uc3m | Universidad Carlos III de Madrid

CC BY NC SA

Robots Móviles

Navegación Topológica I

Imágenes cedidas por Verónica Egido.

Ramón I. Barber Castaño
Verónica Egido García

Indice de Contenidos

- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

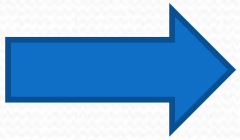
Fuente: Tesis Doctoral
Sistema de navegación topológica para robots móviles autónomos. (2003)
V. Egido

Indice de Contenidos

- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

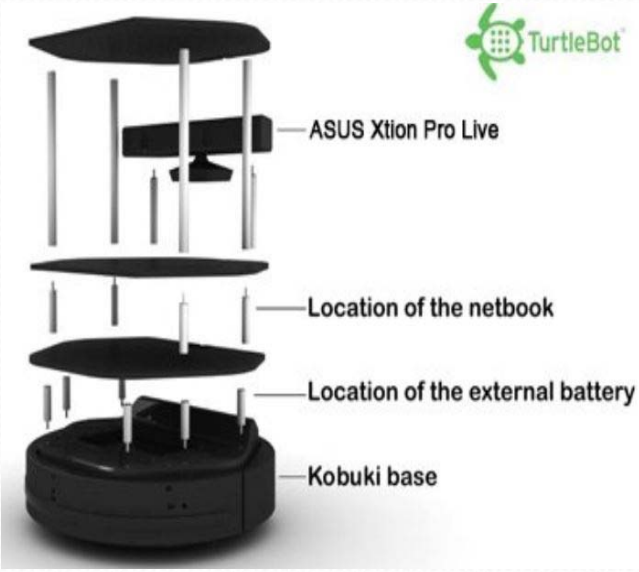
Motivación

- Autonomía de movimientos humana.
  1. Tomar la naturaleza como modelo.
  2. ¿cómo navegamos los humanos?



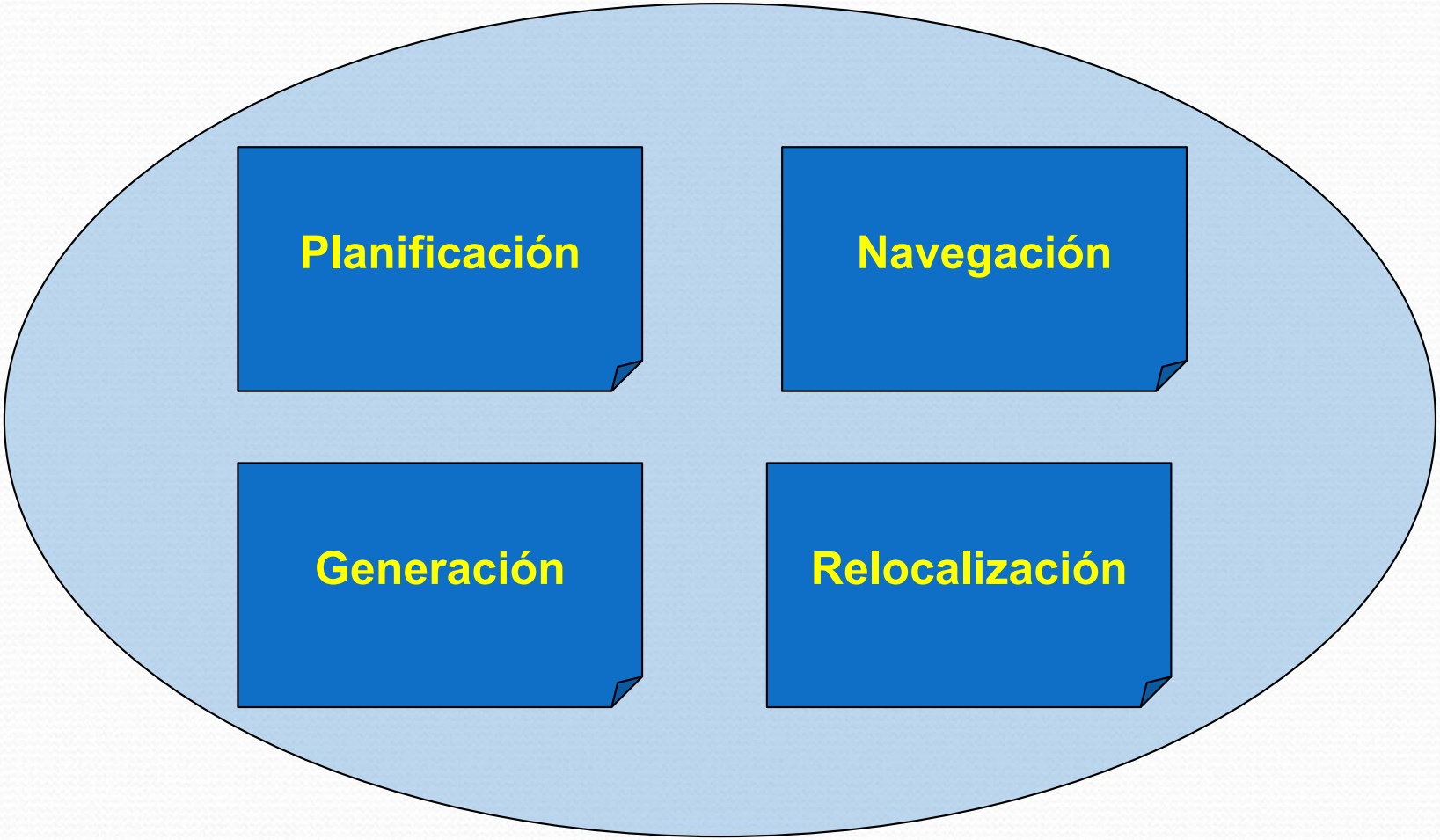
Motivación

- Dotar al robot móvil de la capacidad de:



- Generar movimientos de manera autónoma almacenando información del entorno.
- Utilizar dicha representación para ir de un lugar a otro de acuerdo a un criterio de optimización.
- Si el robot se pierde, lograr relocalizarse continuando con su misión.

Motivación



Indice de Contenidos

- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

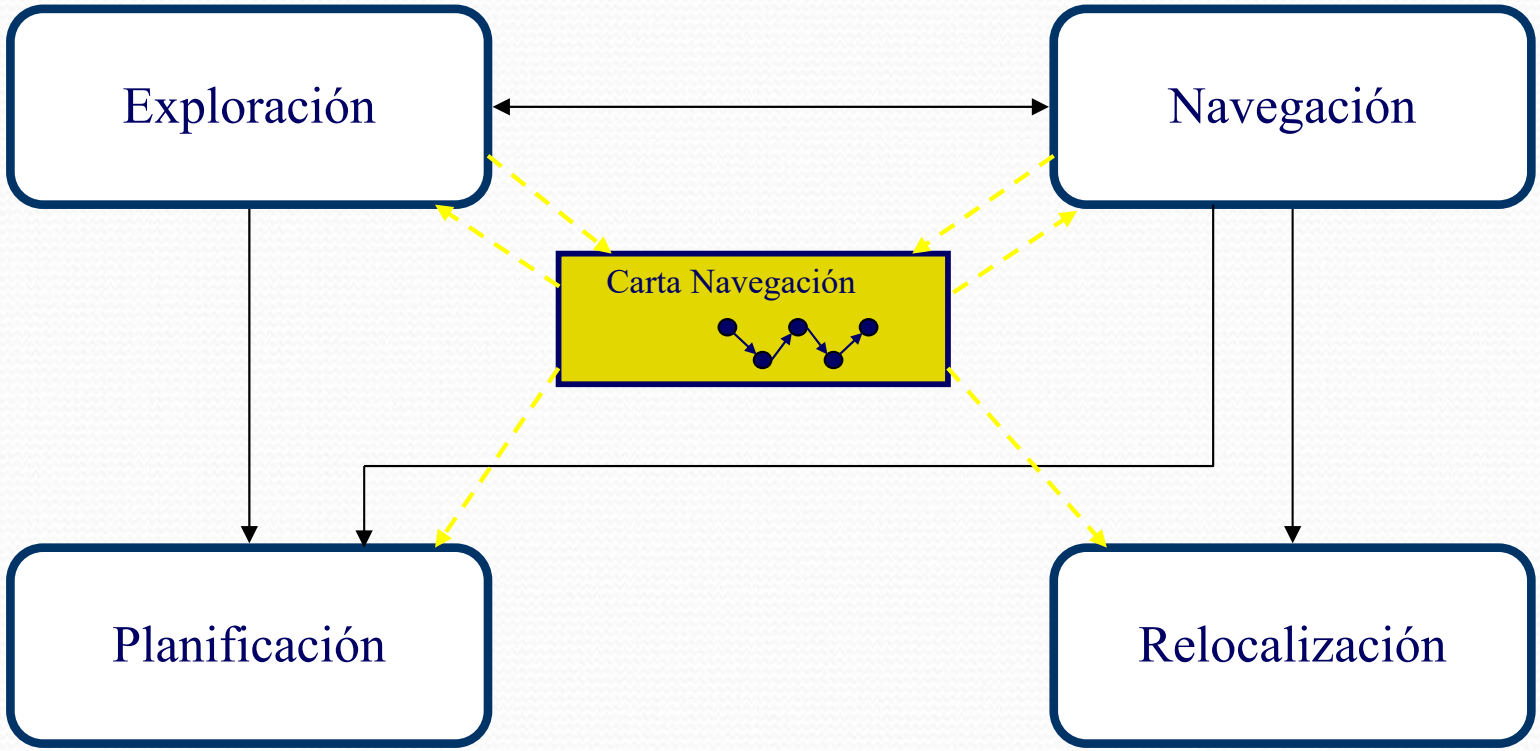
Sistema de Navegación AURON

- Basado en la metodología EDN (*Event Driven Navigation*)

- Navegación mediante instrucciones a modo de plan como las que recibiría cualquier persona.
  - Ir hacia una puerta y salir de la habitación.
  - Recorrer un pasillo localizando las distintas puertas.
  - Moverse hacia una de ellas y entrar…

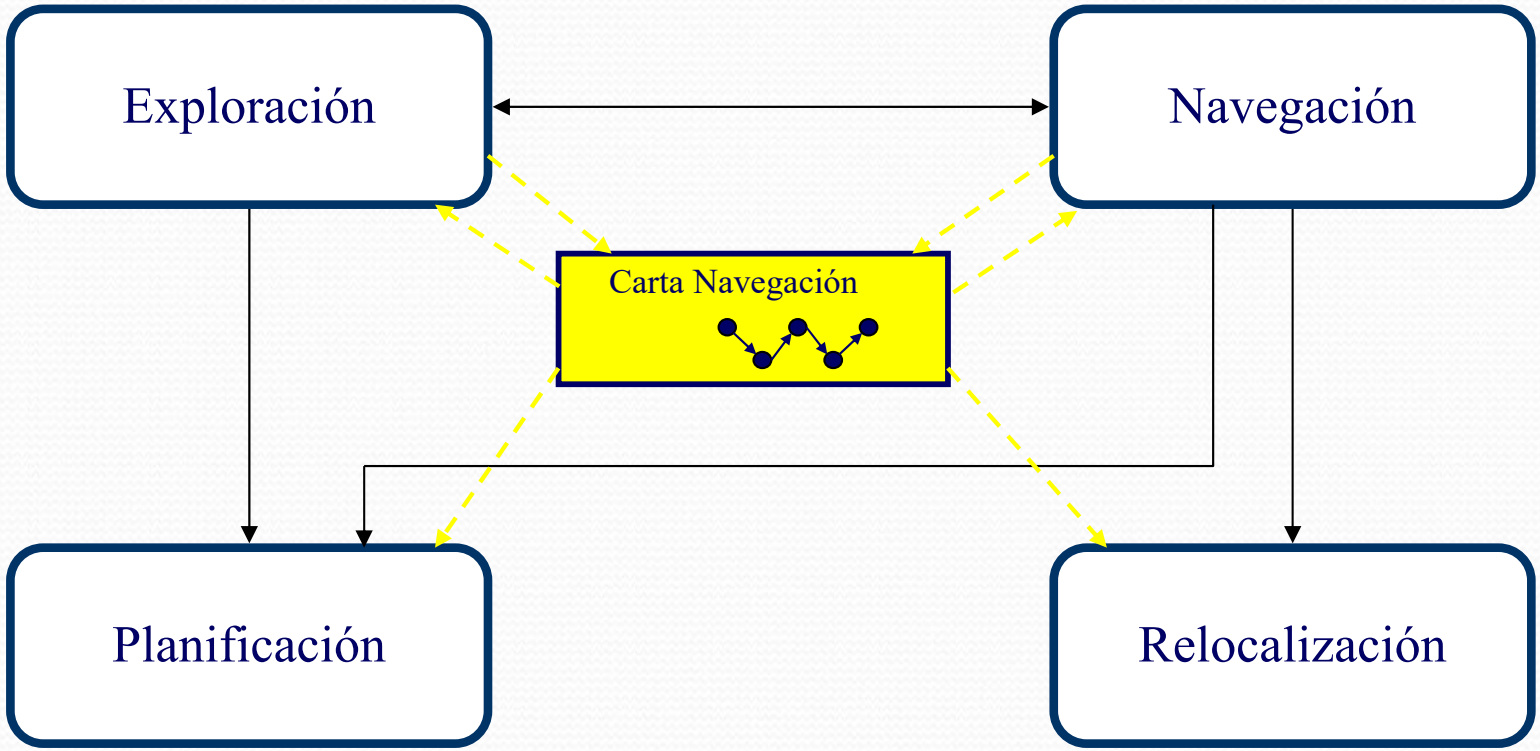
Sistema de Navegación AURON

- Componentes que integran el sistema completo.



Sistema de Navegación AURON

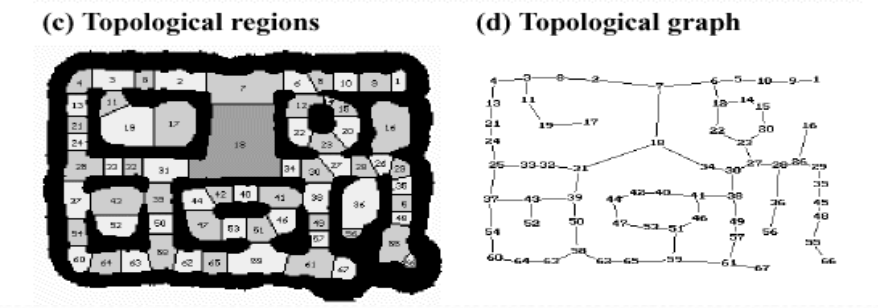
- Componentes que integran el sistema completo.



Sistema de Navegación AURON
Carta de Navegación

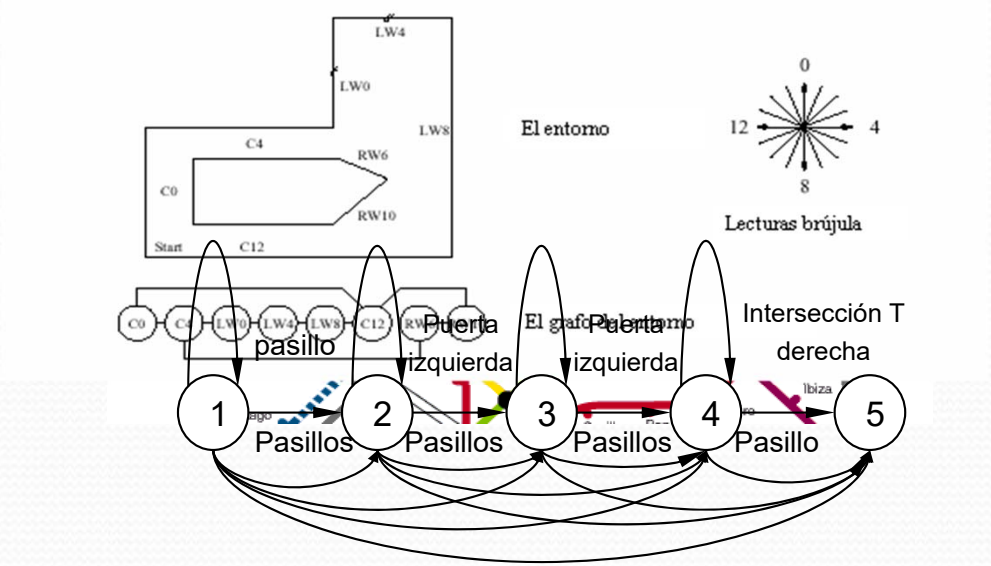
- Tipos de mapas topológicos

Obtenidos de mapas métricos



[Thrun98] [Pipe97] [Fabrizi00]...

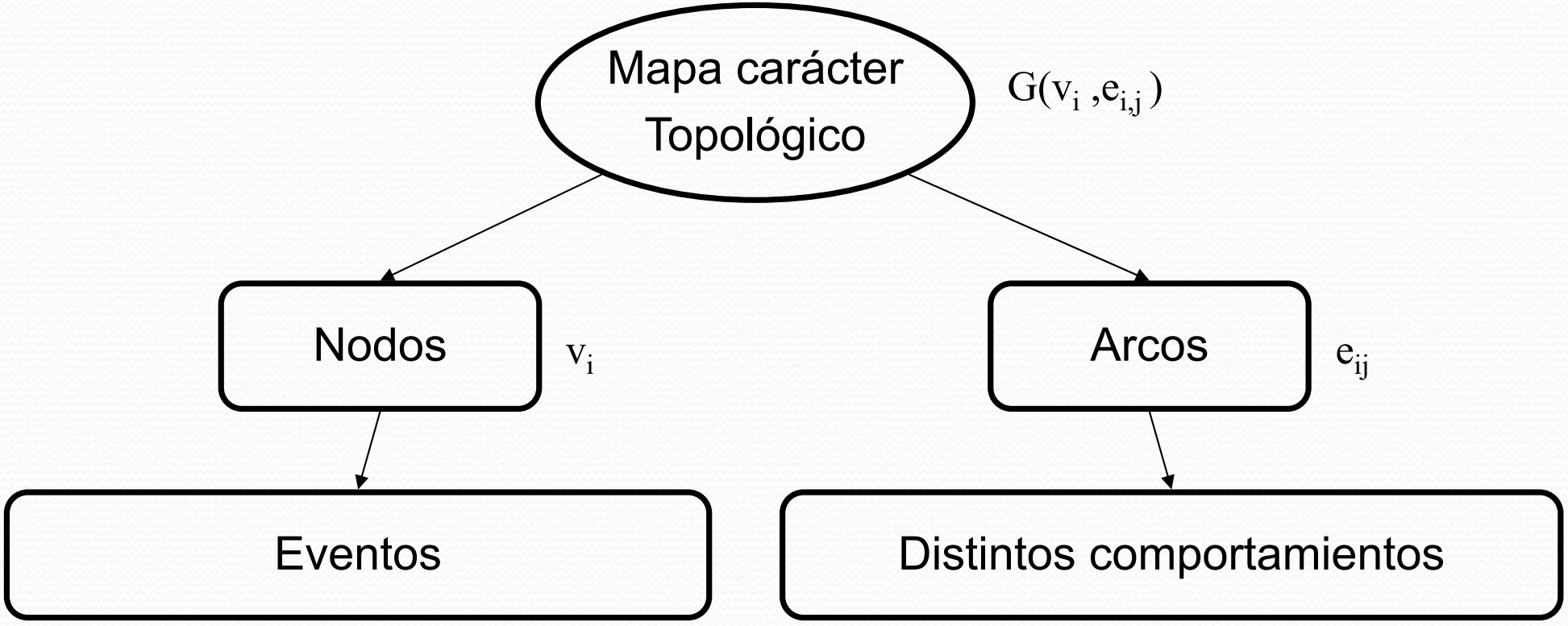
Basados en movimientos



[Mataric91] [Aycard98]..

