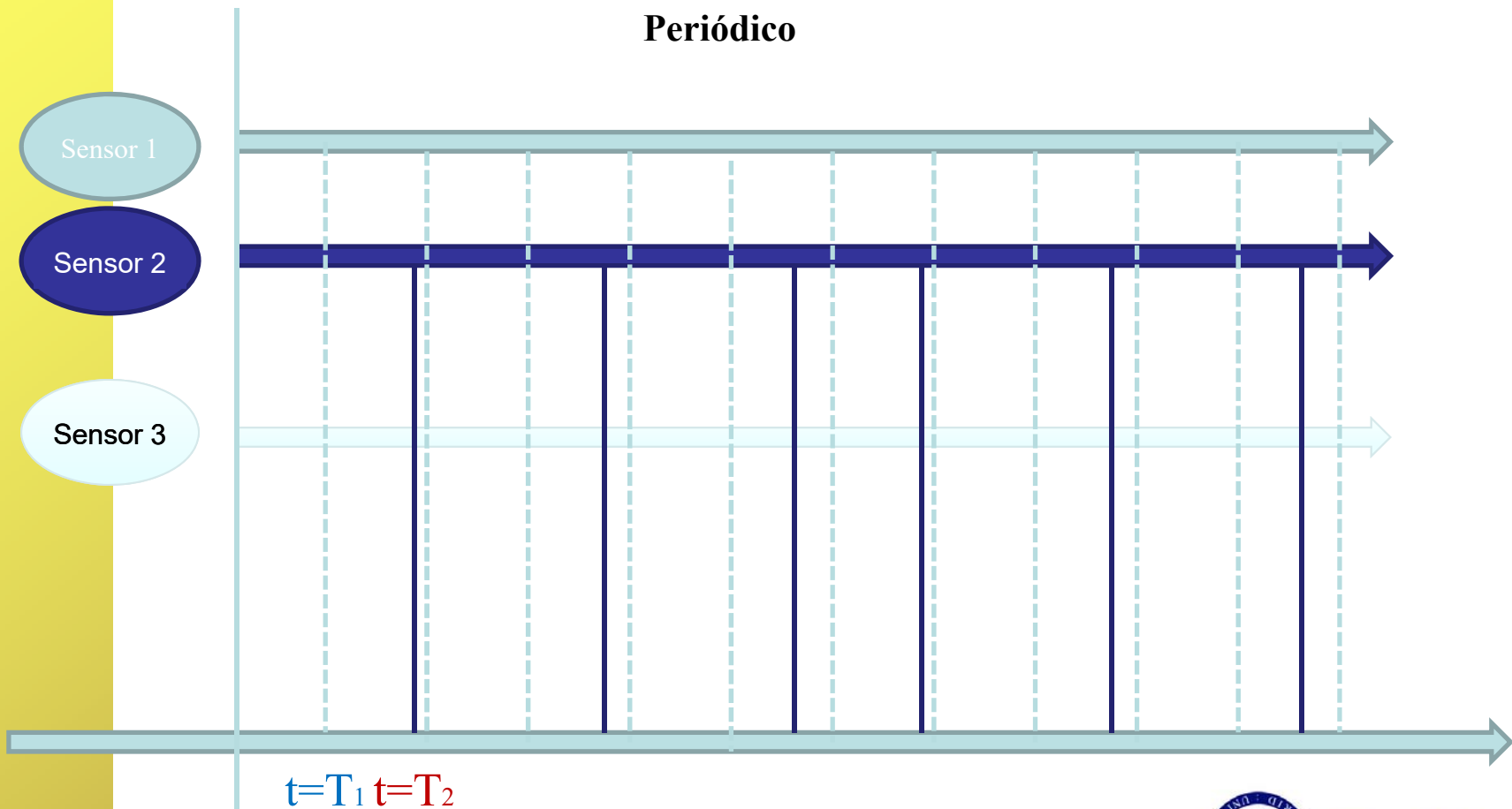
DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos



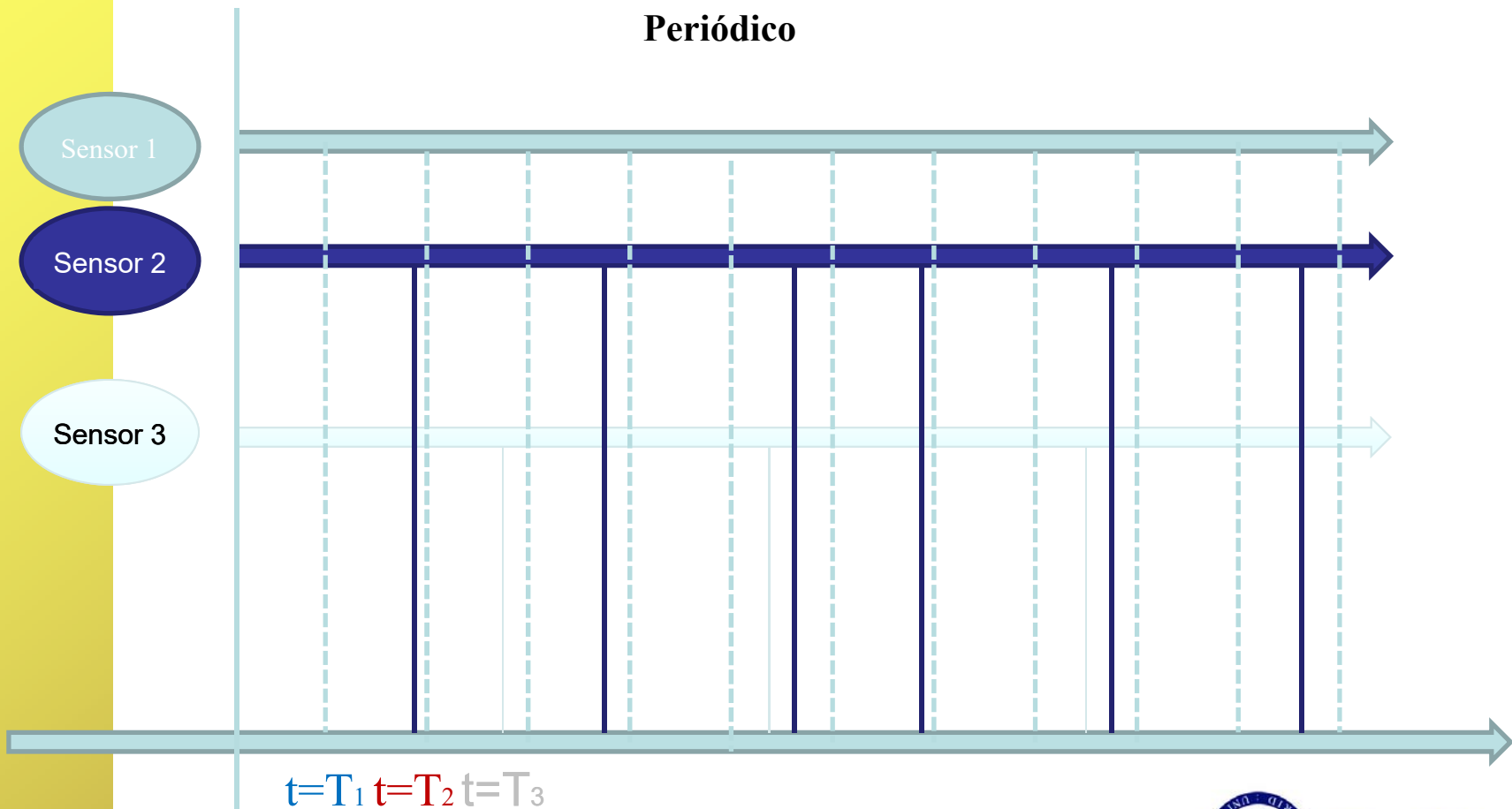
DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos