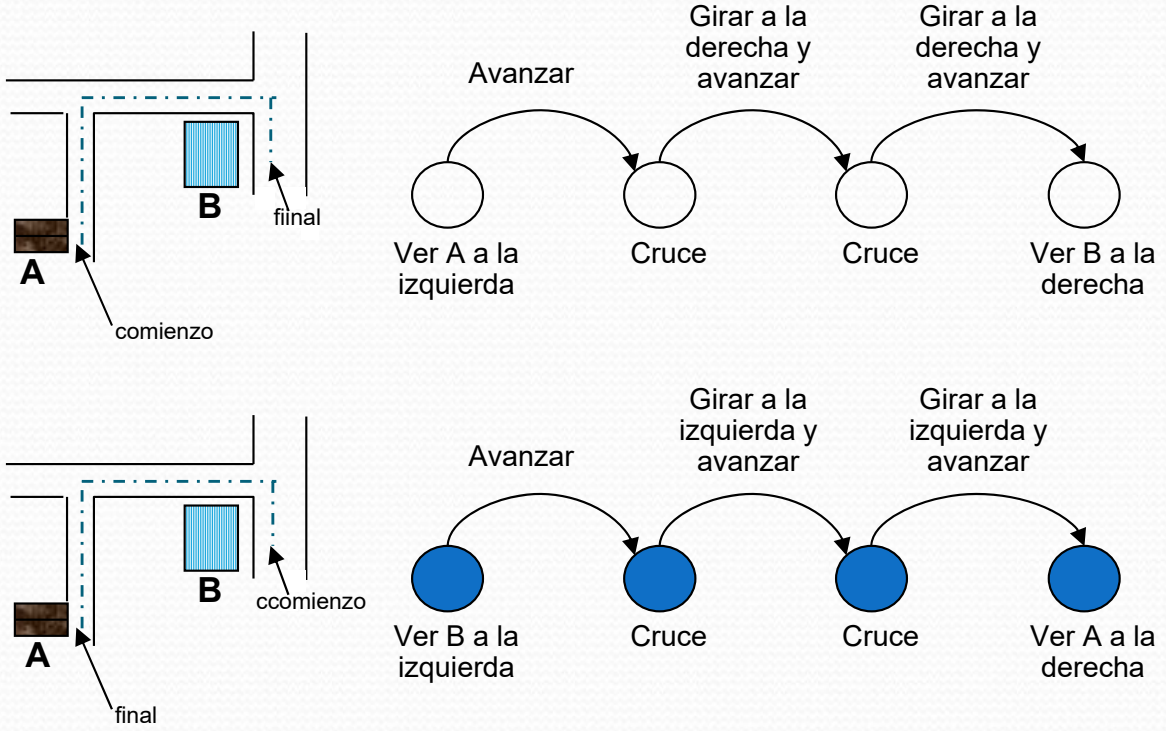
Sistema de Navegación AURON
Carta de Navegación

- Estructura de la Carta de Navegación



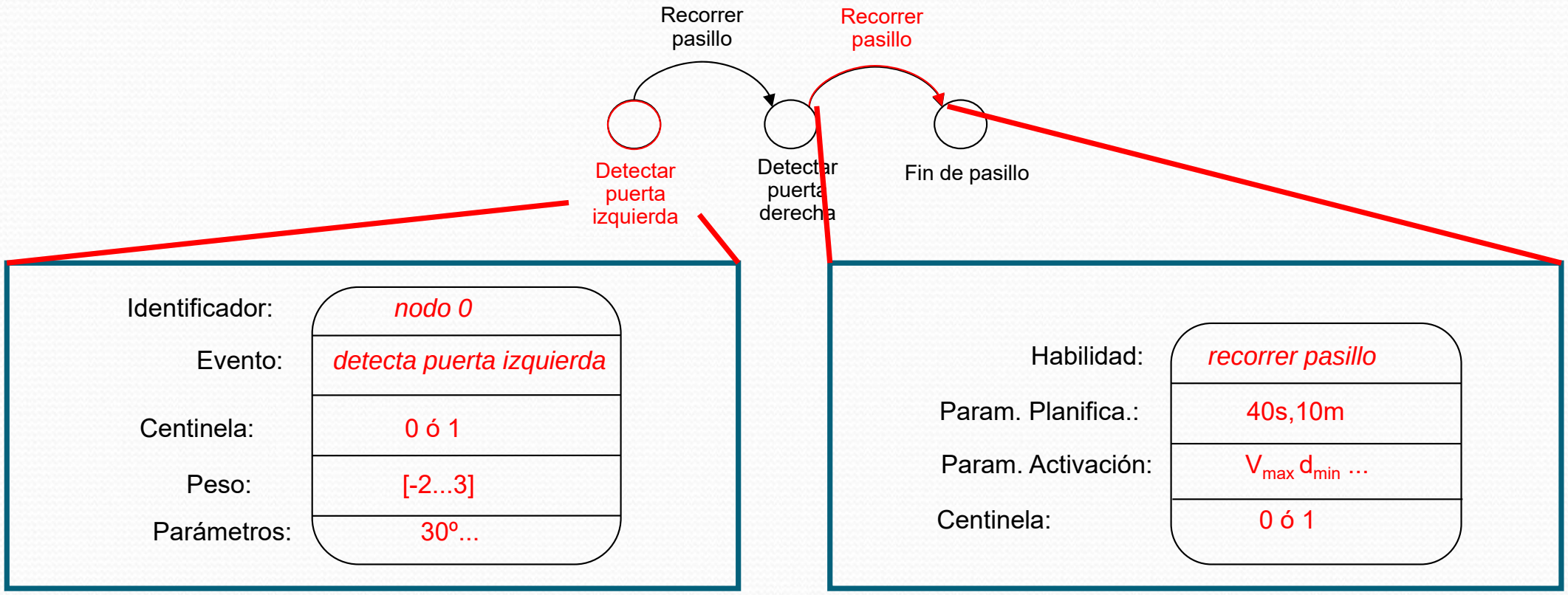
Sistema de Navegación AURON
Carta de Navegación

- Ejemplo de Carta de Navegación:



Sistema de Navegación AURON
Carta de Navegación

- Parámetros asociados a nodos y arcos



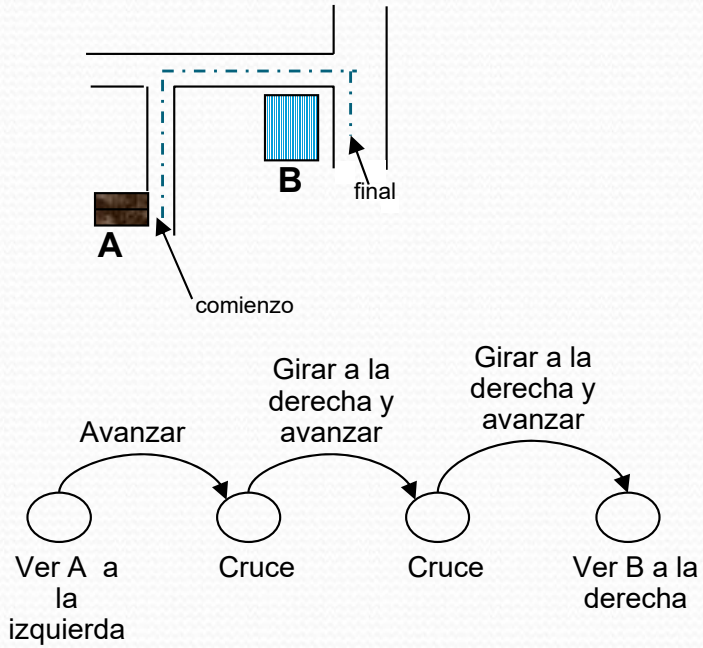
Estructura de los nodos de la Carta de Navegación

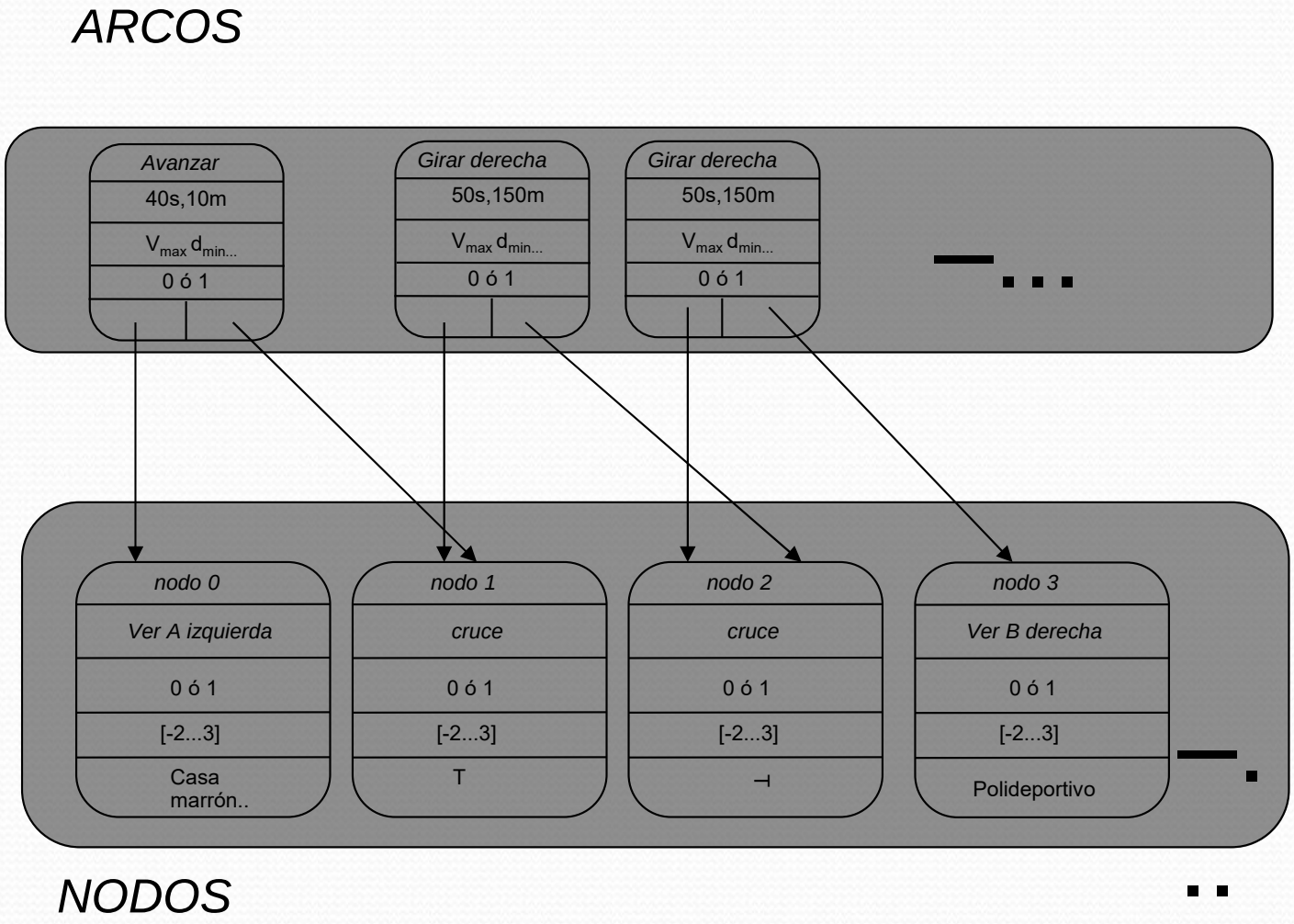
Estructura de los arcos de la Carta de Navegación

Sistema de Navegación AURON

Carta de Navegación

- Estructura de nodos y arcos.

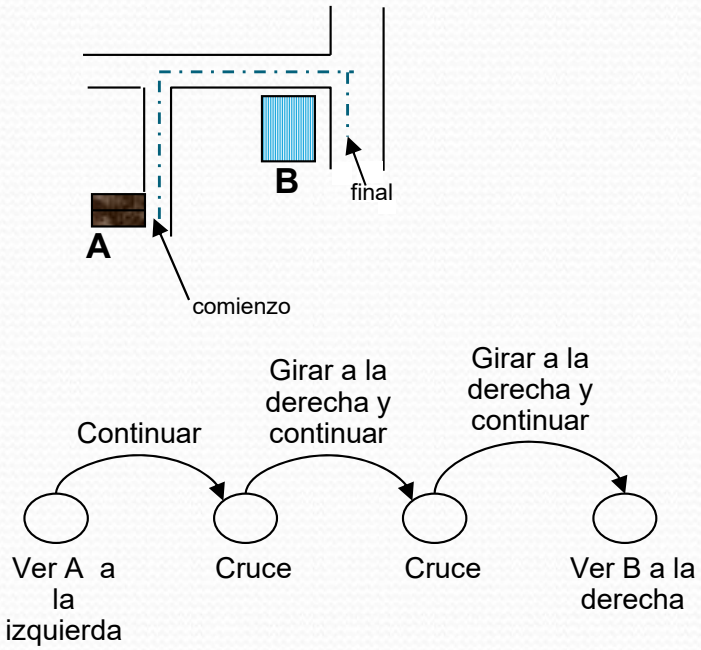




Sistema de Navegación AURON

Carta de Navegación

- Estructura de nodos y arcos, librería LEDA.

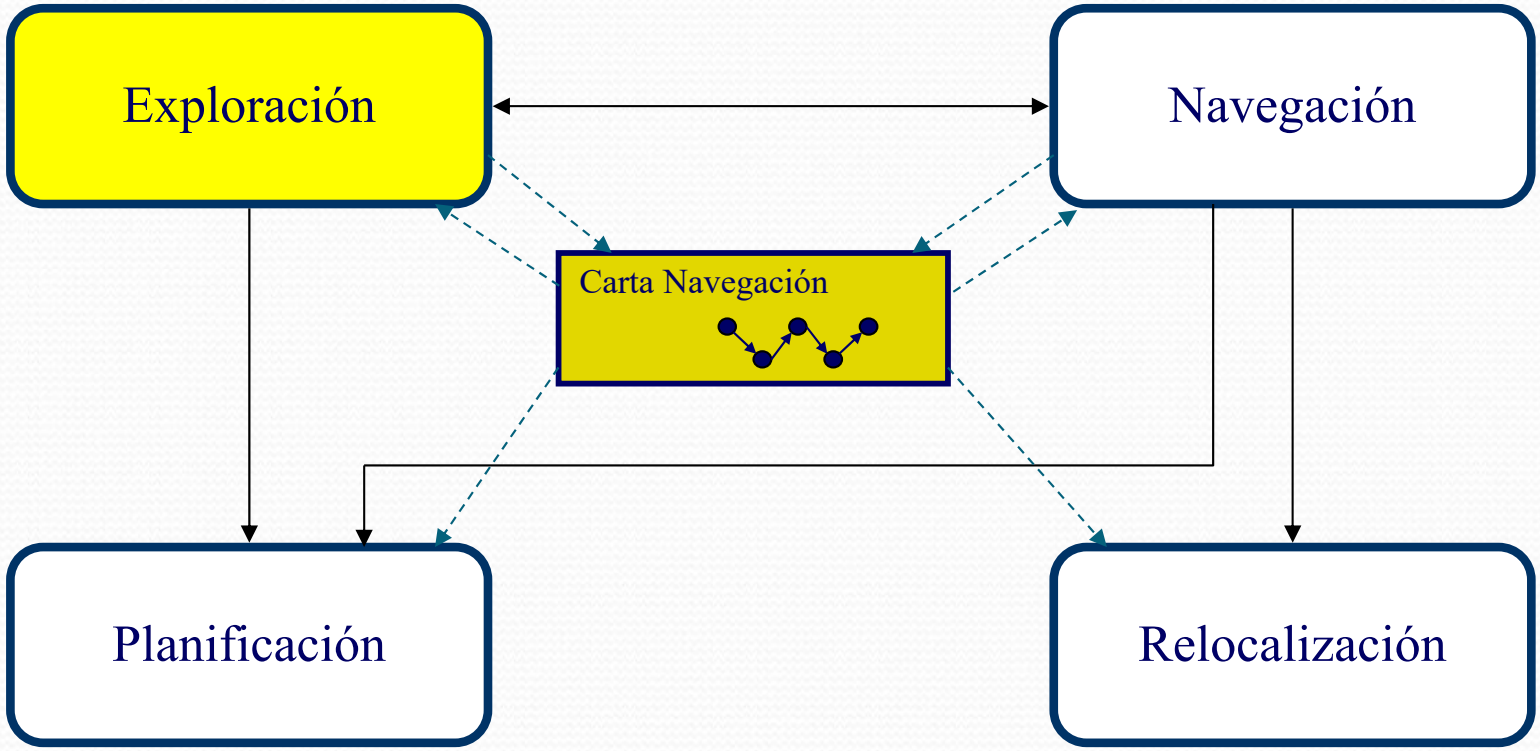


25
|{0 101 9 1 0 0 0}|
|{1 101 5 1 0 1 1}|
|{2 101 6 1 0 0 0}|
|{3 1 2 0 0 0 0}|
|{4 1 3 0 0 0 0}|
|{5 1 1 0 0 0 0}|
|{6 101 2 1 0 0 0}|
|{7 101 3 1 0 0 0}|
|{8 101 6 1 0 1 1}|
|{9 101 5 1 0 0 0}|

1 2 0 |{0 5 0 5.56414 19 0}|
2 4 0 |{0 21 0 0 30 0}|
2 9 0 |{0 5 0 2.77897 5 0}|
3 1 0 |{0 5 0 5.56414 19 0}|
3 4 0 |{0 21 0 0 30 0}|
4 5 0 |{0 3 0 0 1 0}|
5 6 0 |{0 4 0 0 5 0}|
6 7 0 |{0 21 0 0 30 0}|
7 8 0 |{0 3 0 0 1 0}|
8 3 0 |{0 7 0 0 3 0}|
8 2 0 |{0 6 0 0 3 0}|
9 11 0 |{0 21 0 0 30 0}|

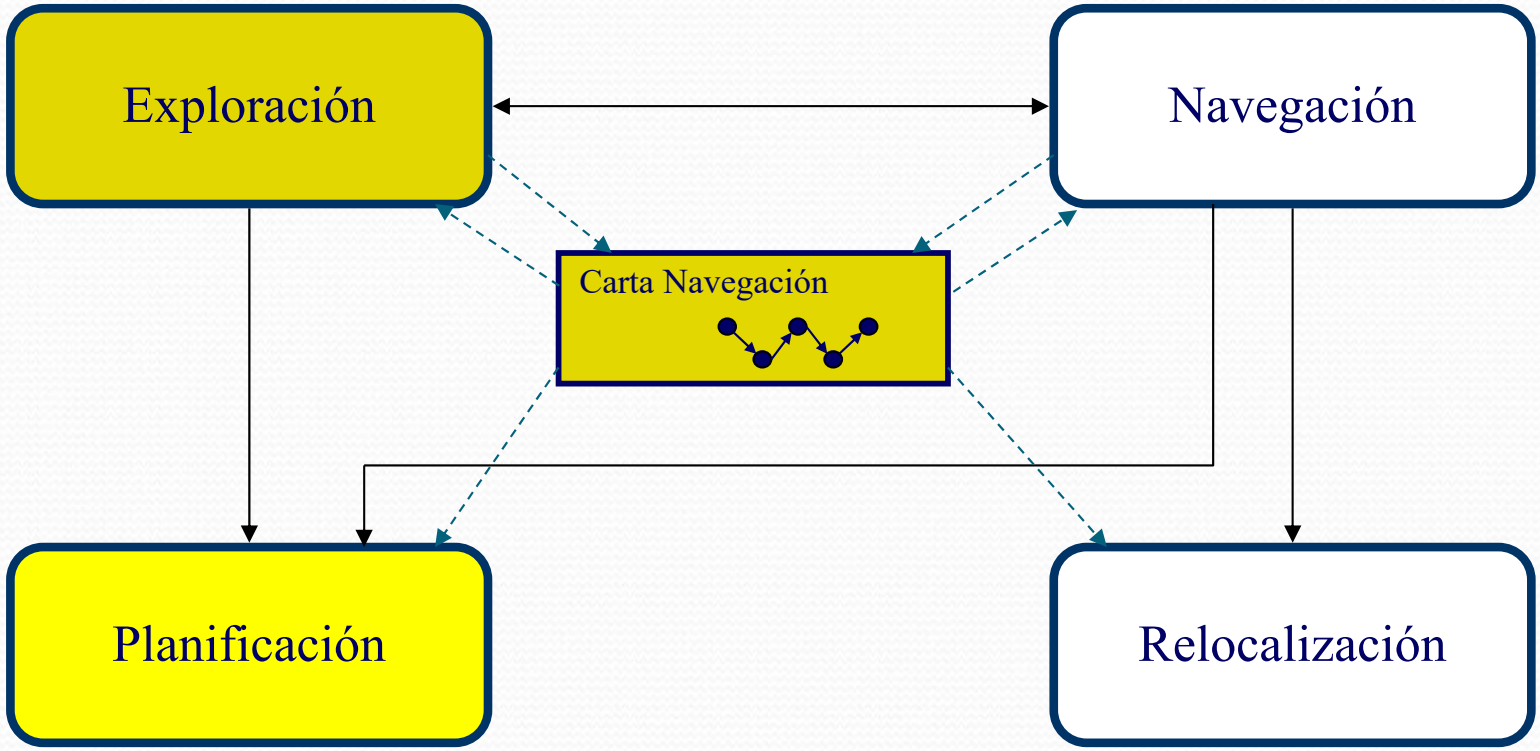
Sistema de Navegación AURON

- Componentes principales del sistema.



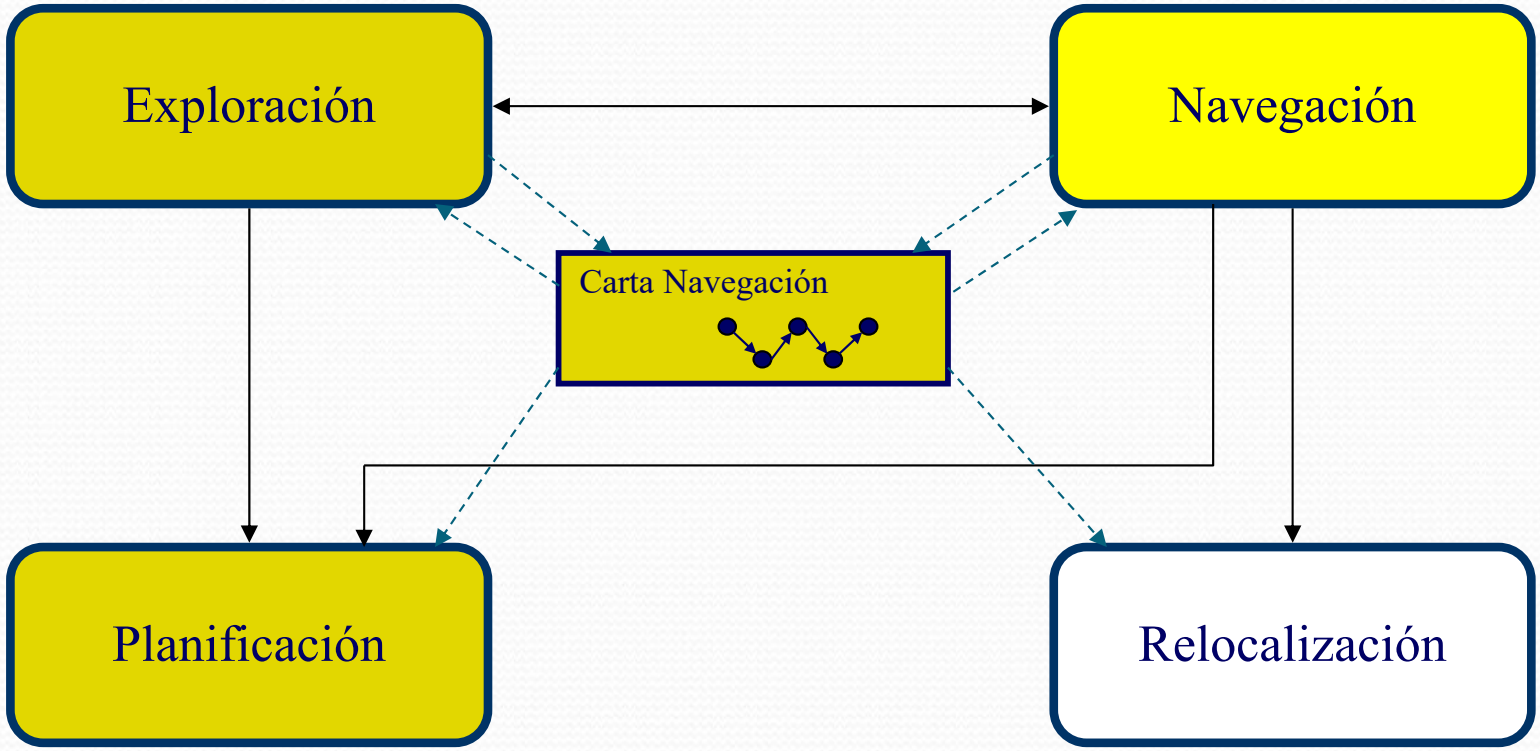
Sistema de Navegación AURON

- Componentes principales del sistema.



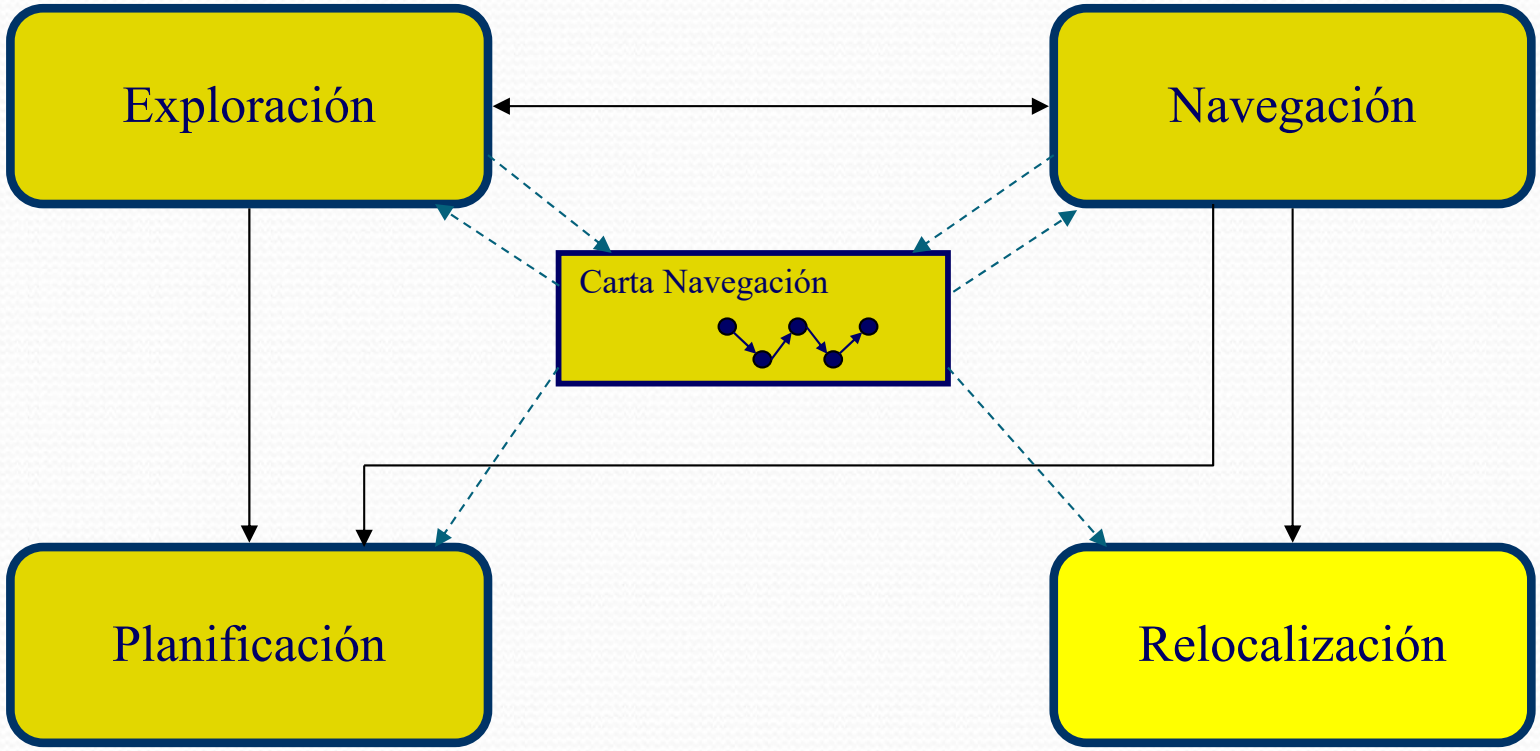
Sistema de Navegación AURON

- Componentes principales del sistema.



Sistema de Navegación AURON

- Componentes principales del sistema.

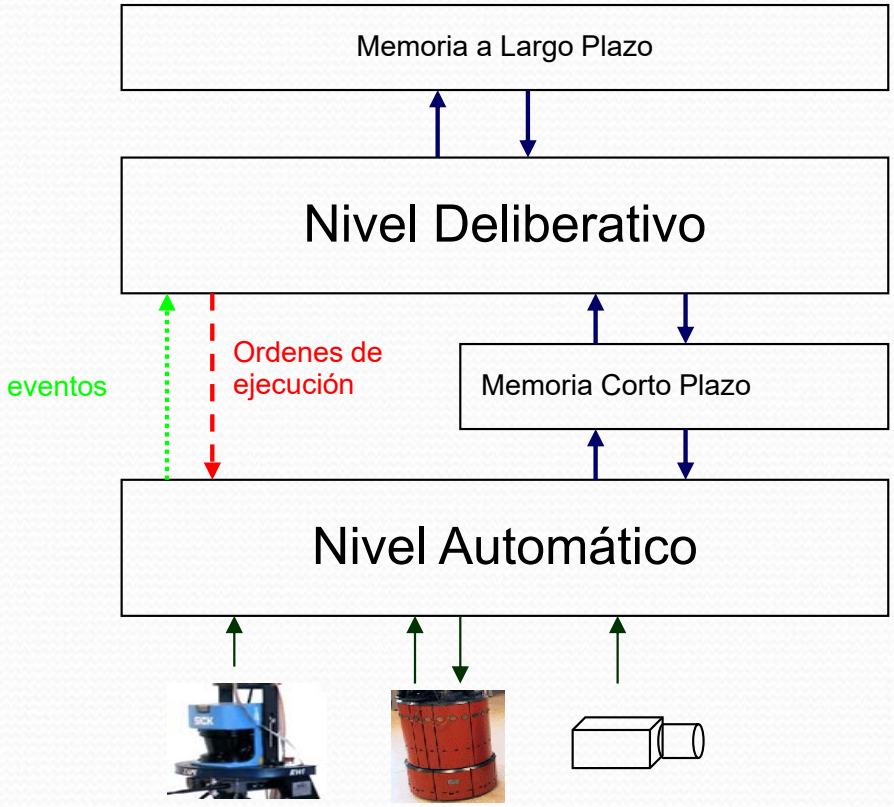


Indice de Contenidos

- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

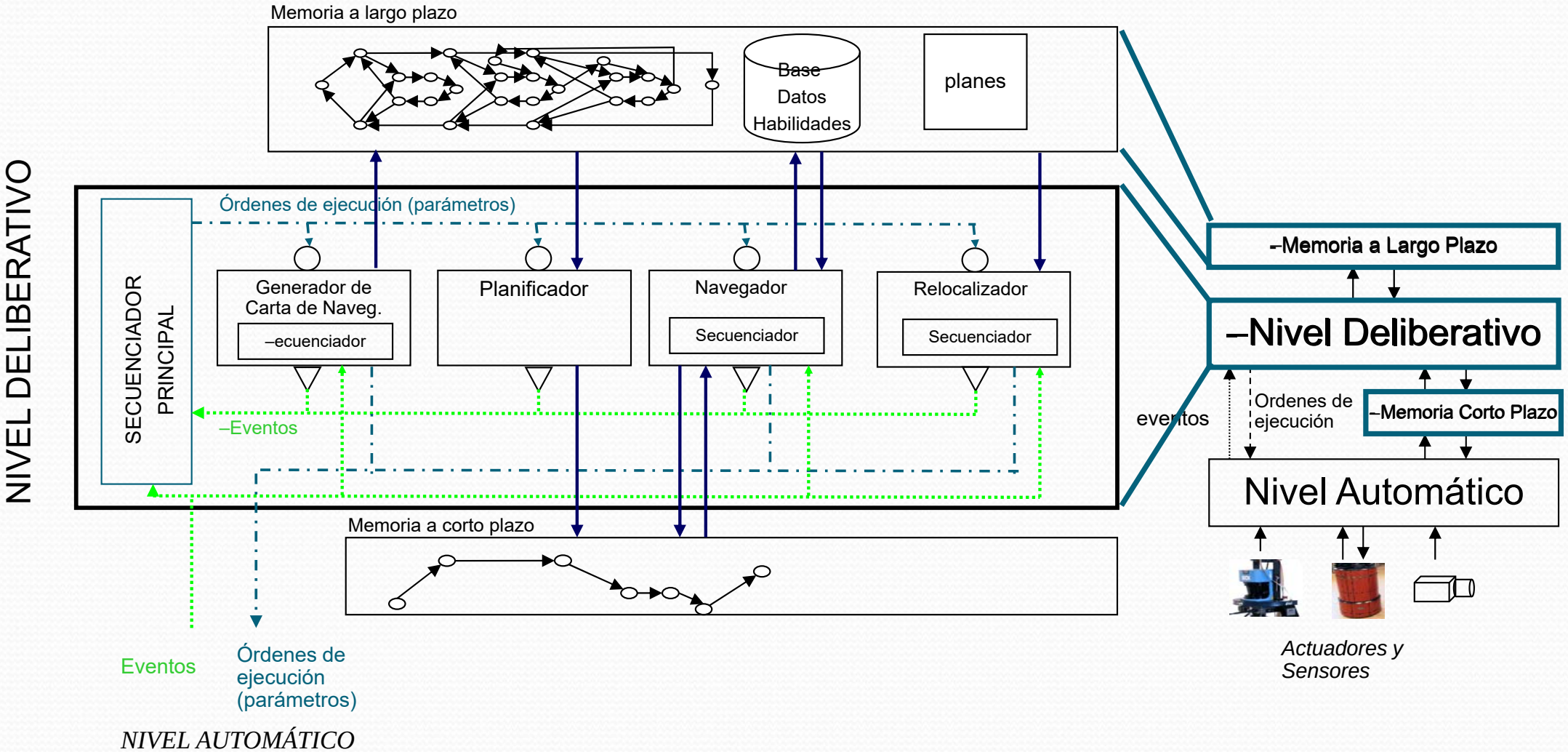
Sistema AURON en la arquitectura AD

- Arquitectura de control AD.