DF en ITS

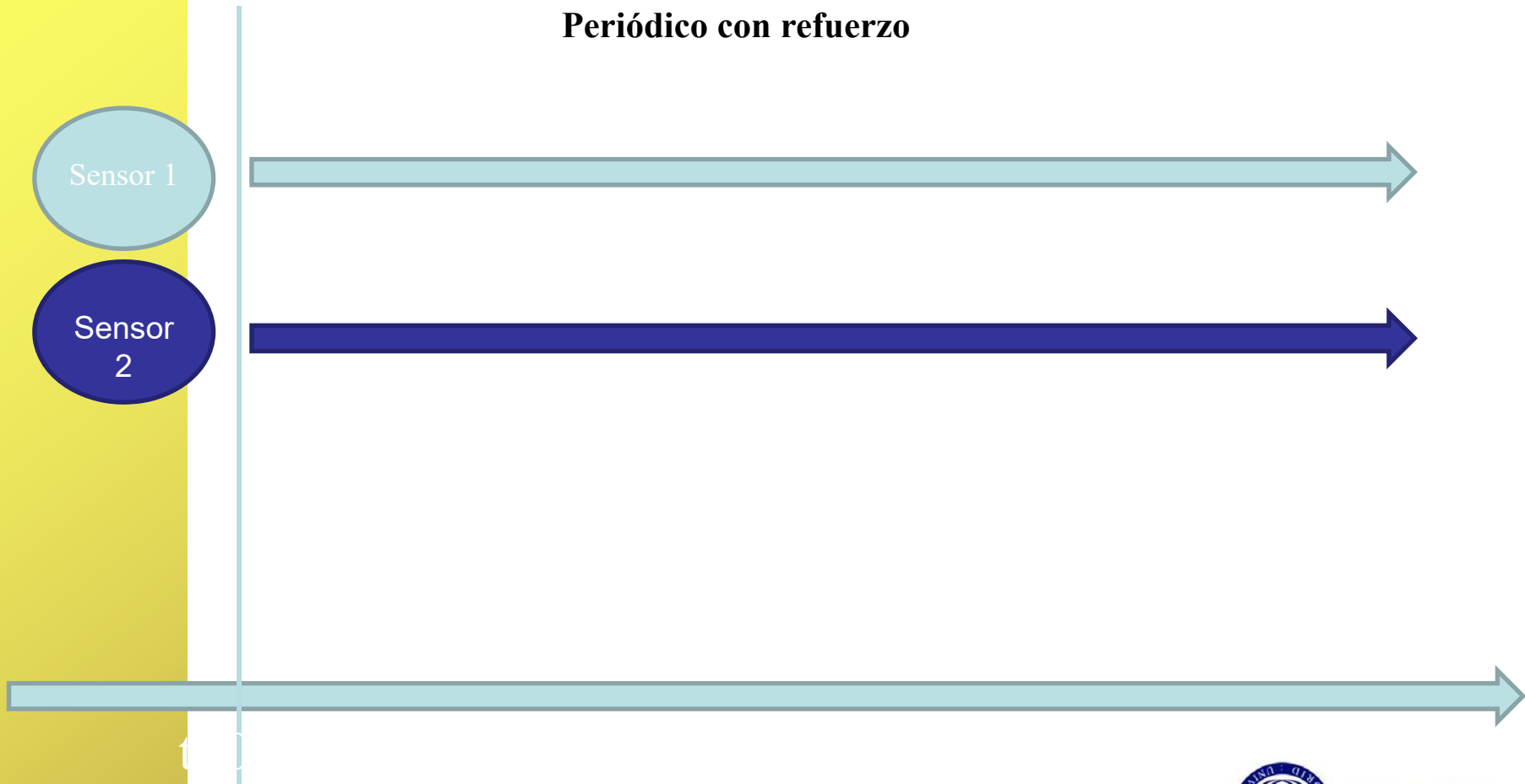
Data Alignment. Sincronización de tiempos



DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

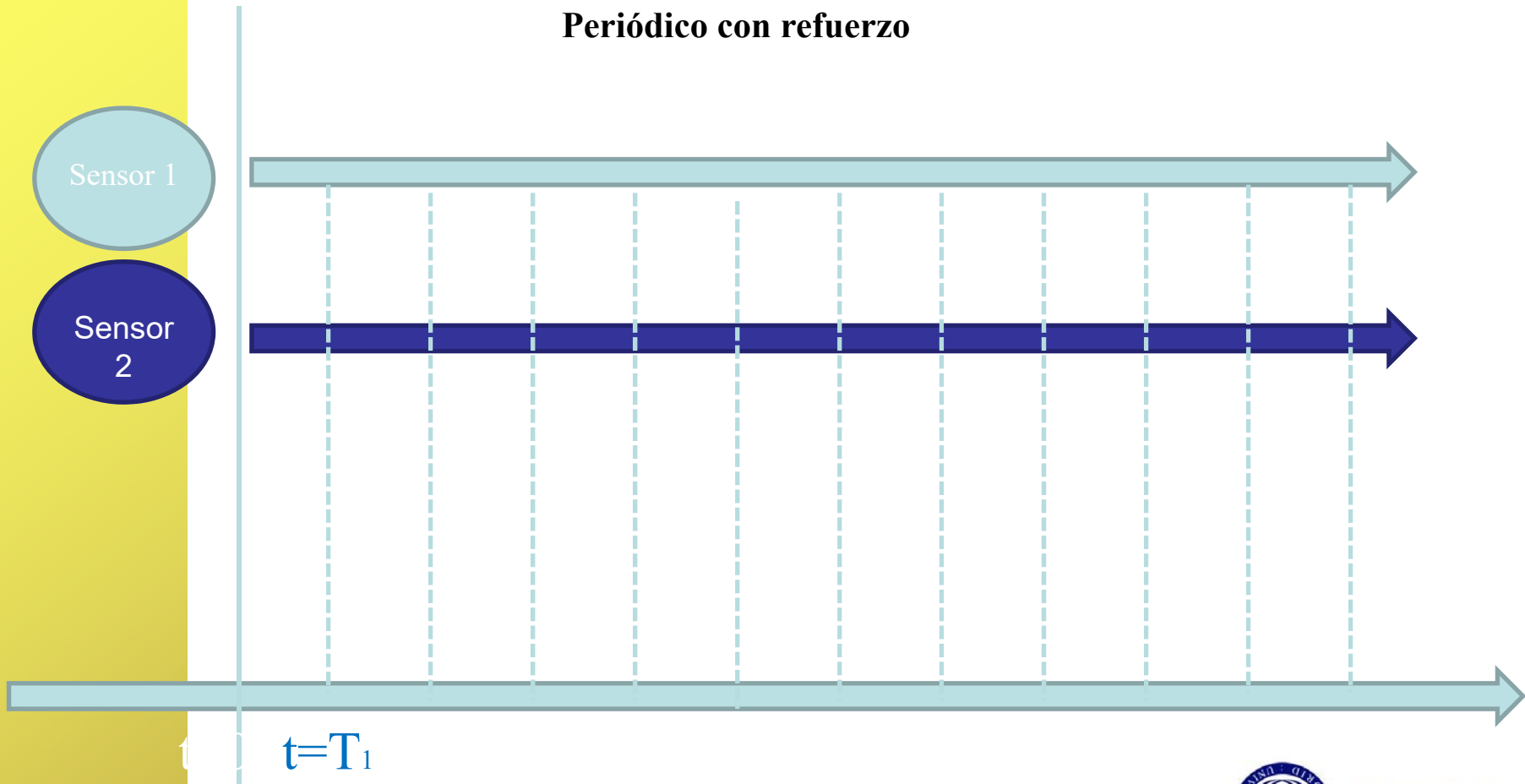
Periódico con refuerzo



DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

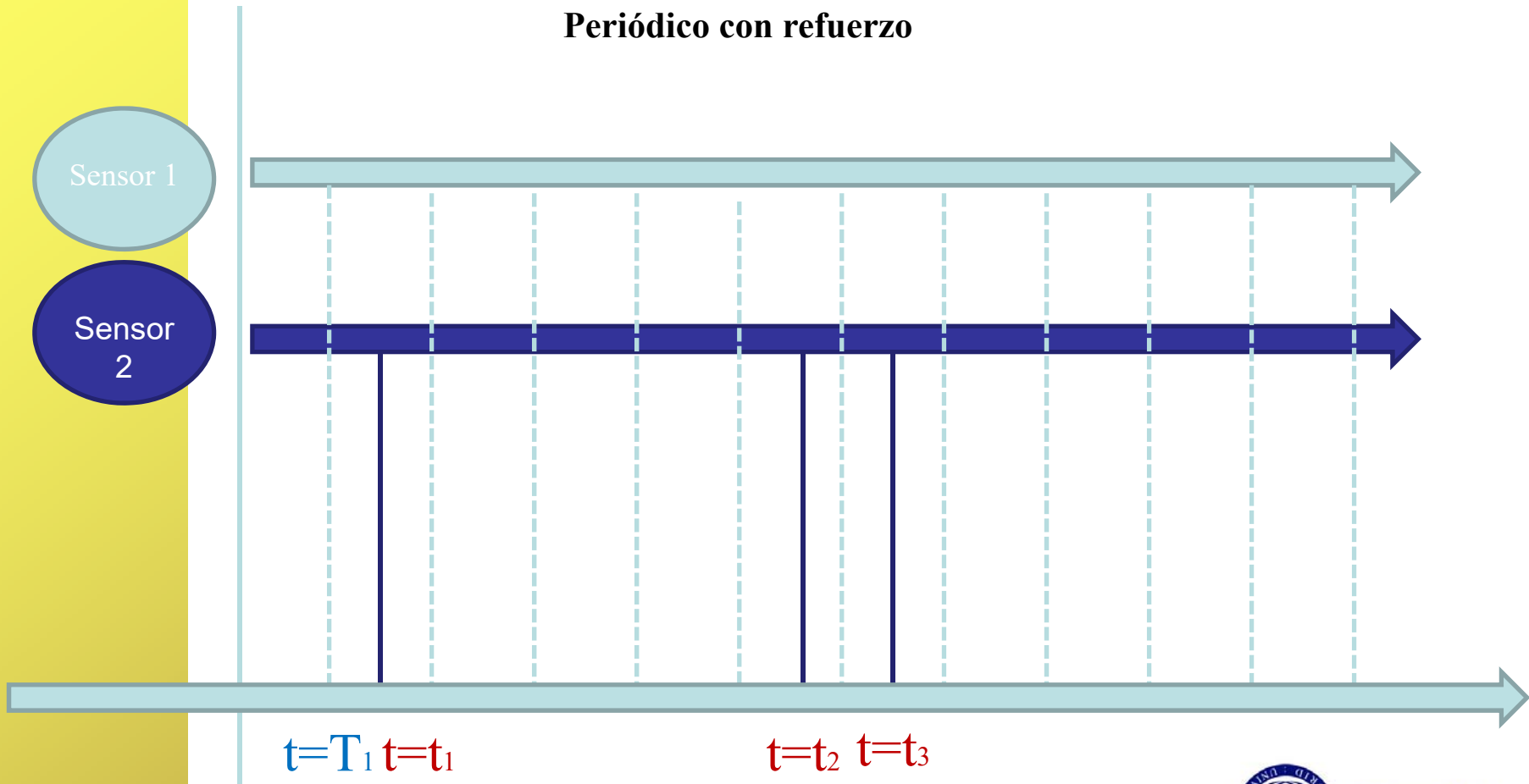
Periódico con refuerzo



DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

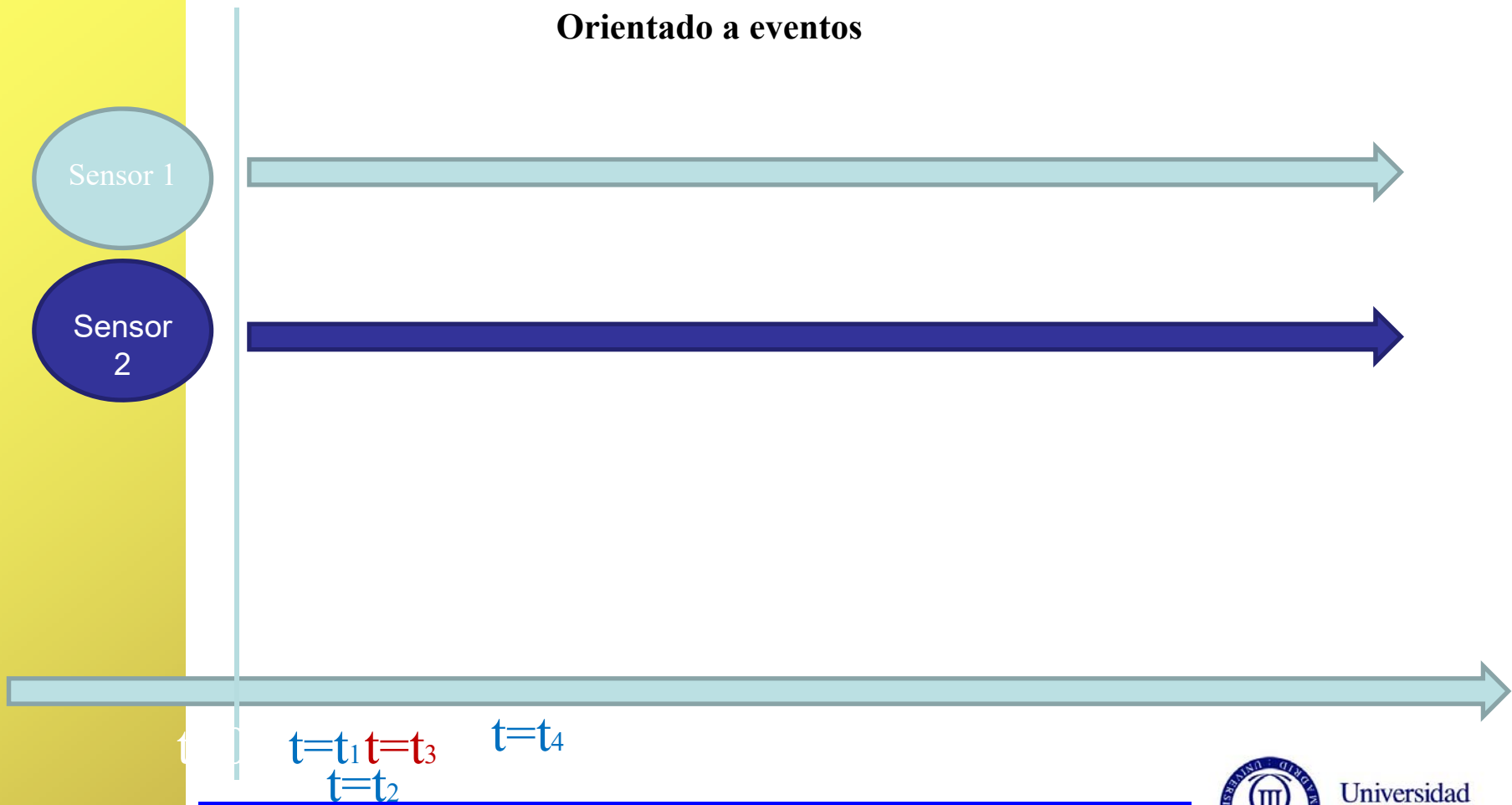
Periódico con refuerzo



DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

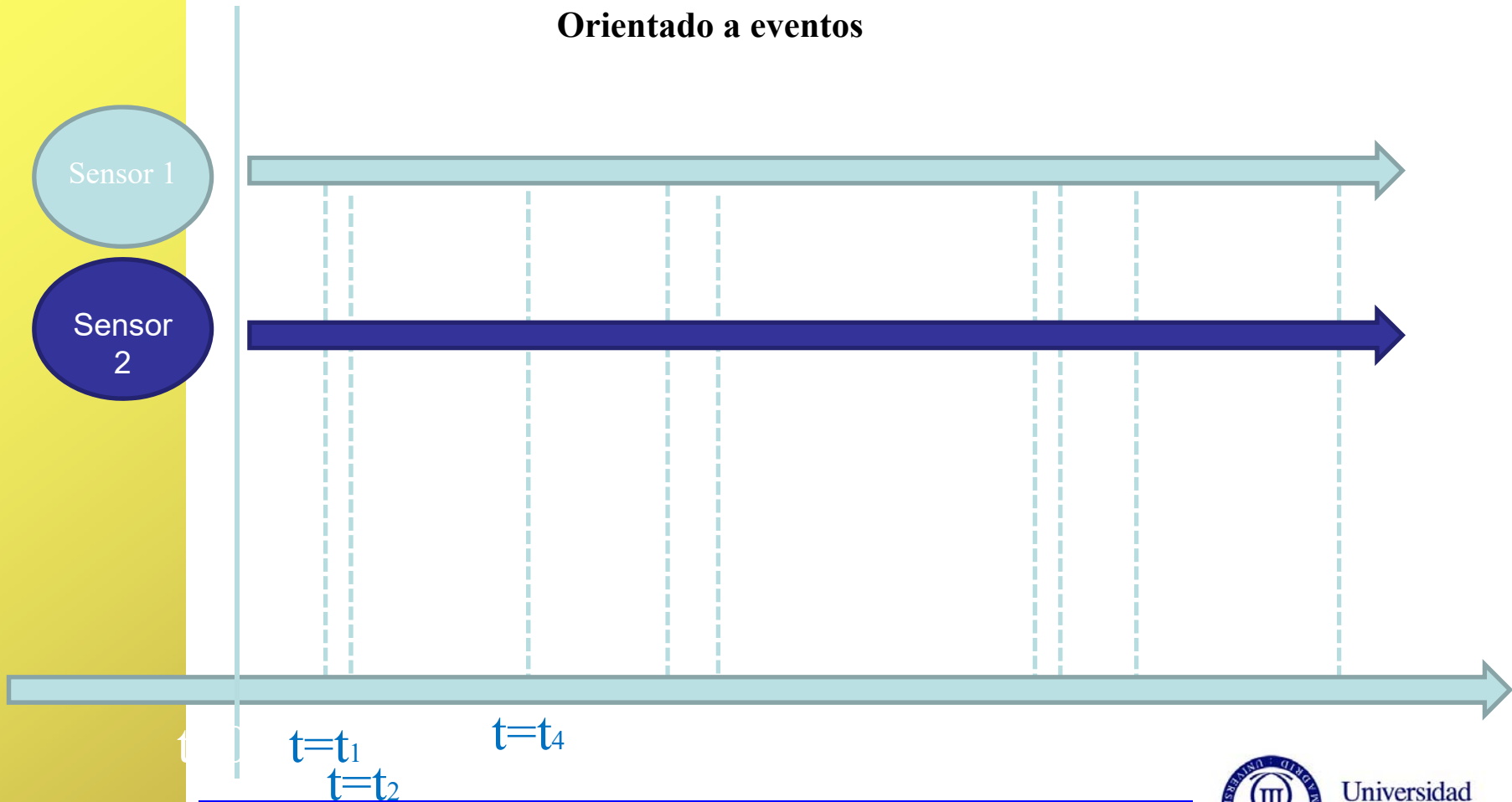
Orientado a eventos



DF en ITS