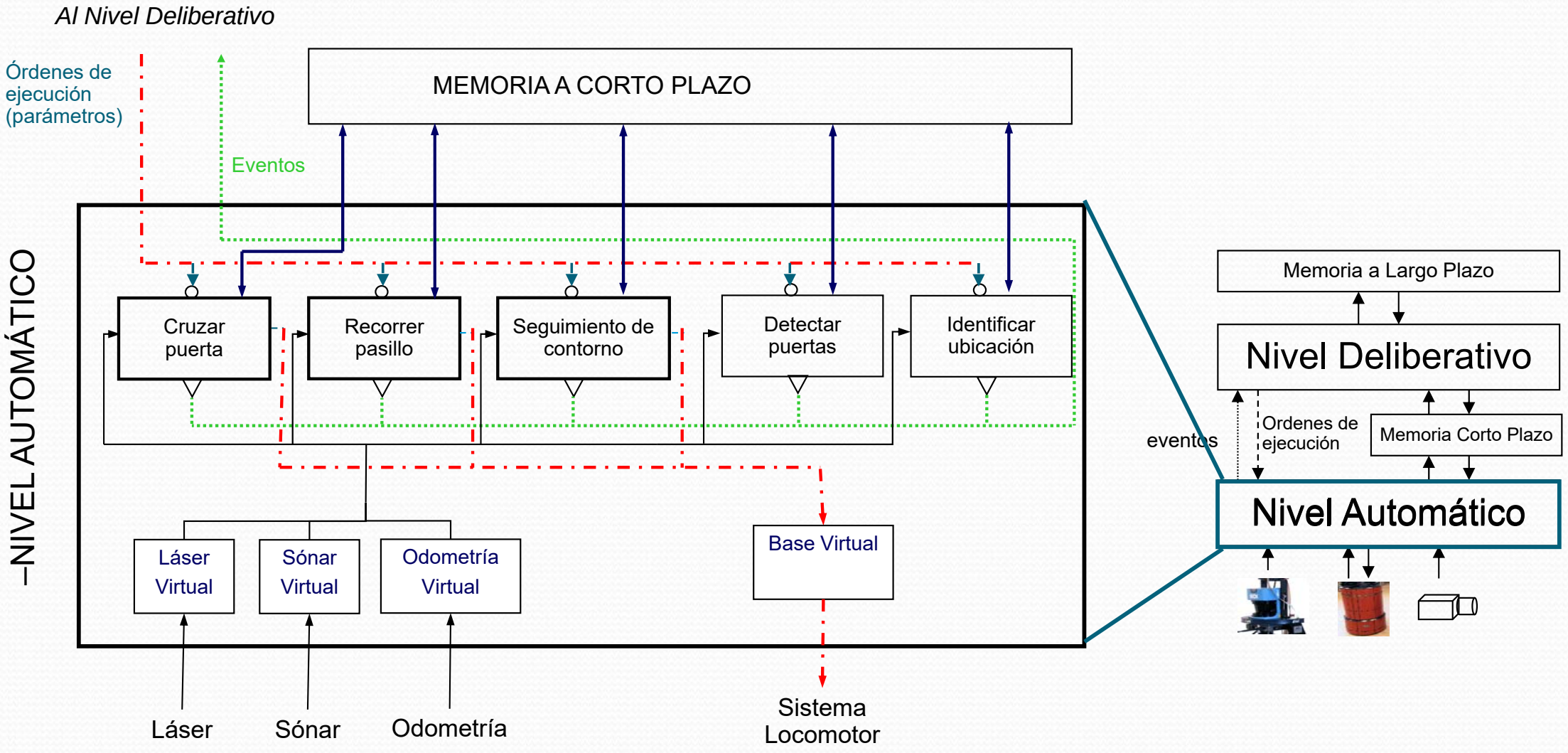


Actuadores y Sensores

Sistema AURON en la arquitectura AD

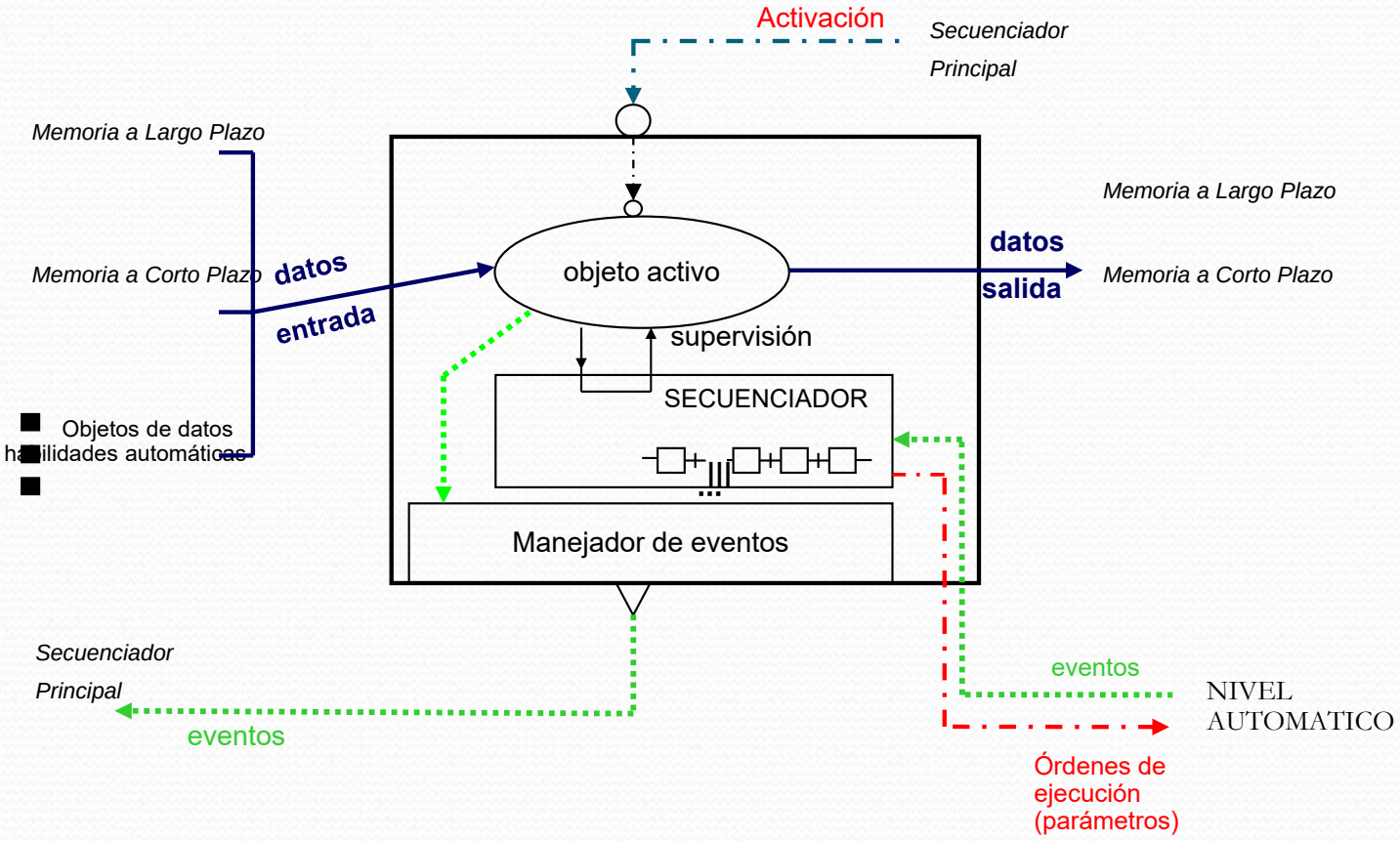


Sistema AURON en la arquitectura AD

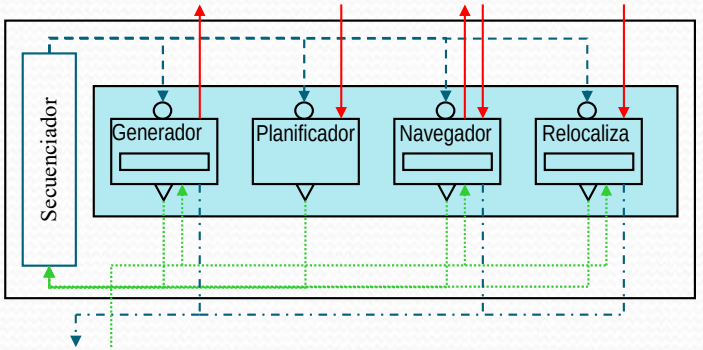


Sistema AURON en la arquitectura AD
Habilidades deliberativas

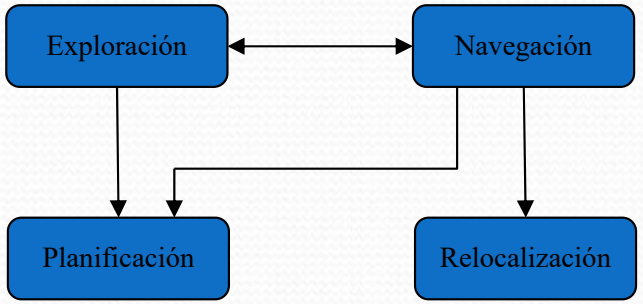
- Estructura general de las habilidades deliberativas implementadas



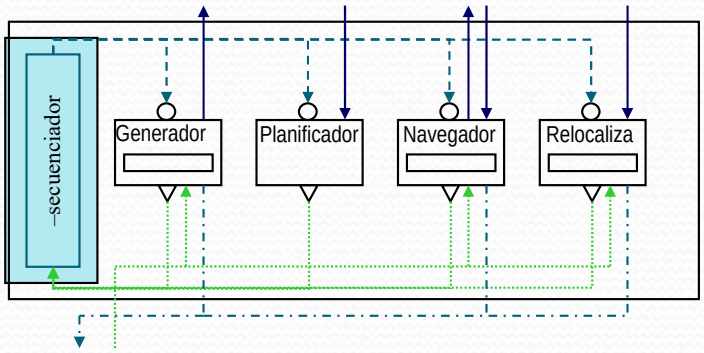
Nivel Deliberativo

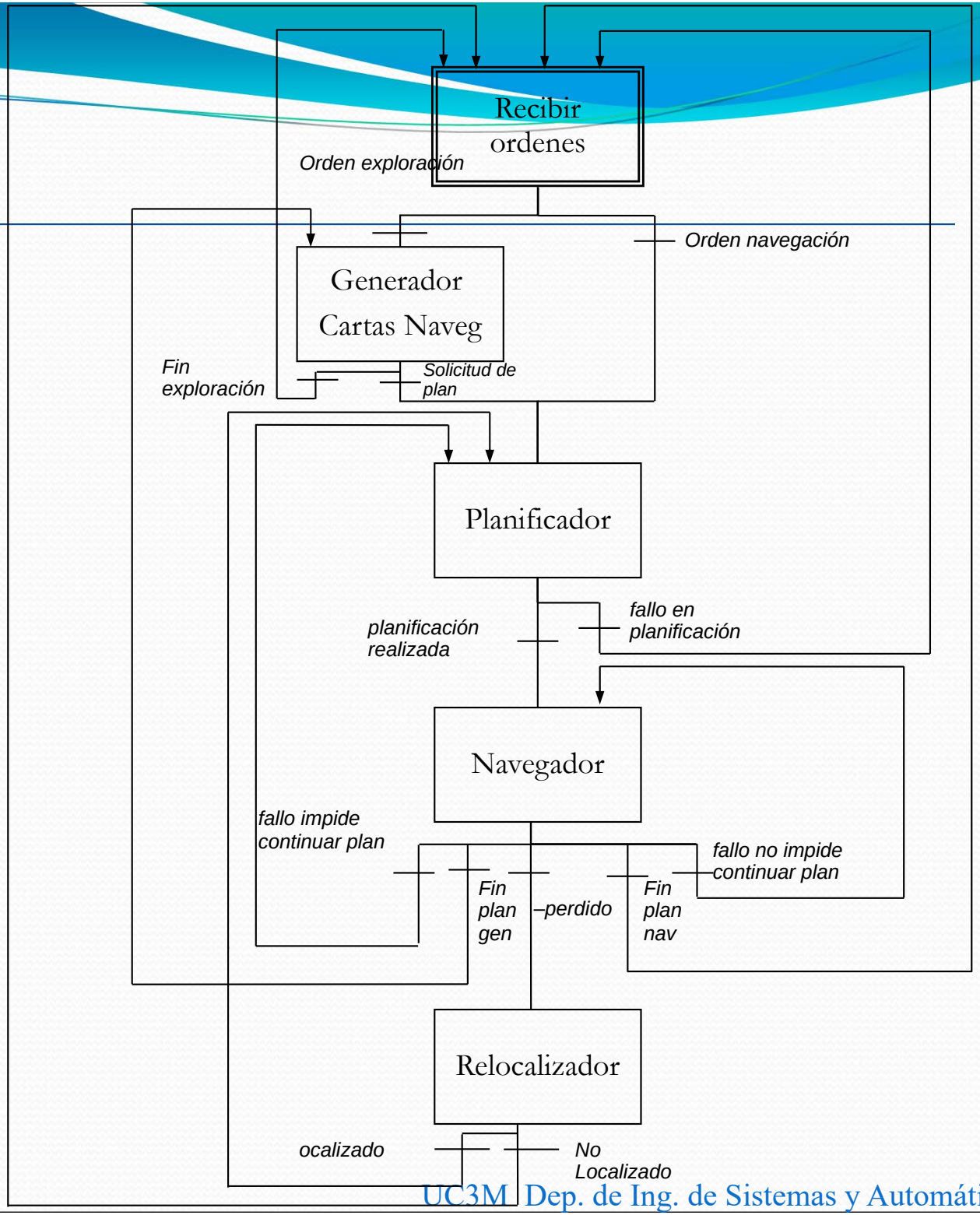


Secuenciador principal



Nivel Deliberativo





Indice de Contenidos

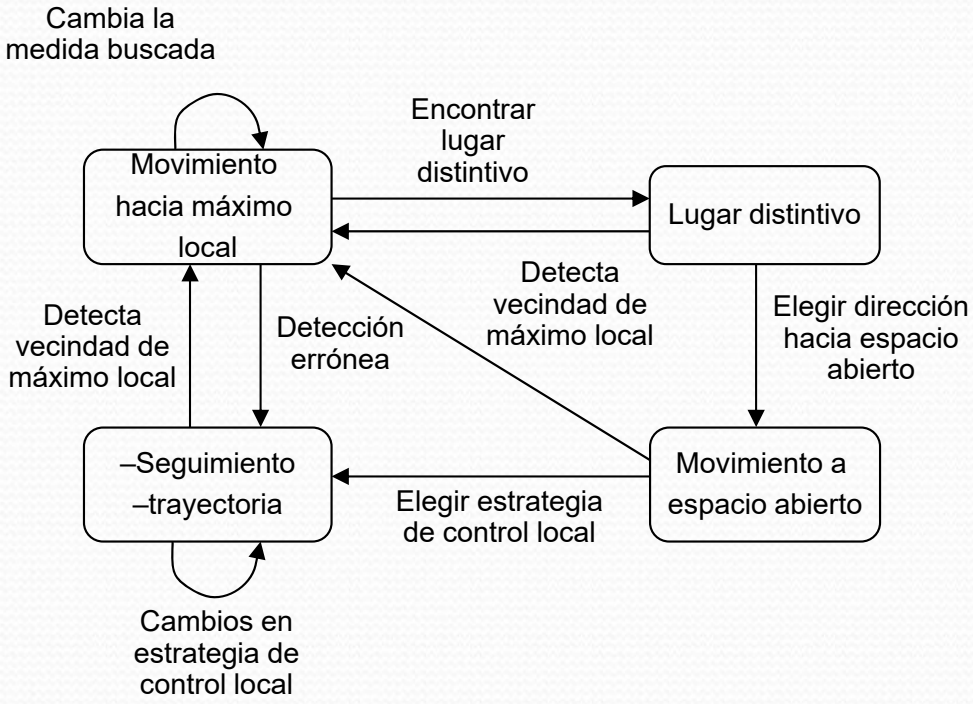
- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

Generación autónoma de mapa topológico

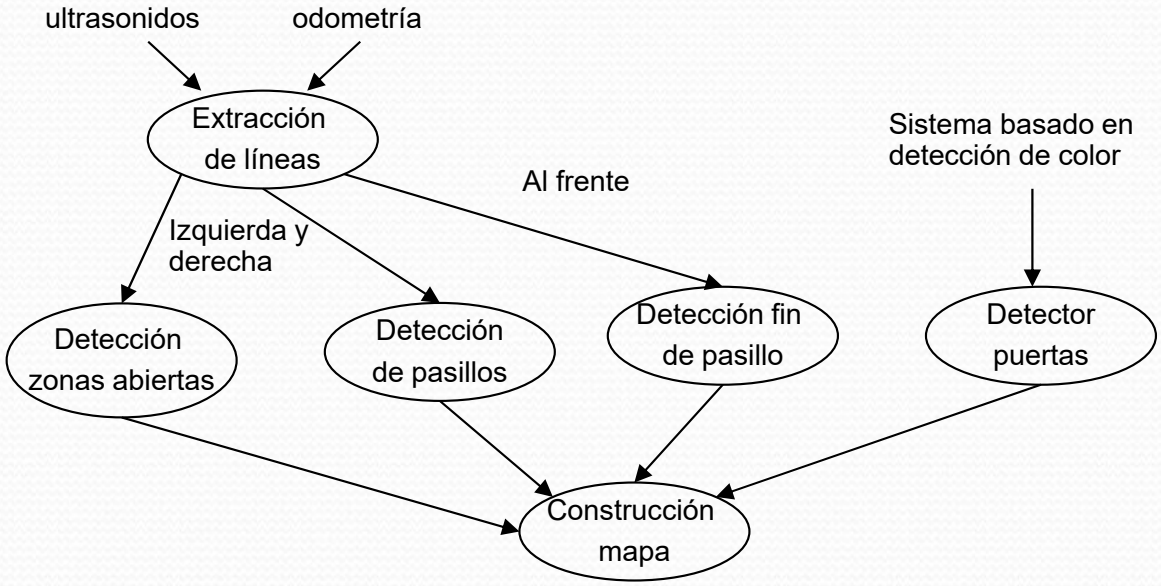
- Movimiento del robot de manera autónoma y almacenamiento de información en el proceso.
- Clasificación de acuerdo a dos criterios:
  - Naturaleza de la información almacenada.
  - Forma de explorar el entorno.
- Mecanismo de exploración utilizado.
  - Exploración activa con almacenamiento en forma de mapa topológico.

Generación autónoma de mapa topológico

- Trabajos en la misma línea.