Data Alignment. Sincronización de tiempos

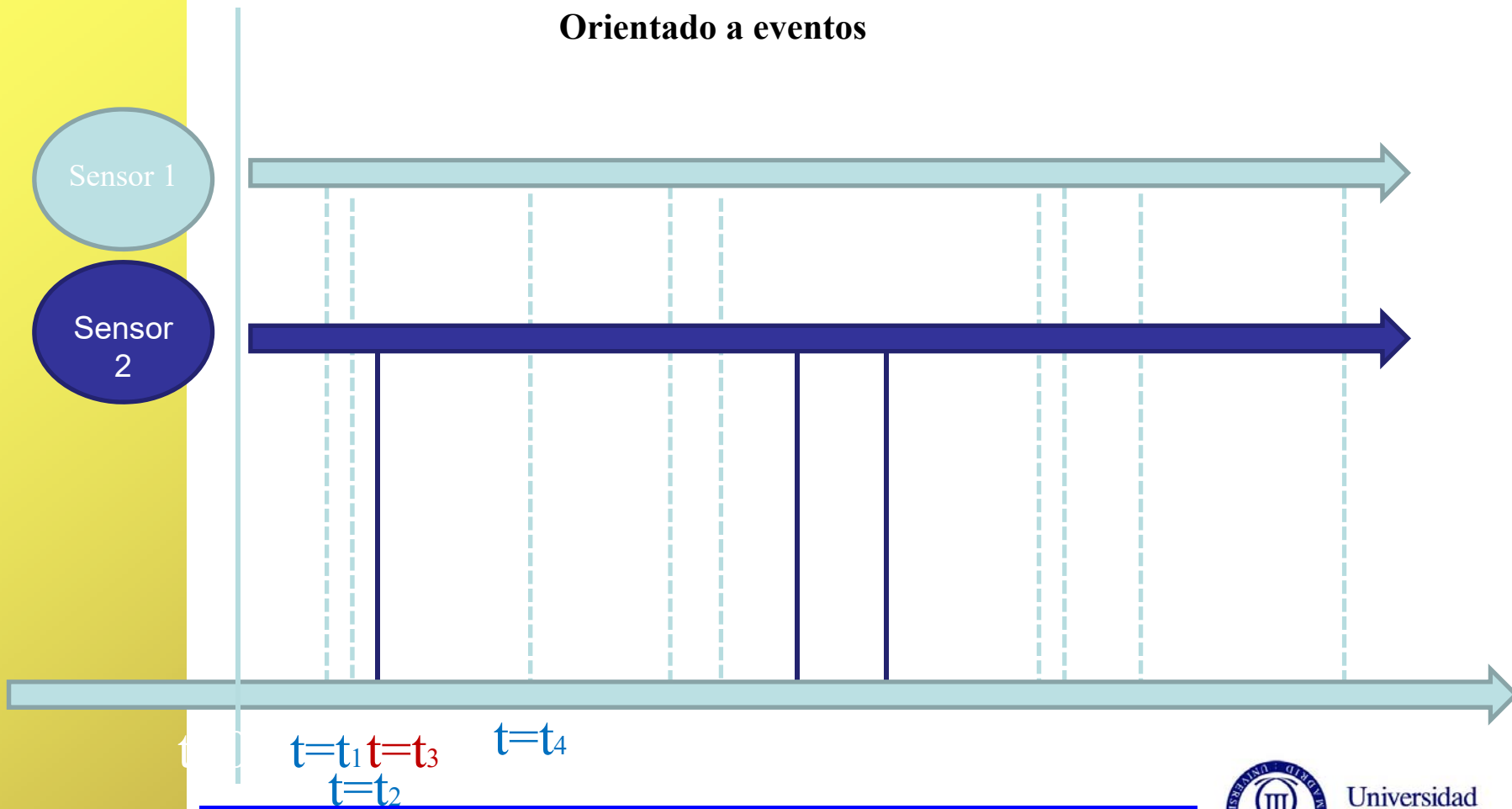
Orientado a eventos



DF en ITS

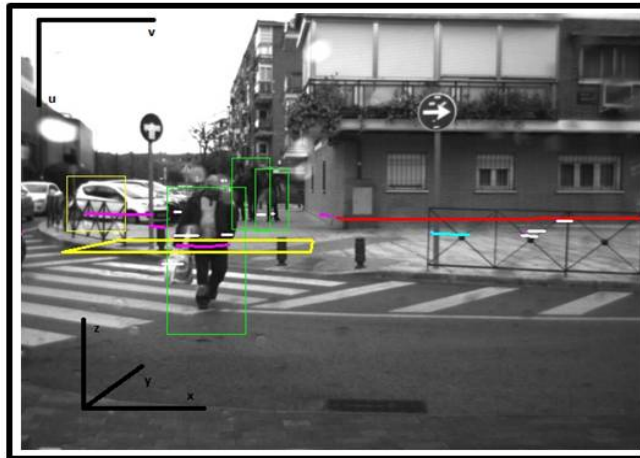
Data Alignment. Sincronización de tiempos

Orientado a eventos



DF en ITS

Data Alignment. Cambios de coordenadas. Ejemplo:



DF en ITS

Data Alignment. Cambios de coordenadas. Ejemplo:

Datos en metros (laser):

Rotación y traslación

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \left(\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + T_0 \right)$$