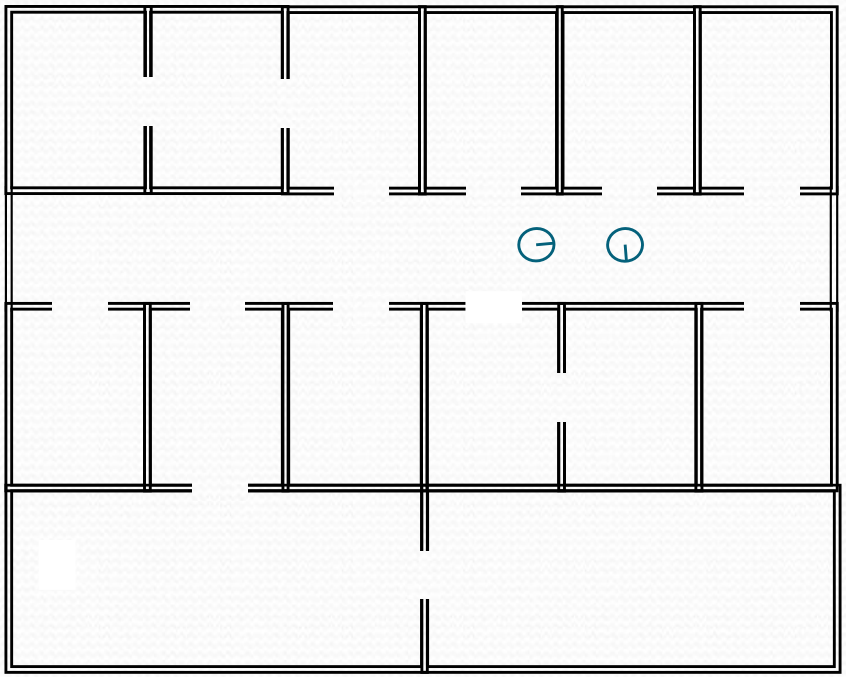
Kuipers

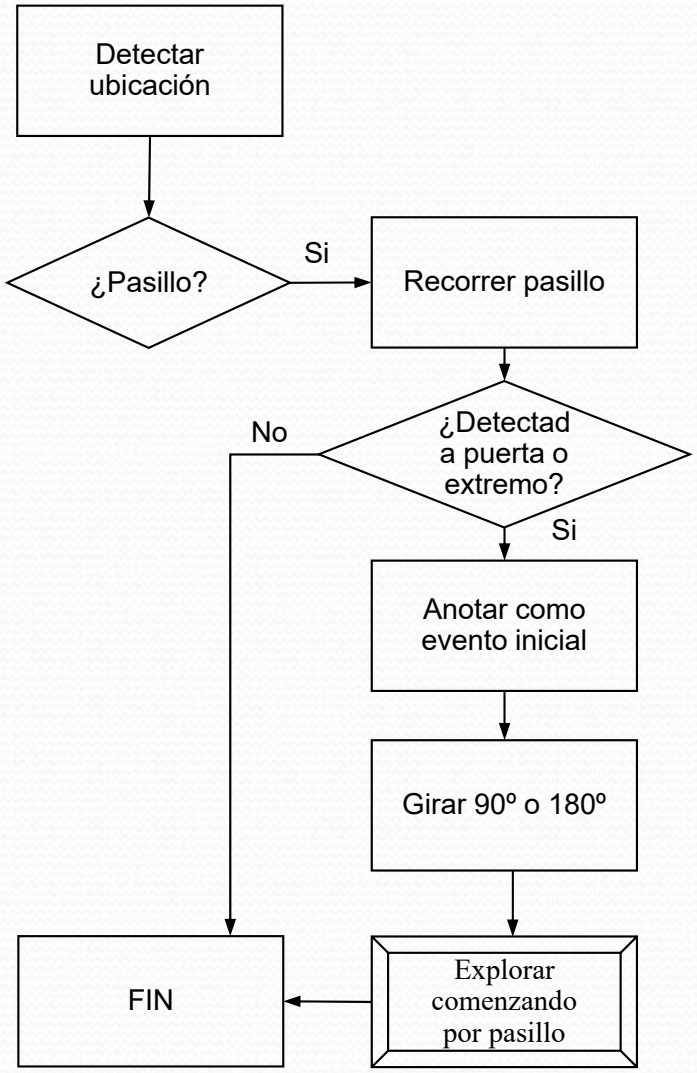


Mataric

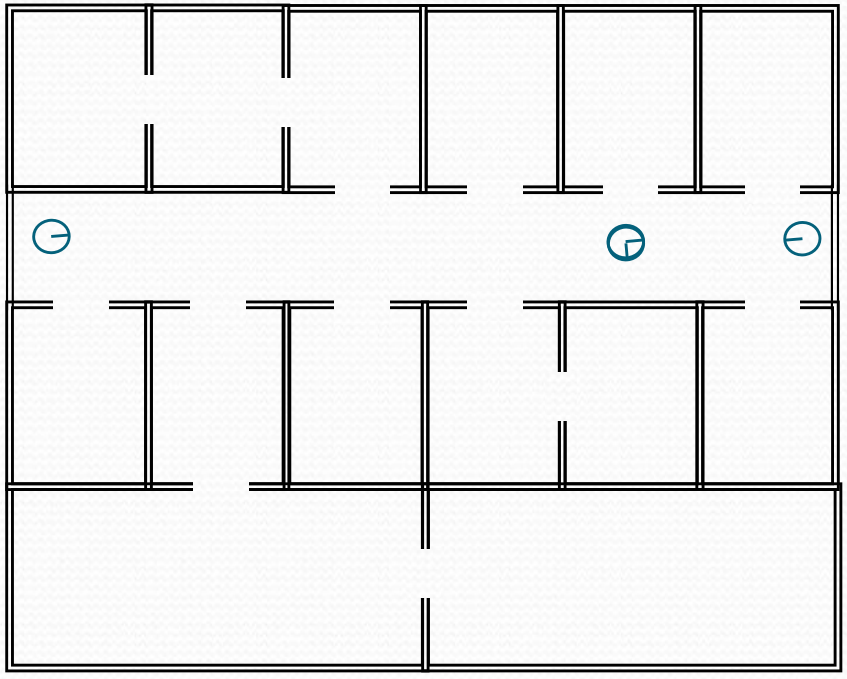
Generación autónoma de mapa topológico

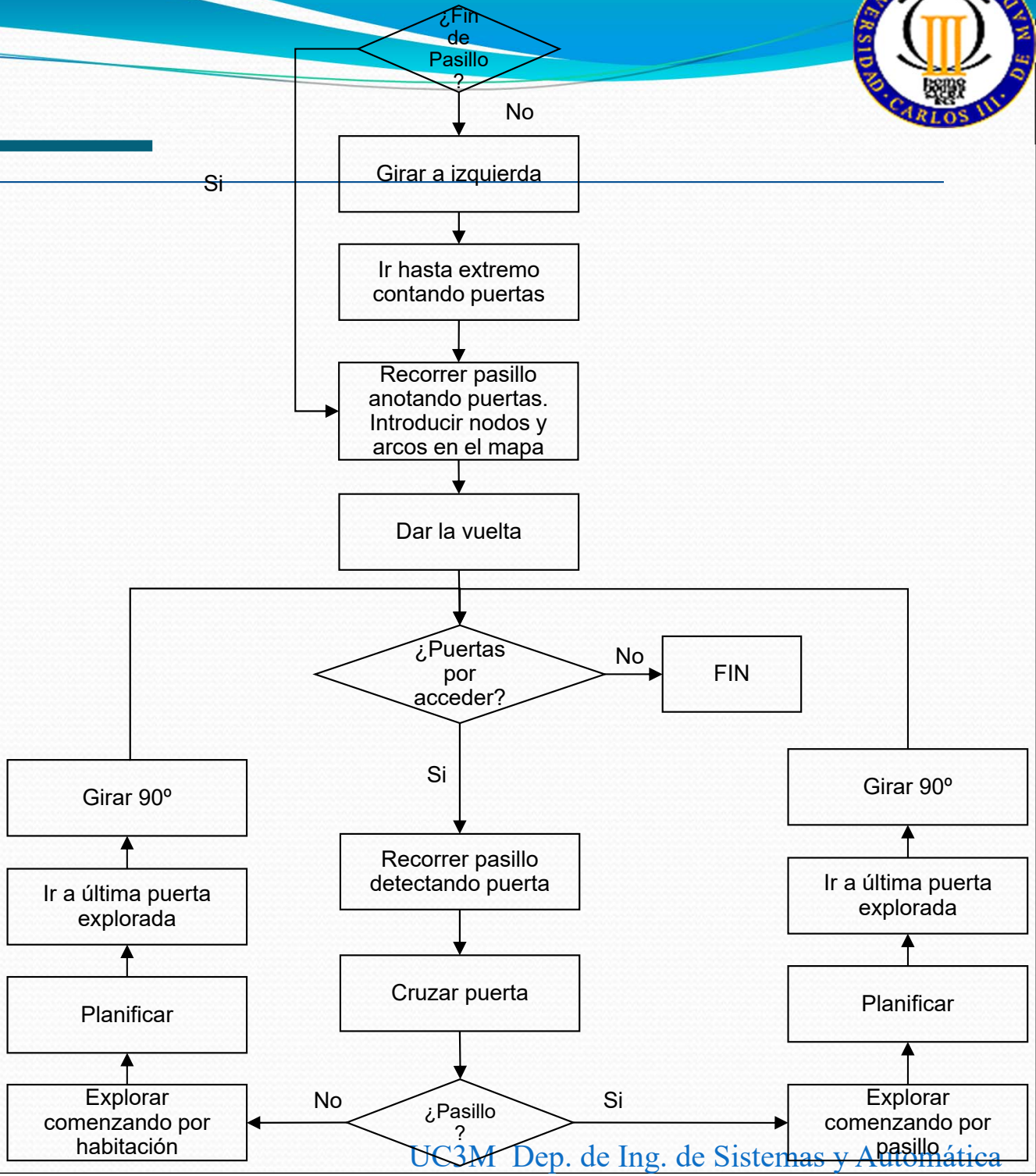
- Algoritmo de generación.



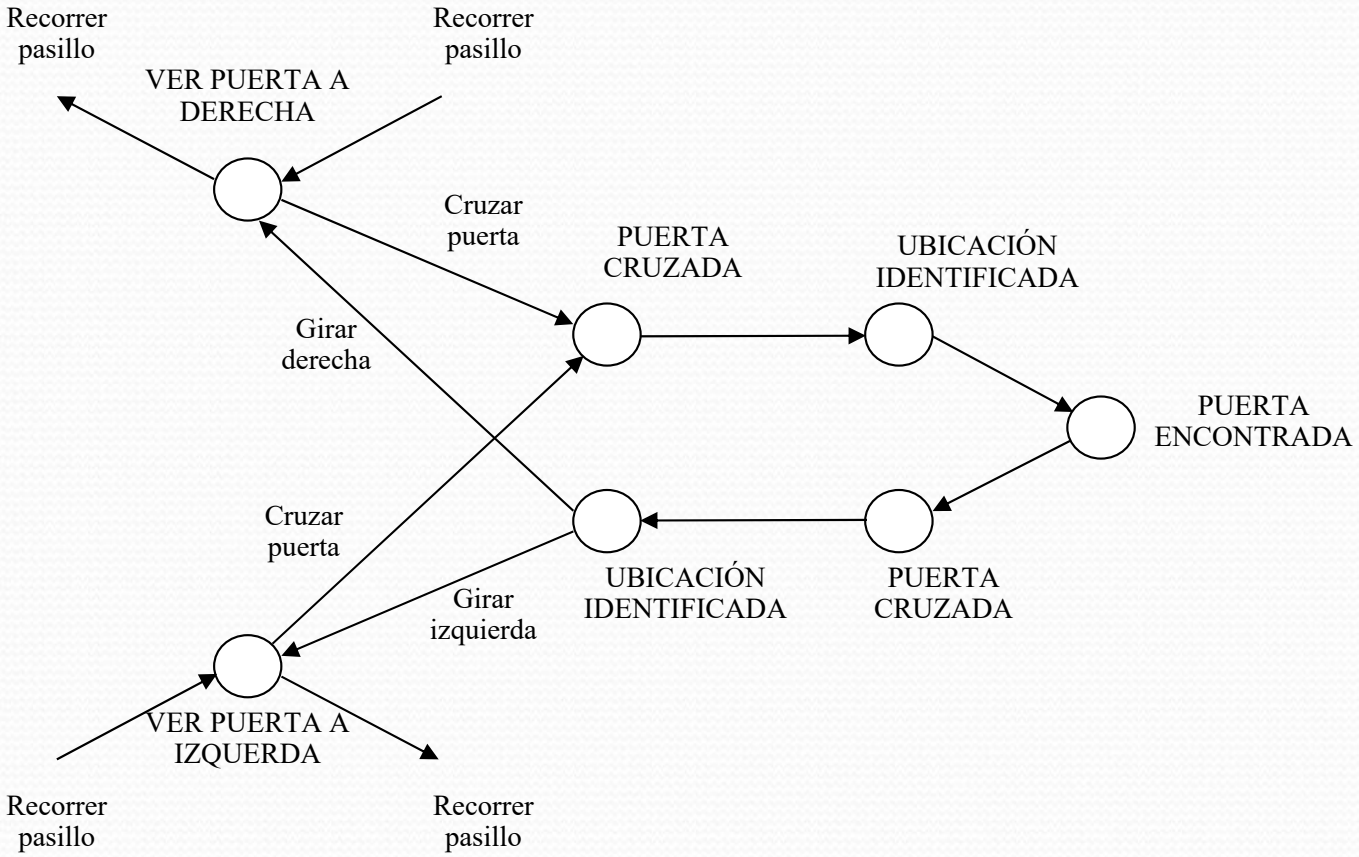


Modulo pasillo



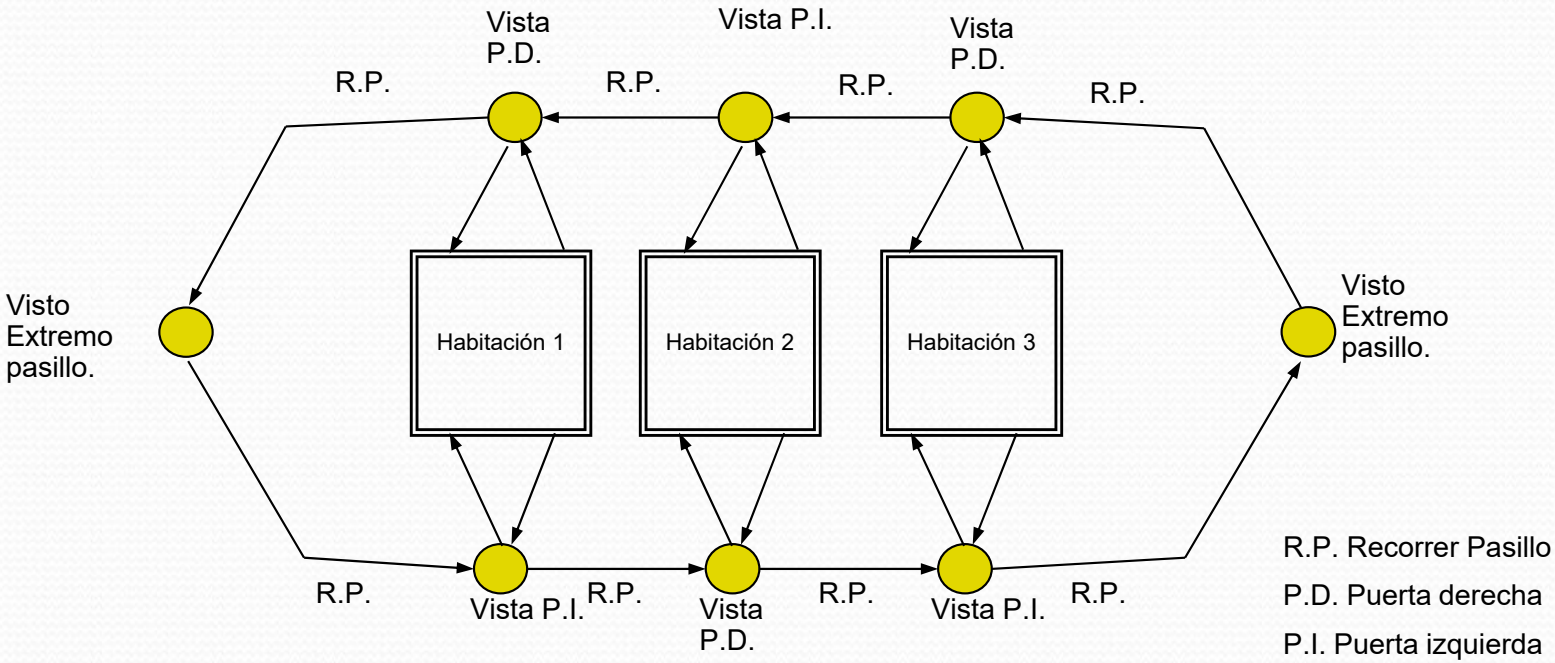


Modulo pasillo



Estructura de nodos y arcos generada por cada puerta detectada

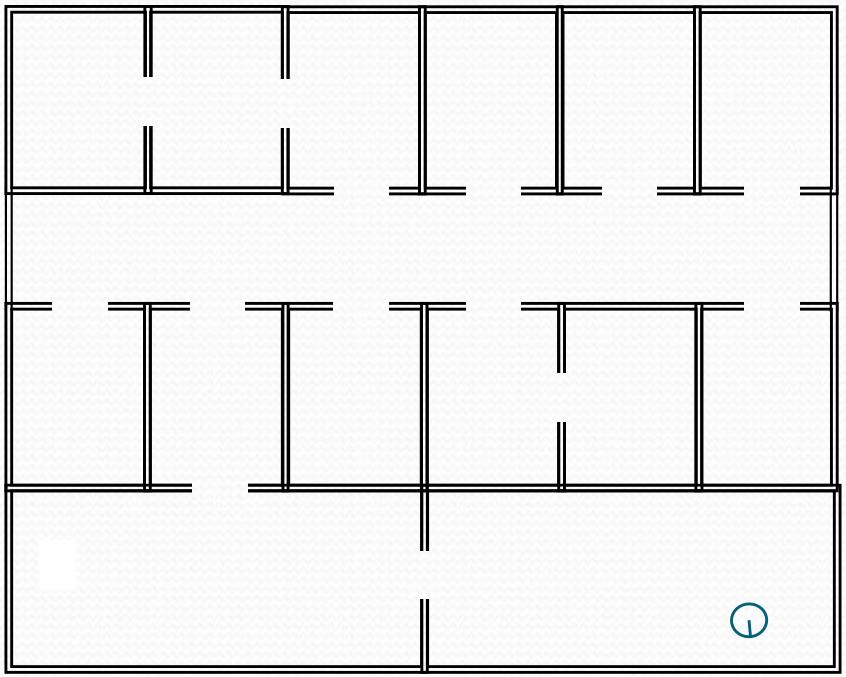
Modulo pasillo

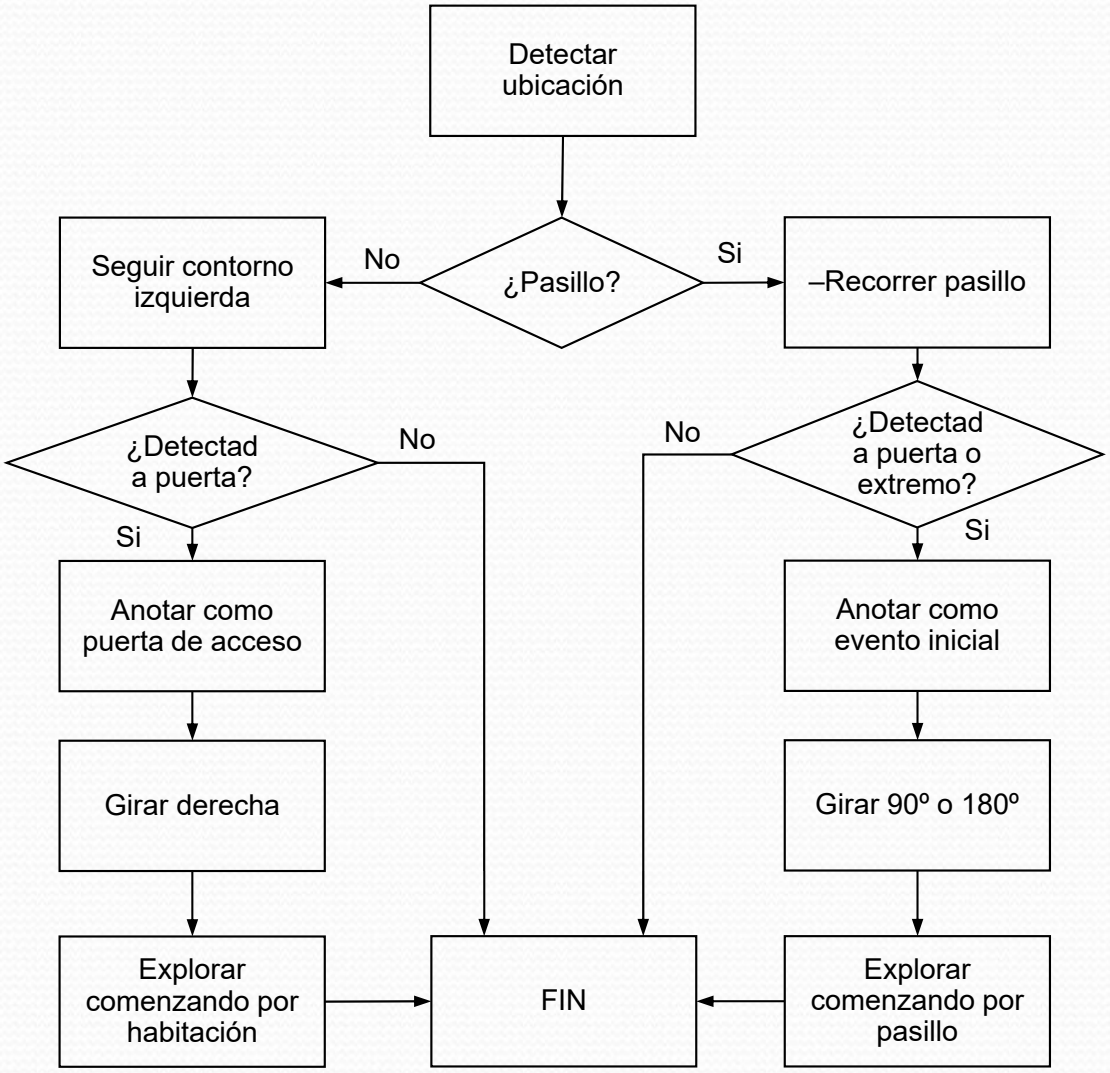


Estructura esquemática de la Carta de Navegación de un pasillo

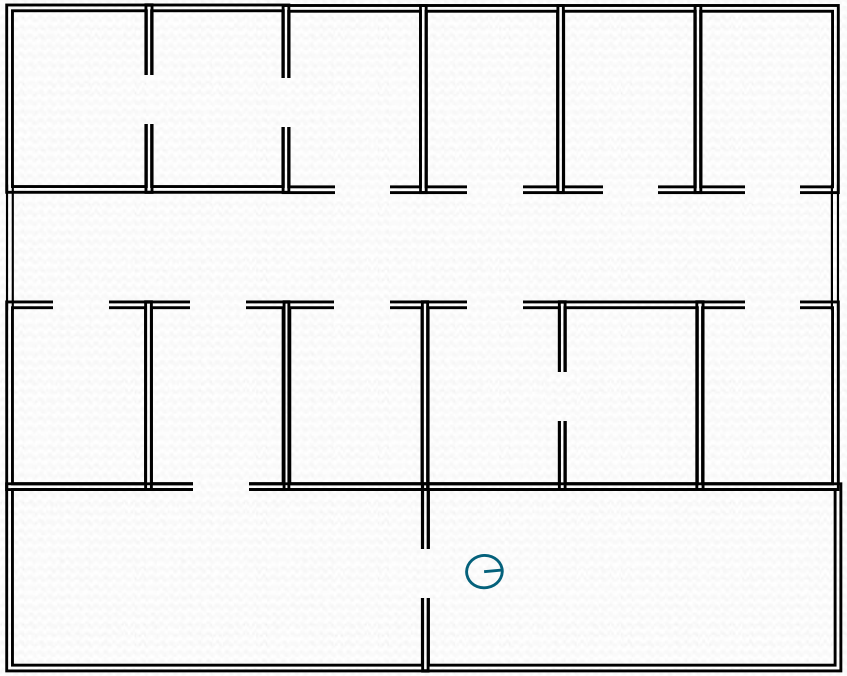
Generación autónoma de mapa topológico

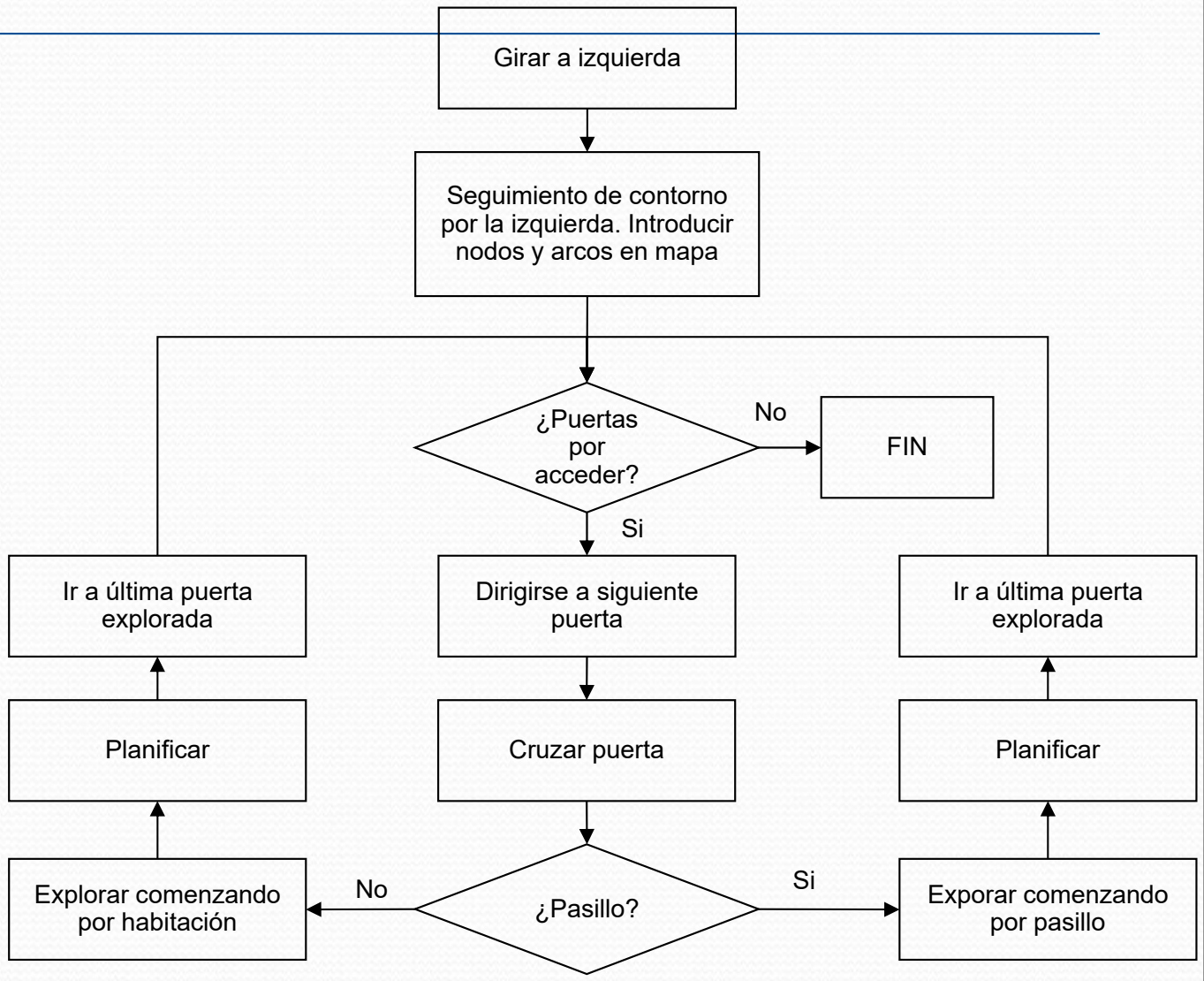
- Algoritmo de generación.