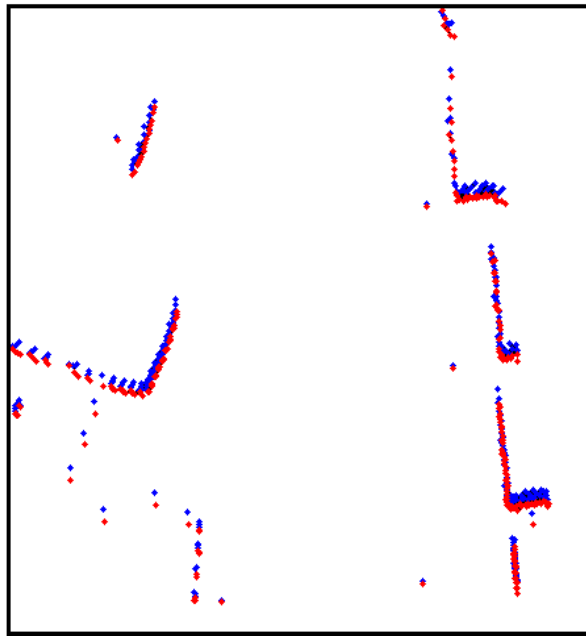
$$R = \begin{bmatrix} \cos(\Delta\delta) & 0 & \sin(\Delta\delta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\Delta\delta) & 0 & \cos(\Delta\delta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & \cos(\Delta\varphi) & -\sin(\Delta\varphi) \\ 0 & \sin(\Delta\varphi) & \cos(\Delta\varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\Delta\theta) & -\sin(\Delta\theta) & 0 \\ \sin(\Delta\theta) & \cos(\Delta\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Coordenadas en pixel (cámara):

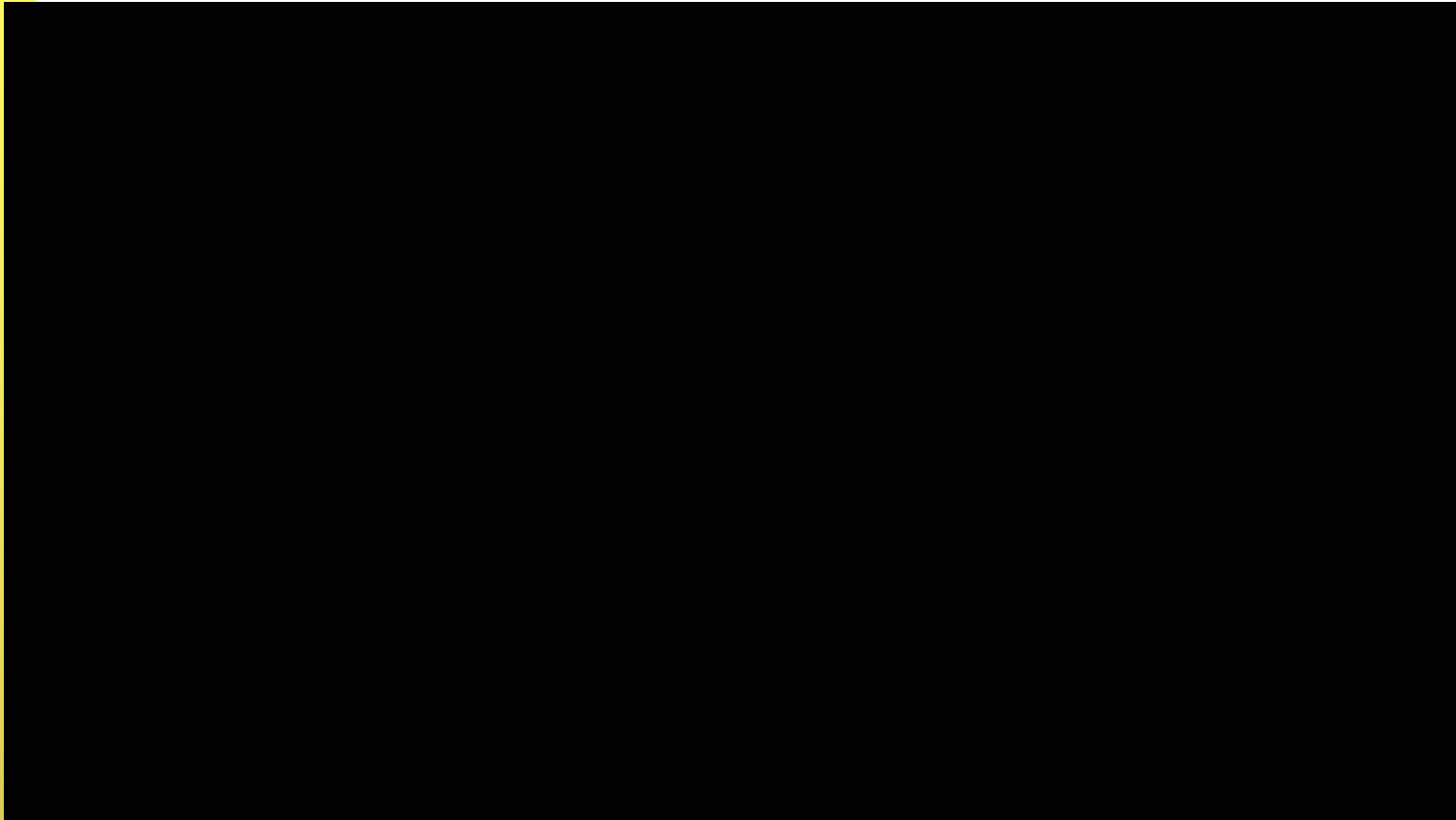
Modelo Pin-Hole

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 \\ 0 & f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ z_c \\ y_c \end{bmatrix}$$

DF en ITS



DF en ITS



DF en ITS

Data/Object Correlation

Asociar datos anteriores con las nuevas detecciones

Gating: Eliminar pares menos probables

Asociación.

- Vecino más cercano (NN)
- Seguimiento de Múltiples Hipótesis (MHT)
- Asociación probabilística (JPDA)

DF en ITS

Data/Object Correlation . ¿Cual es la diferencia? Ejemplo

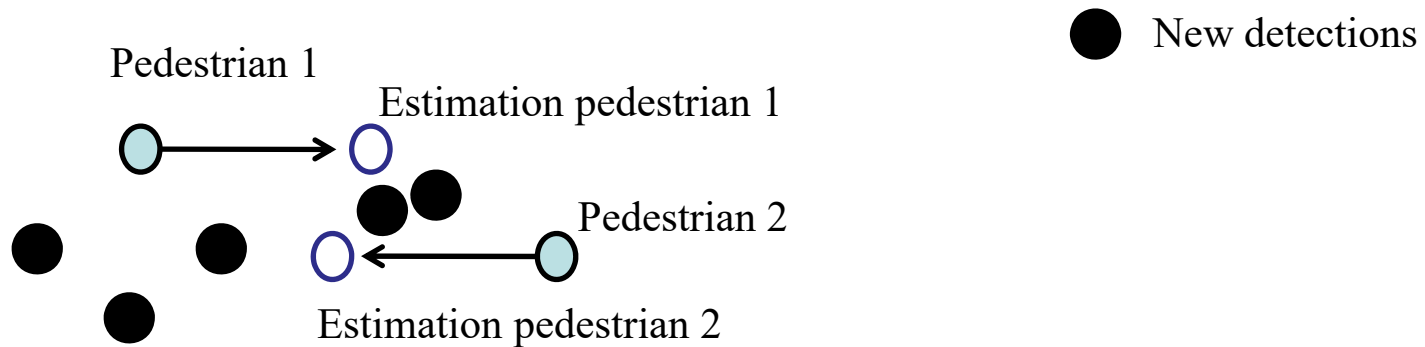
Detección de vehículos y coches basada en escaner láser y visión por computador



DF en ITS

Data/Object Correlation . ¿Cual es la diferencia? Ejemplo

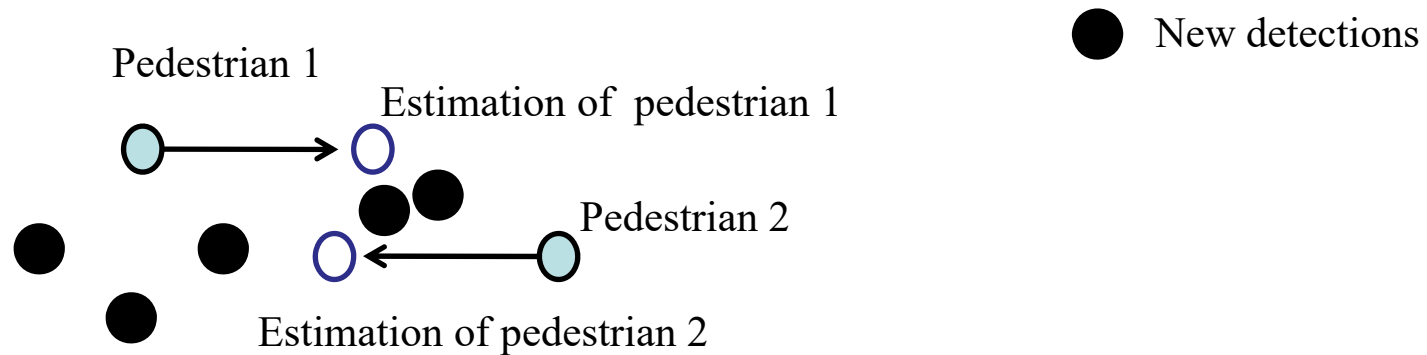
¿Como asociamos los datos?