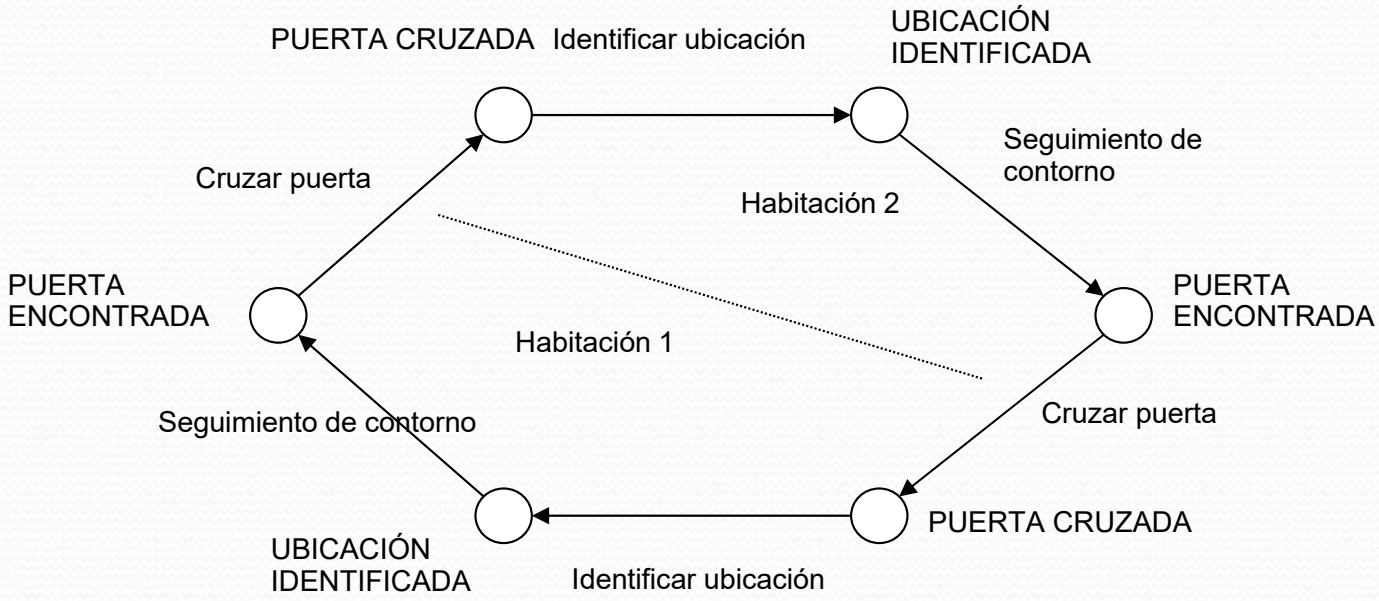


Modulo habitación



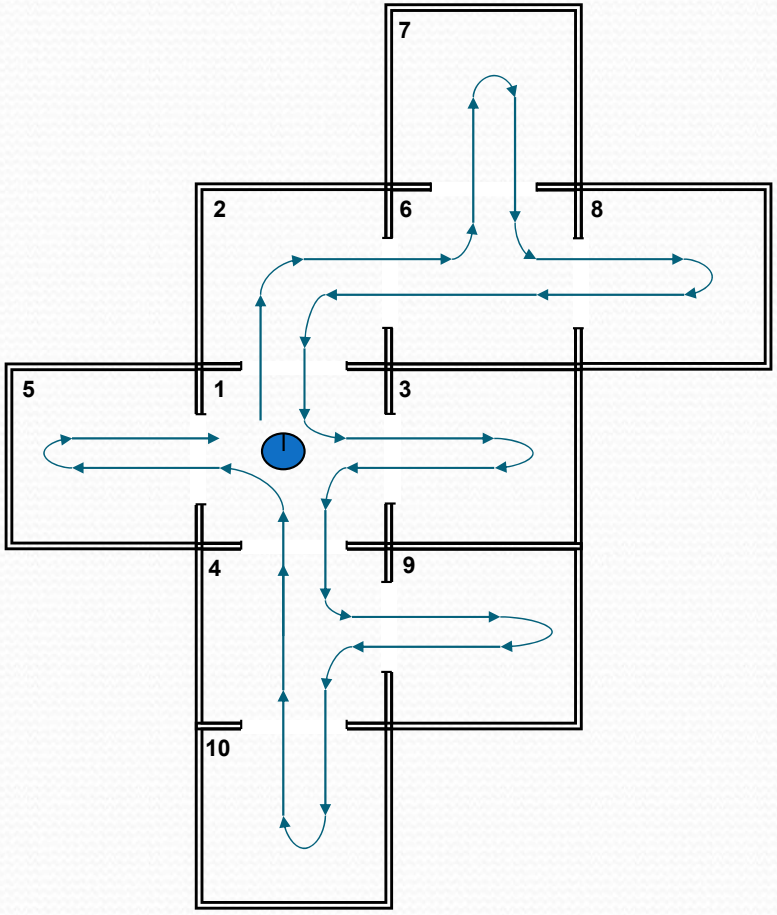


Modulo habitación



Estructura de nodos y arcos generada en el caso de 2 habitaciones

Generación autónoma de mapa topológico



MAPA DENTRO DE UNA HABITACIÓN

Puerta cruzada

Identificar Ubicación

Habitación identificada

Buscar zonas de paso

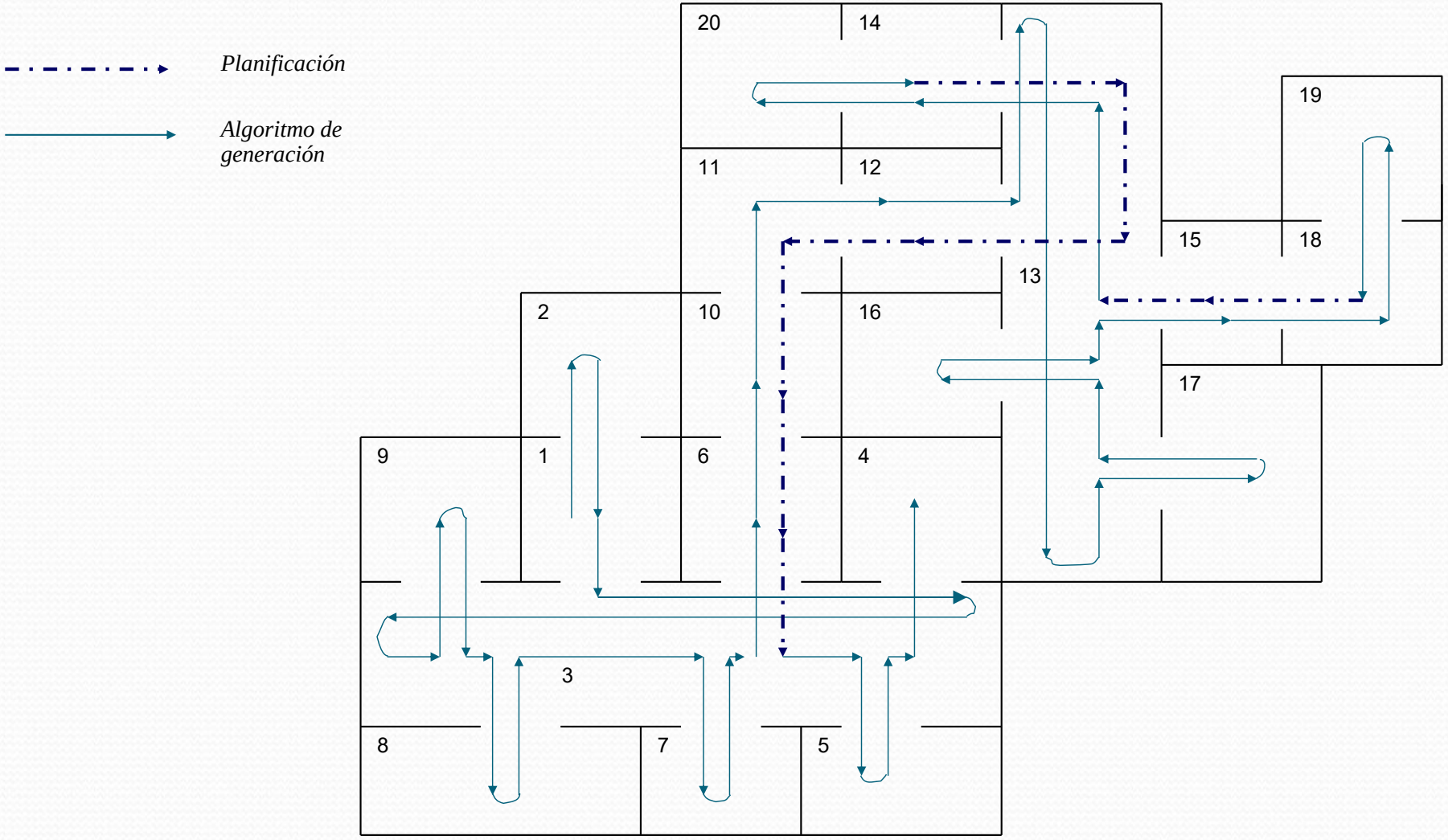
Zonas de paso encontradas

Encarar puerta

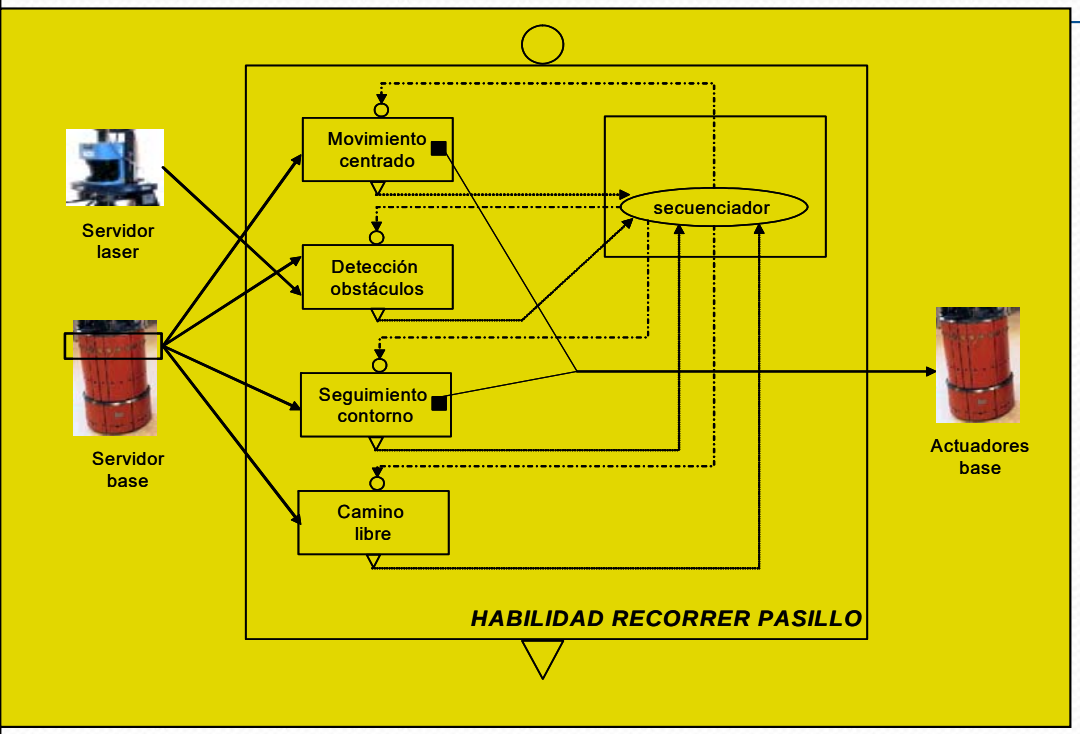
Ver puerta de frente

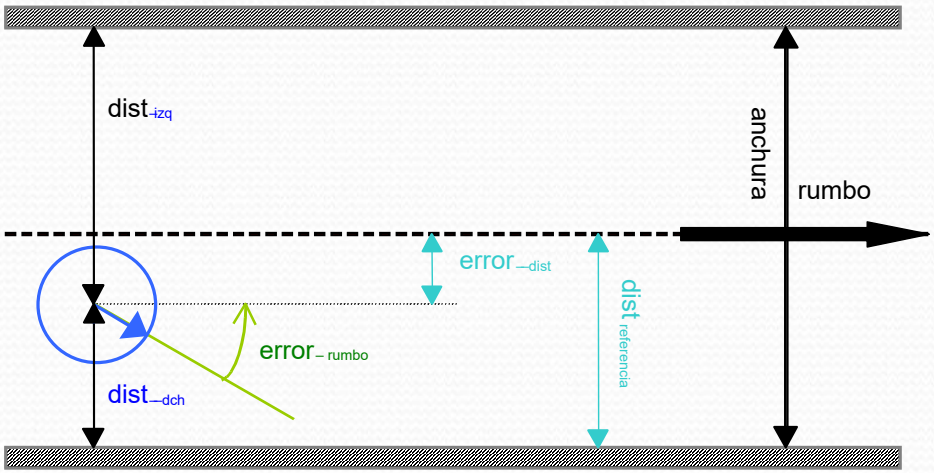
Cruzar puerta

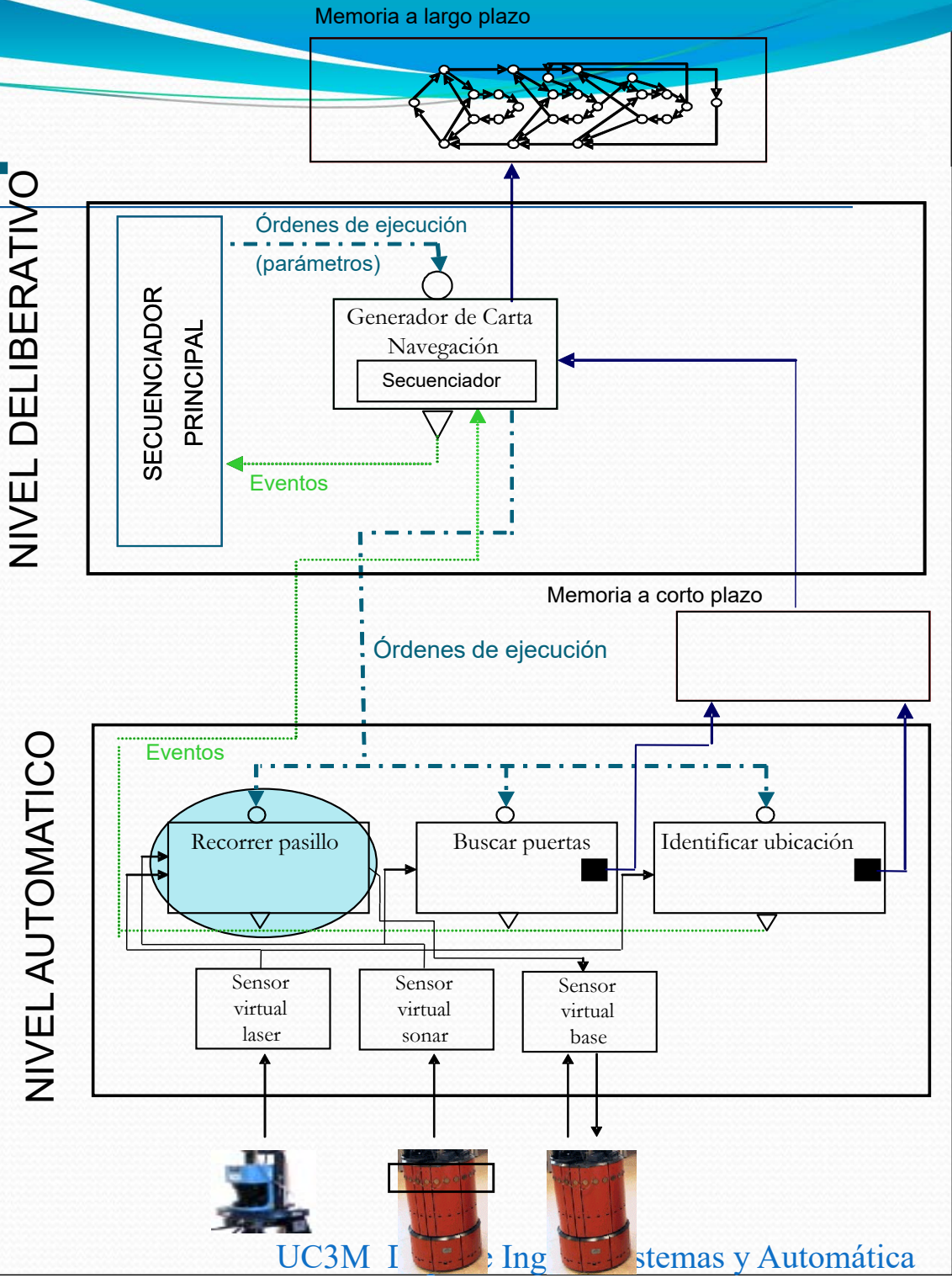
Generación autónoma de mapa topológico



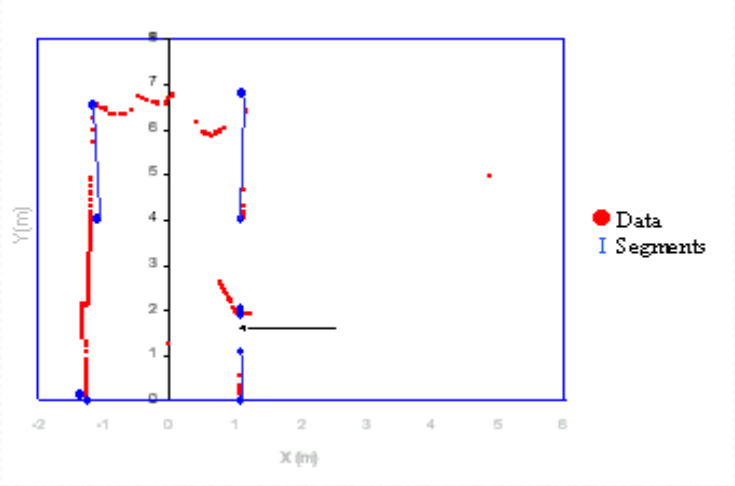
Generación

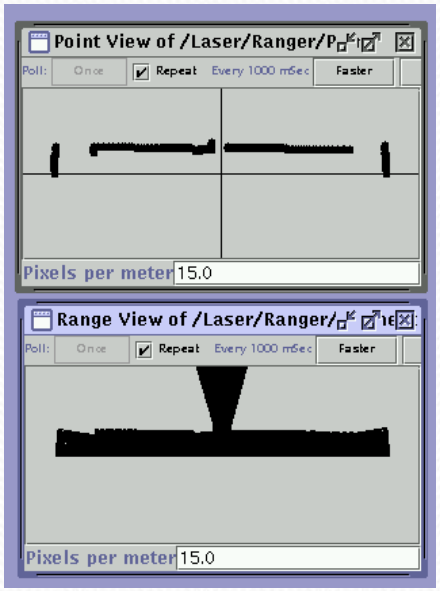

Servidor laser
Servidor base
Movimiento centrado
Detección obstáculos
Seguimiento contorno
Camino libre
secuenciador
Actuadores base
HABILIDAD RECORRER PASILLO

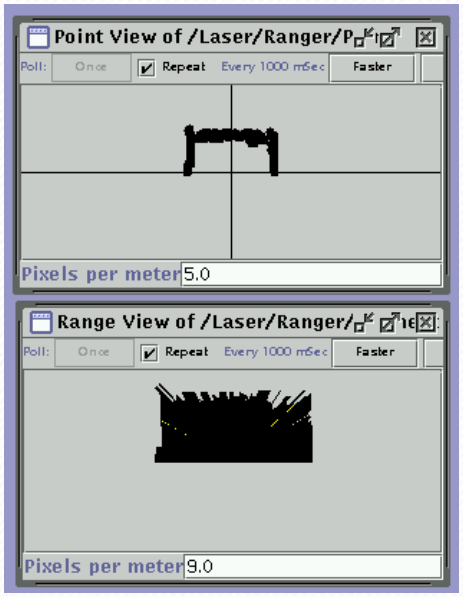

dist-izq
anchura
rumbo
error-dist
dist referencia
error- rumbo
dist-dch

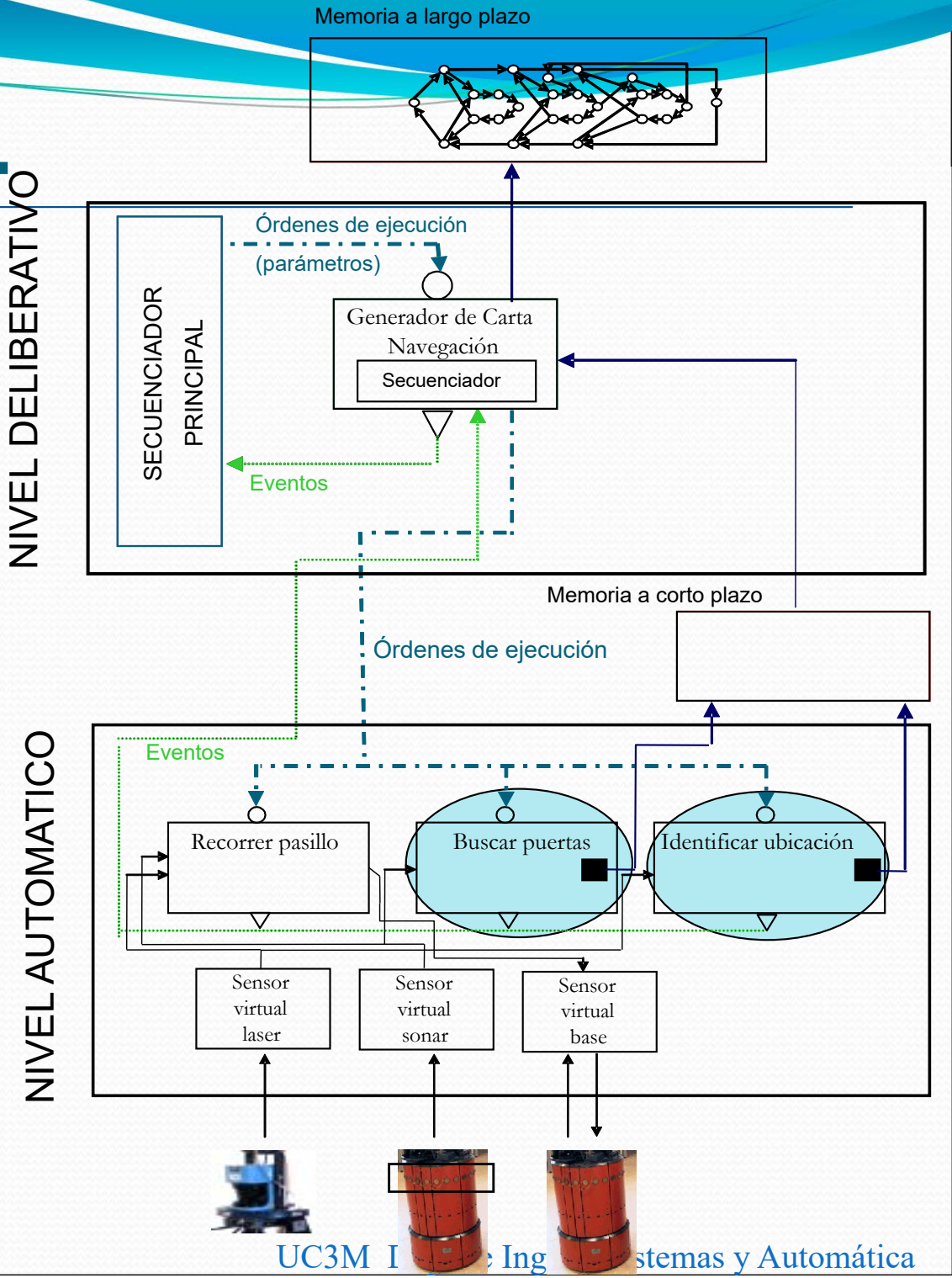

Memoria a largo plazo
NIVEL DELIBERATIVO
SECUENCIADOR PRINCIPAL
Órdenes de ejecución
(parámetros)
Generador de Carta Navegación
Secuenciador
Eventos
Memoria a corto plazo
Órdenes de ejecución
NIVEL AUTOMATICO
Eventos
Recorrer pasillo
Buscar puertas
Identificar ubicación
Sensor virtual laser
Sensor virtual sonar
Sensor virtual base

Generación

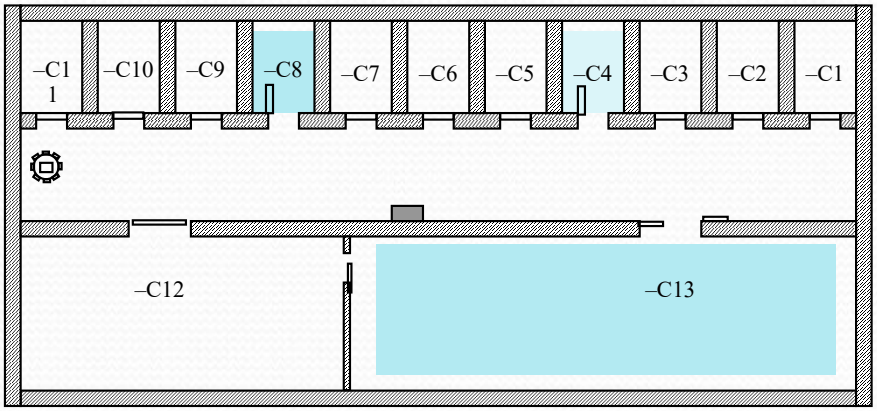

Y (m)
X (m)
Data
Segments


Point View of /Laser/Ranger/P
Poll: Once Repeat Every 1000 mSec Faster
Pixels per meter 15.0
Range View of /Laser/Ranger/
Poll: Once Repeat Every 1000 mSec Faster
Pixels per meter 15.0

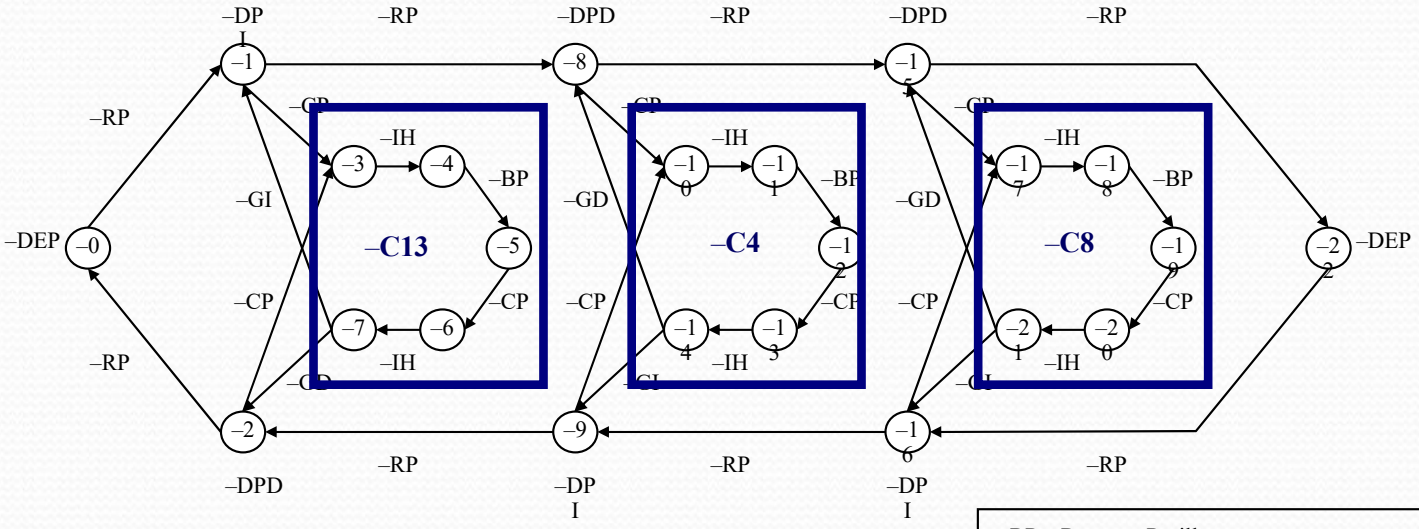

Point View of /Laser/Ranger/P
Poll: Once Repeat Every 1000 mSec Faster
Pixels per meter 5.0
Range View of /Laser/Ranger/
Poll: Once Repeat Every 1000 mSec Faster
Pixels per meter 9.0


Memoria a largo plazo
NIVEL DELIBERATIVO
SECUENCIADOR PRINCIPAL
Órdenes de ejecución
(parámetros)
Generador de Carta Navegación
Secuenciador
Eventos
Memoria a corto plazo
Órdenes de ejecución
NIVEL AUTOMATICO
Eventos
Recorrer pasillo
Buscar puertas
Identificar ubicación
Sensor virtual laser
Sensor virtual sonar
Sensor virtual base

Generación
Resultados experimentales [Egido02]

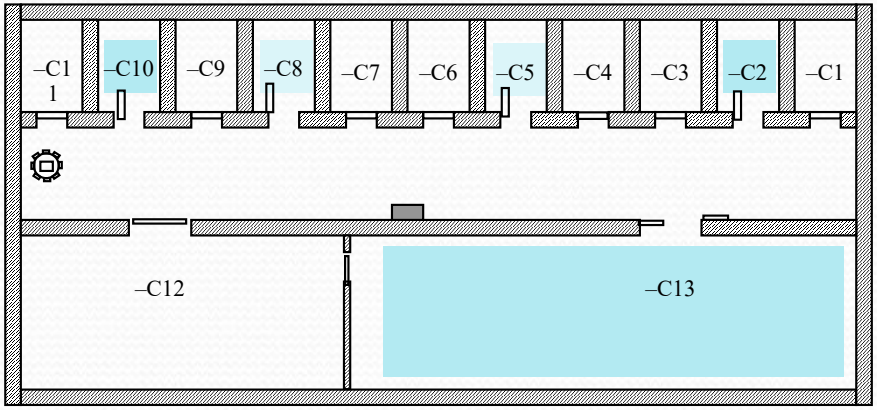


	Tiempos (s)	Distancias (m)
Inicio – C13	16	5.52
C13 – C4	7	2.69
C4 – C8	24	9.92
C8 – Final	22	6.87
Total	69	25.00



–RP→Recorrer Pasillo
–CP→Cruzar Puerta
–IH→Identificar Habitación
–BP→Buscar Puertas
–GI→Girar a la Izquierda
–GD→Girar a la Derecha
–DPI→Detectada Puerta a la Izquierda
–DPD→Detectada Puerta a la Derecha
–DEP→Detectado Extremo del Pasillo

Generación
Resultados experimentales [Egido02]



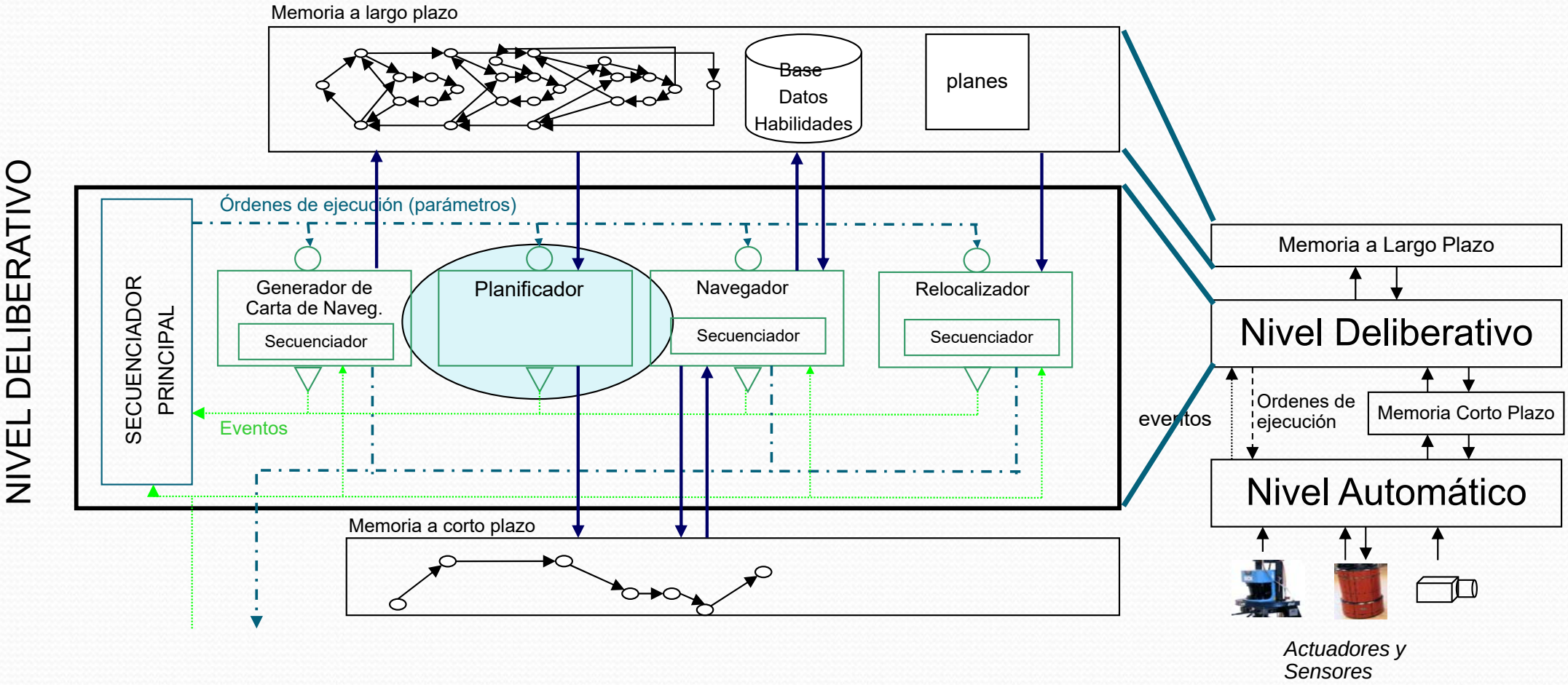
	Tiempo (s)			
Inicio – C10	7	10	8	8
C10 – C8	14	12	13	14
C8 – C5	21	19	21	19
C5 – C13	**7**	10	8	8
C13 – C2	12	5	15	13
C2 – Final	4	10	5	5
Total	65	66	70	67

	Distancia (m)			
Inicio – C10	3.07	2.85	2.99	2.79
C10 – C8	5.28	4.58	4.64	4.57
C8 – C5	7.23	6.78	6.55	7.12
C5 – C13	4.22	4.95	5.47	4.47
C13 – C2	3.91	4.72	4.31	4.31
C2 – Final	2.04	2.20	1.98	2.03
Total	25.75	26.08	25.94	25.29

Indice de Contenidos

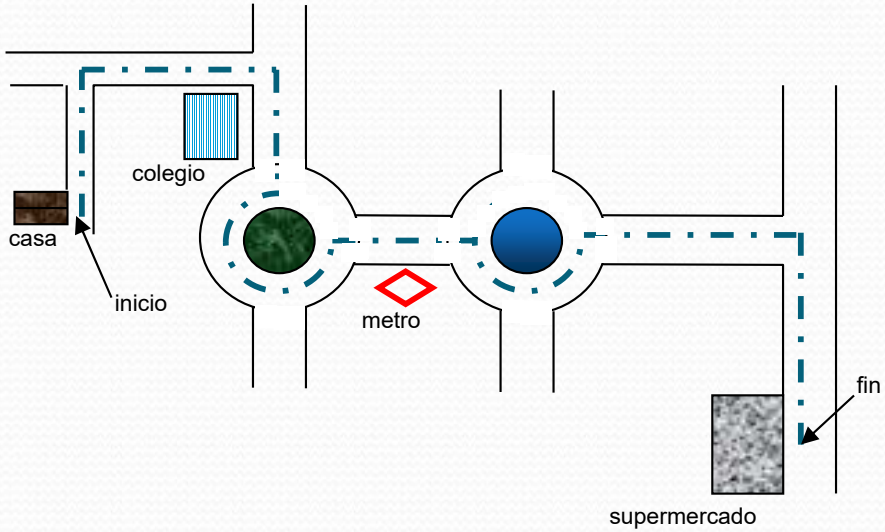
- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

Planificación



Planificación

- Indicaciones de cómo ir a un lugar a modo de plan.



- 1. Sigue recto hasta el cruce.
- 2. Gira a la derecha.
- 3. Sigue recto hasta el cruce (verás un colegio a la derecha).
- 4. Gira a la derecha.
- 5. Sigue recto hasta una glorieta.
- 6. Recorre la glorieta sales por la segunda.
- 7. Sigue recto hasta siguiente glorieta (verás metro a la derecha).
- 8. Recorre a glorieta sales por la segunda.
- 9. Recto hasta cruce.
- 10.Gira a la derecha.
- 11. Recto hasta supermercado a la derecha.

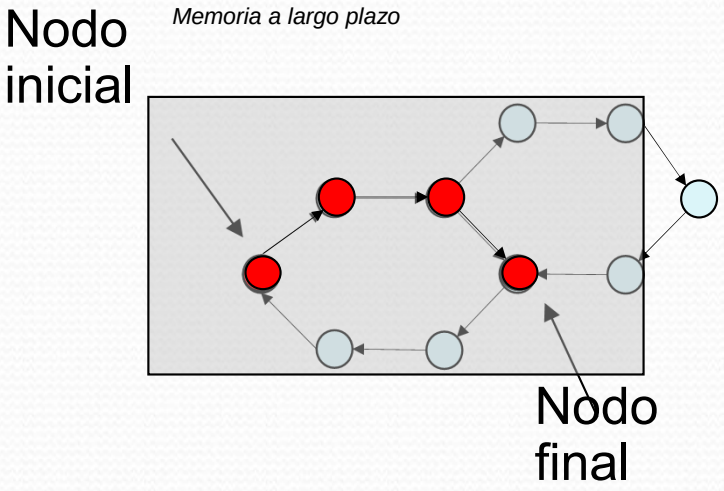
Planificación

- [Kuipers78] comienzo del desarrollo de un modelo computacional que imita el comportamiento humano en la planificación de movimientos.

- [Kuiper88][Kuipers91][Kuipers96][Kuipers00] -> modelo SSH (*Spatial Semantic Herarchy*)

Planificación
Algoritmos

- Planificación en la Carta de Navegación.

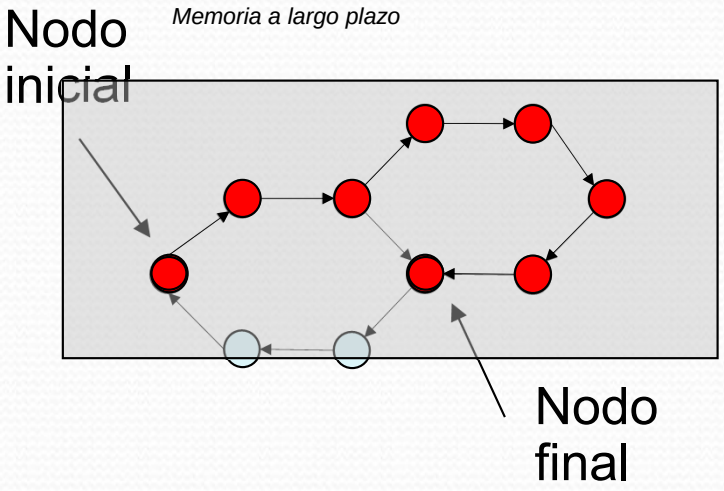


- Si no se ha navegado en el entorno con anterioridad escoge la secuencia que minimiza el tiempo -> *Algoritmo Dijkstra*

Secuencia de nodos $v_0, v_1, v_2 \ldots$ y arcos $e_{0,1}, e_{1,2}, e_{2,3} \ldots$

Planificación
Algoritmos

- Planificación en la Carta de Navegación.



- Si posee experiencias previas de navegación tendrá en cuenta pasados éxitos o fracasos tendiendo a ir por zonas previamente visitadas -> *Dijkstra Guiado*

Planificación
Algoritmo *Dijkstra Guiado*

- Dijkstra guiado.

$$\boldsymbol{costeguiado}[e(i,j)] = \boldsymbol{coste}[e(i,j)] - \boldsymbol{\lambda}\, \boldsymbol{r}(vj,e(i,j))\boldsymbol{S}(vj)$$

  - $\mathbf{r}(vj,e(i,j))$ es el parámetro de refuerzo si su valor es mayor que cero y de penalización si es inferior

$$\mathbf{r}(vj,e(i,j)) = w(v_j)*coste[e(i,j)]$$

$w(v_j)$ vector de pesos

Identificador:	*nodo 0*
Evento:	*detecta puerta izquierda*
Centinela:	0 ó 1
Peso:	[-2...3]
Parámetros:	30º...

Planificación
Algoritmo *Dijkstra Guiado*

- Dijkstra guiado.

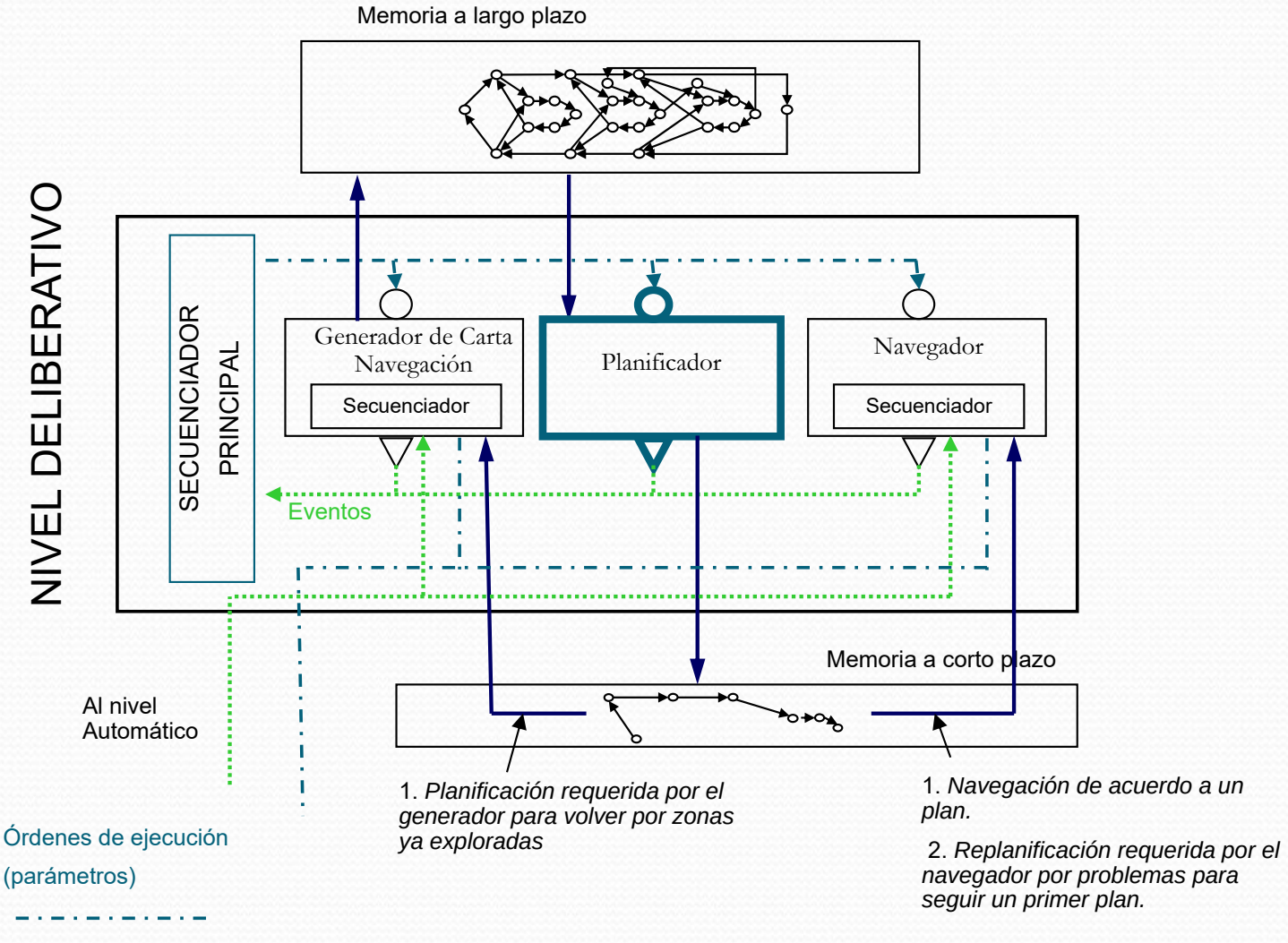
$$\boldsymbol{costeguiado}[e(i,j)] = \boldsymbol{cost}[e(i,j)] - \boldsymbol{\lambda}\ \boldsymbol{r}(vj,e(i,j))\ \boldsymbol{S}(vj)$$

  - λ es el parámetro de personalidad
  - $\boldsymbol{S}(vj)$ es el centinela del nodo j

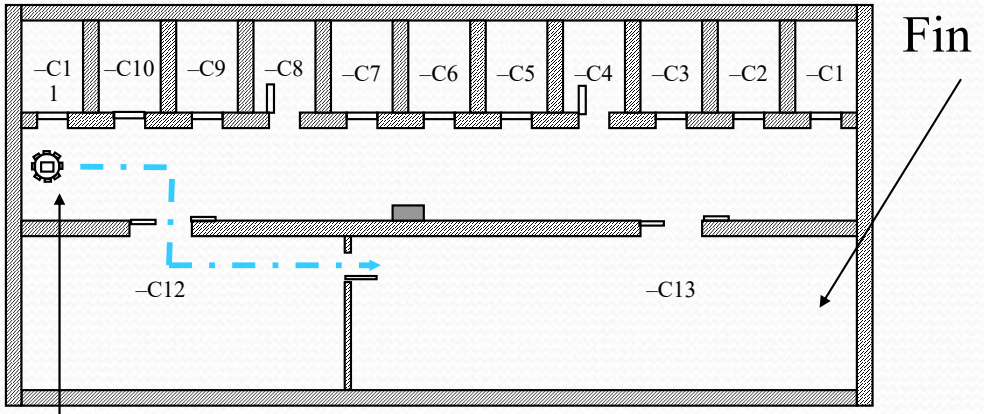
Identificador:	*nodo 0*
Evento:	*detecta puerta izquierda*
Centinela:	0 ó 1
Peso:	[-2...3]
Parámetros:	30º...

Planificación

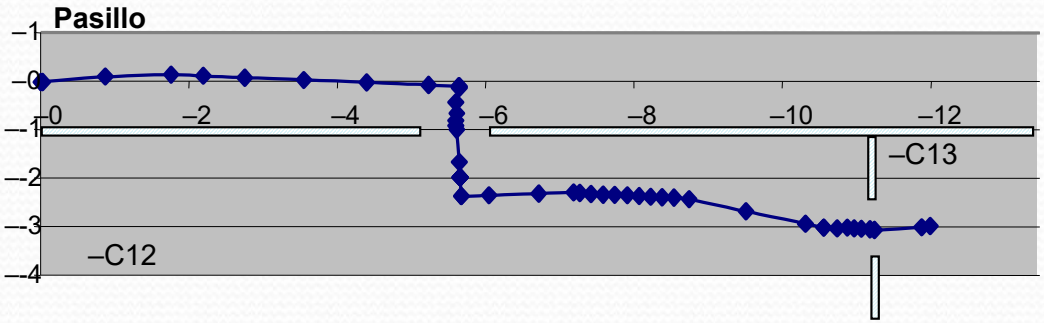
- Habilidad deliberativa en AD.