DF en ITS

Data/Object Correlation . Vecino mas cercano (NN) Ejemplo

Time= T2

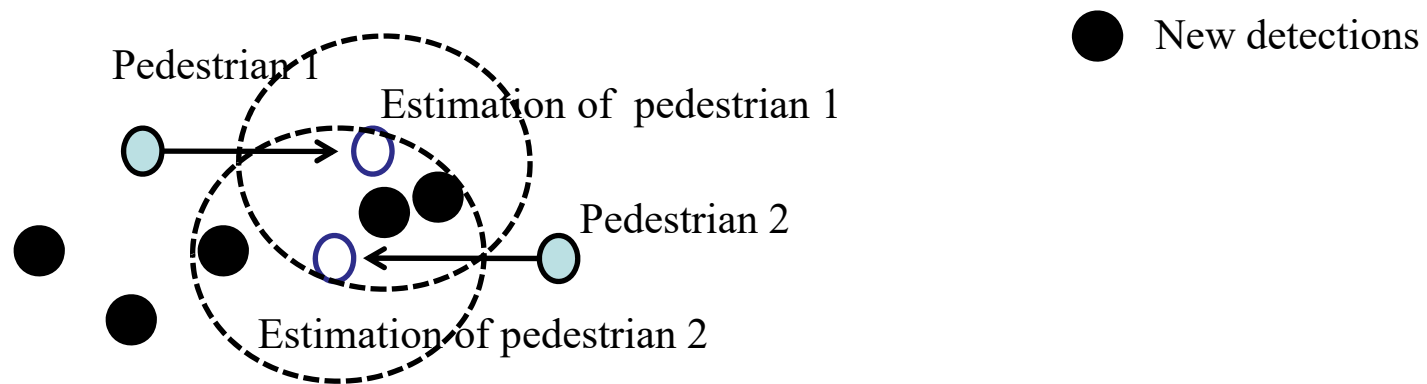


DF en ITS

Data/Object Correlation . Vecino mas cercano (NN) Ejemplo

Time= T2

GATING

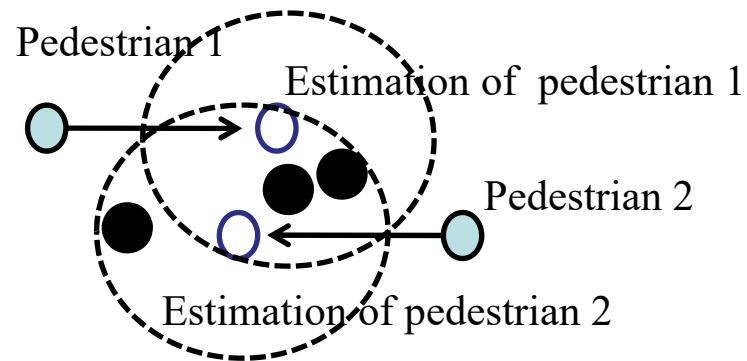


DF en ITS

Data/Object Correlation . Vecino mas cercano (NN) Ejemplo

Time= T2

GATING



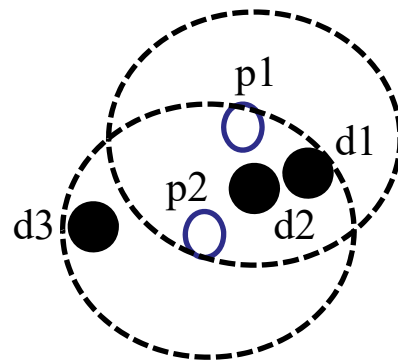
● New detections

DF en ITS

Data/Object Correlation . Vecino mas cercano (NN) Ejemplo

Time= T2

NN Algorithm



Correlation Matrix

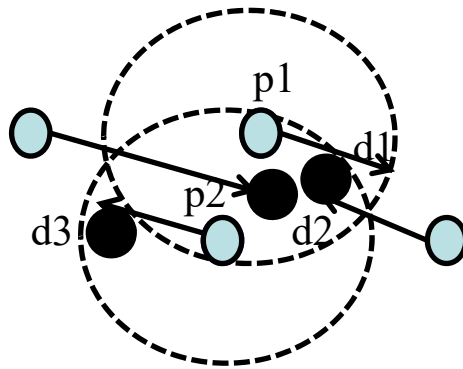
	d1	d2	d3
p1	1.5	1.2	X
p2	1.4	1.8	3

DF en ITS

Data/Object Correlation . Vecino mas cercano (NN) Ejemplo

Time= T2

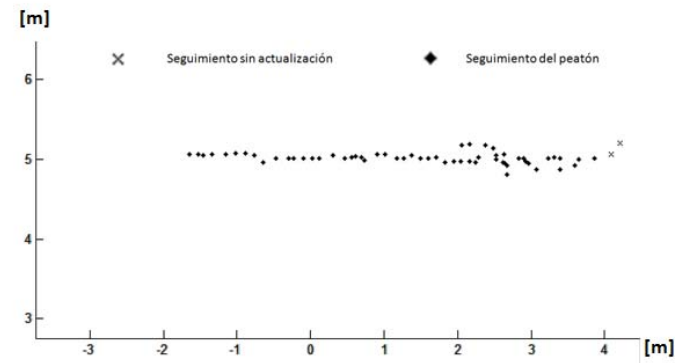
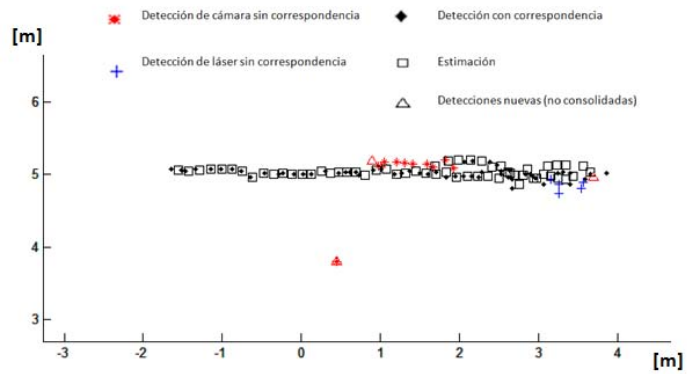
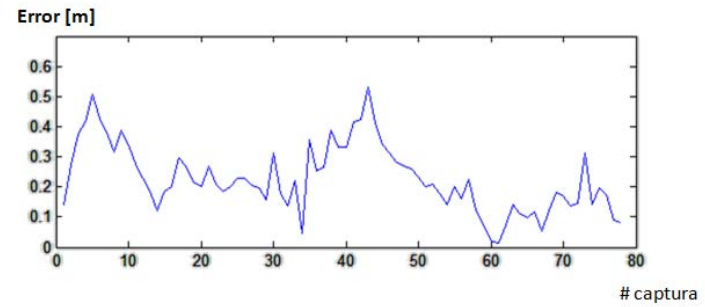
NN Algorithm



Correlation Matrix

	d1	d2	d3
p1	1.5	1.2	X
p2	1.4	1.8	3

DF en ITS



DF in Computer Vision

Identificación de objeto. (Object/identity estimation)

La decisión final se toma de acuerdo a la información ofrecida por los niveles más bajos. Generalmente también se da un grado de fiabilidad o estimación de la confianza.

Basados en características y aprendizaje automático:

- Redes Neuronales
- SVMs
- Reconocimiento de Patrones
- etc...



Bibliography

D.Hall and J. Llinas. HandBook of Multisensor Data Fusion, CRC Press.2nd Edition.

Multiple-Target Tracking with Radar Applications. S. Blackman. Artech House Publishers. 1986.

“Revisions to the JDL data fusion model.” , Alan N. Steinberg , Christopher L. Bowman , Franklin E. White. Proc. SPIE 3719, Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications III, 430 (March 12, 1999); doi:10.1117/12.341367.



DF en ITS

Object/identity estimation

Es el proceso final por el que un sistema da una detección y su grado de fiabilidad

Depende de la tecnología, sensores disponibles, arquitectura...

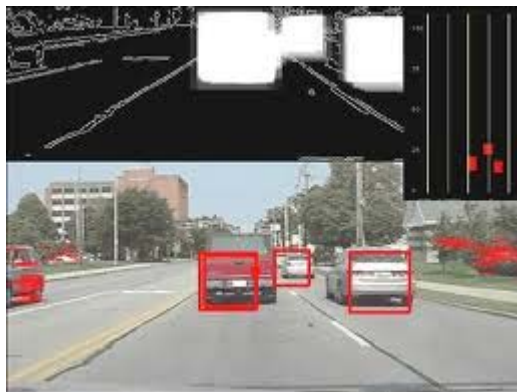
DF en ITS

Sensores: Camaras:



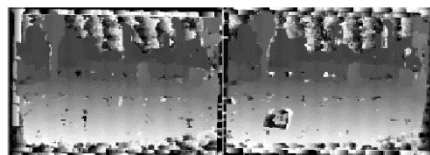
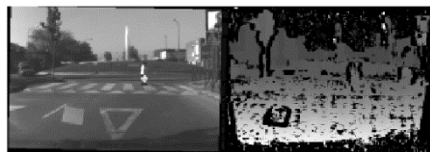
DF en ITS

Sensores: Camaras:



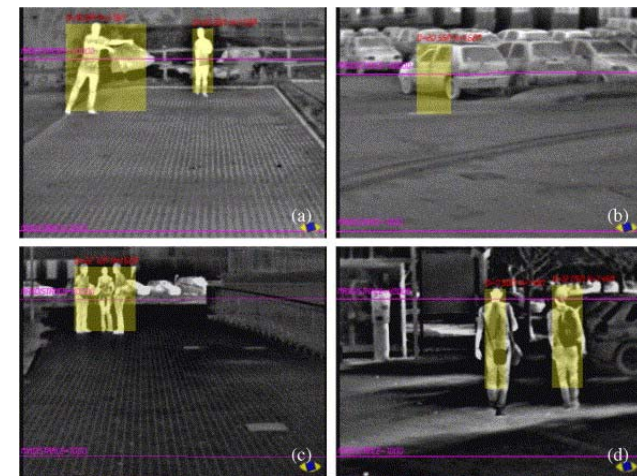
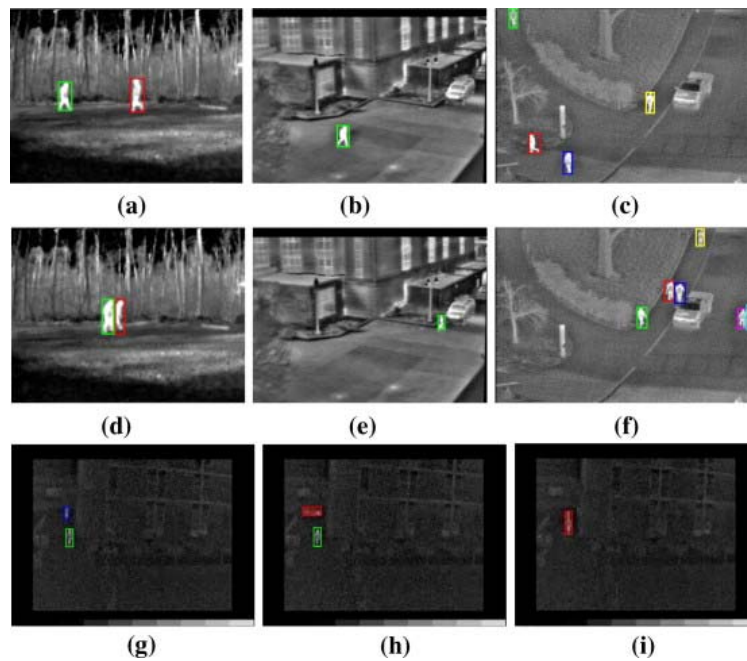
DF en ITS

Sensores: Camaras:



DF en ITS

Sensores:
Cámaras:



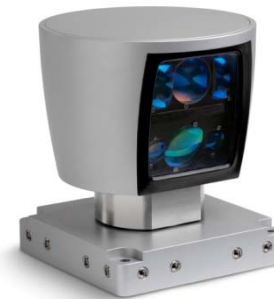
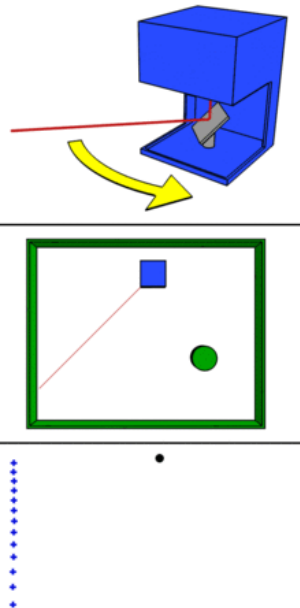
DF en ITS

Sensores:
Camaras:



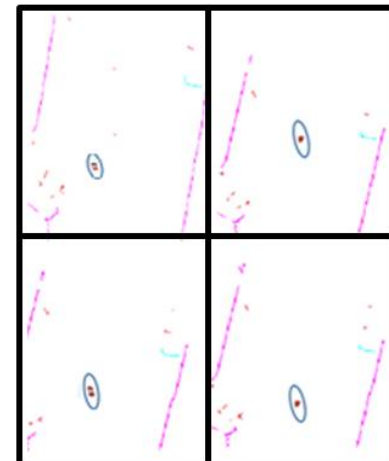
DF en ITS

Sensores:
LIDARS:



DF en ITS

Sensores: LIDARS 1 capa



DF en ITS

Sensores:
LIDARS 1 capa



Pedestrian Detection
2D Laser



Intelligent
Vehicle
based on
Visual
Information

www.uc3m.es/islab

DF en ITS

Sensores:
LIDARS 1 capa



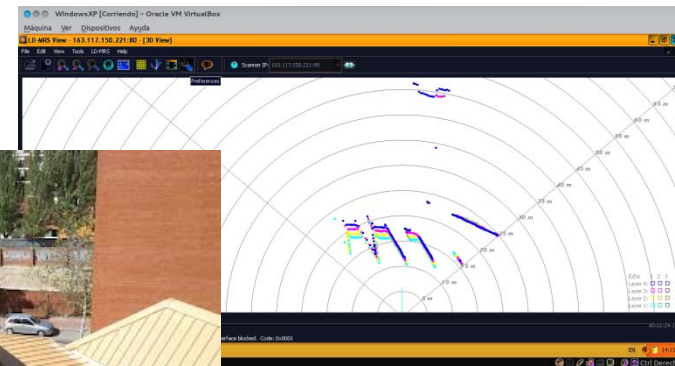
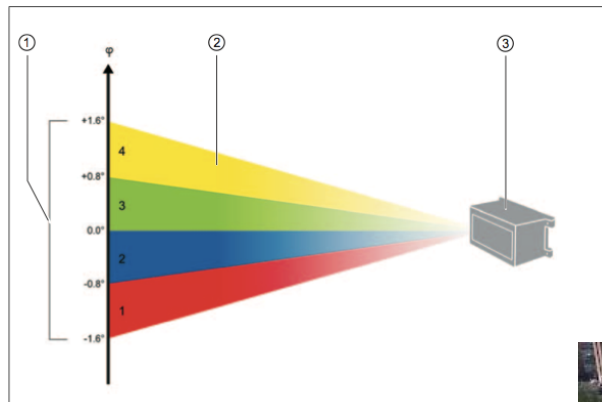
**DETECCIÓN Y RECONSTRUCCIÓN
3D DE COCHES EN MOVIMIENTO
POR MEDIO DE LÁSER**

Tesis de Máster

**CARLOS ALBERTO
IDARRAGA TABARES**

DF en ITS

Sensores: LIDARS 4 capas



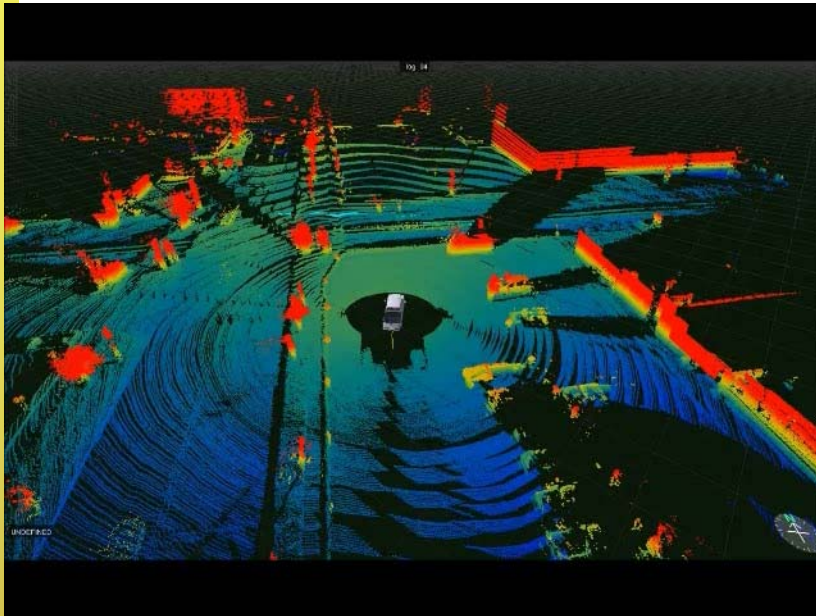
DF en ITS

Sensores:

Velodyne:

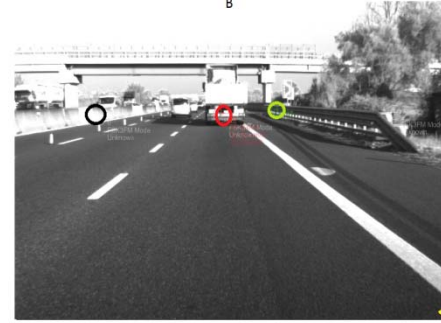
32/64 planes

40° a 360 °



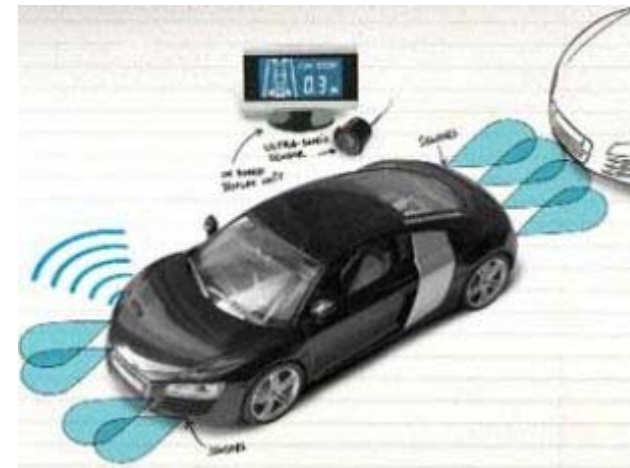
DF en ITS

Sensores: Radares de radiofrecuencia:



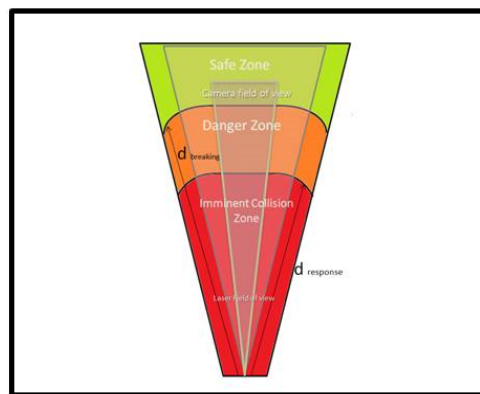
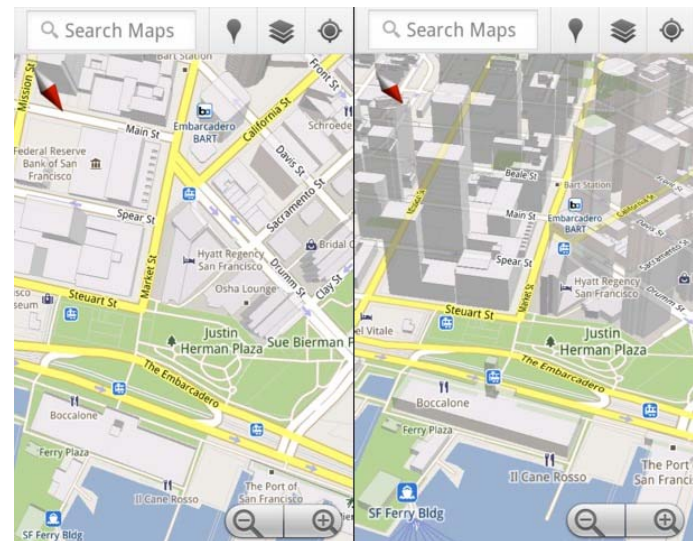
DF en ITS

Sensores:
Ultrasonidos e infrarojos:



DF en ITS

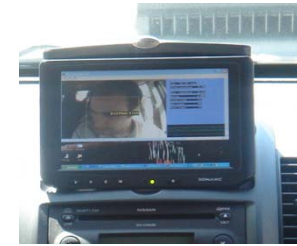
Sensores:
Contexto:



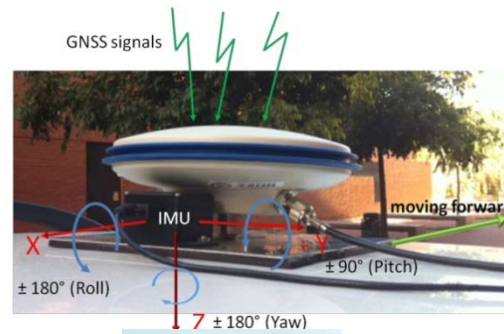
IVVI 2.0



IVVI 2.0



Sensores



IVVI 2.0


Tecnologías

- **Fusión Sensorial para detección de peatones y vehículos**
- **Detección de espacio libre basada en estéreo**
- **Odometría visual**
- **Detección peatones basada en IR**
- **Monitorización visual del conductor**
- **Reconstrucción 3D del conductor**
- **Detección de líneas de la carretera**
- **Detección de señales de tráfico**

IVVI 2.0

Tecnologías

Lane Departure Warning
Lane Classification



Intelligent
Vehicle
based on
Visual
Information

www.uc3m.es/islab

The image shows a promotional graphic for IVVI 2.0. It features the text 'Lane Departure Warning' and 'Lane Classification' in blue. Below this is the IVVI logo, which consists of a circular seal of the University of Carlos III of Madrid on the left, the letters 'IVVI' in a large, bold, blue serif font in the center, and the text 'Intelligent Vehicle based on Visual Information' on the right. At the bottom, the website address 'www.uc3m.es/islab' is displayed in blue. The entire graphic is set against a white background with black vertical bars on the sides.

IVVI 2.0

Tecnologías

Speed supervisor
Road Sign Recognition



Intelligent Systems Lab

IVVI Intelligent
Vehicle
based on
Visual
Information

www.uc3m.es/islab

IVVI 2.0

Tecnologías

Driver supervisor
Drowsiness & Attention detection



Intelligent
Vehicle
based on
Visual
Information

www.uc3m.es/islab

IVVI 2.0

Otras tecnologías:



IVVI 2.0

Otras tecnologías:

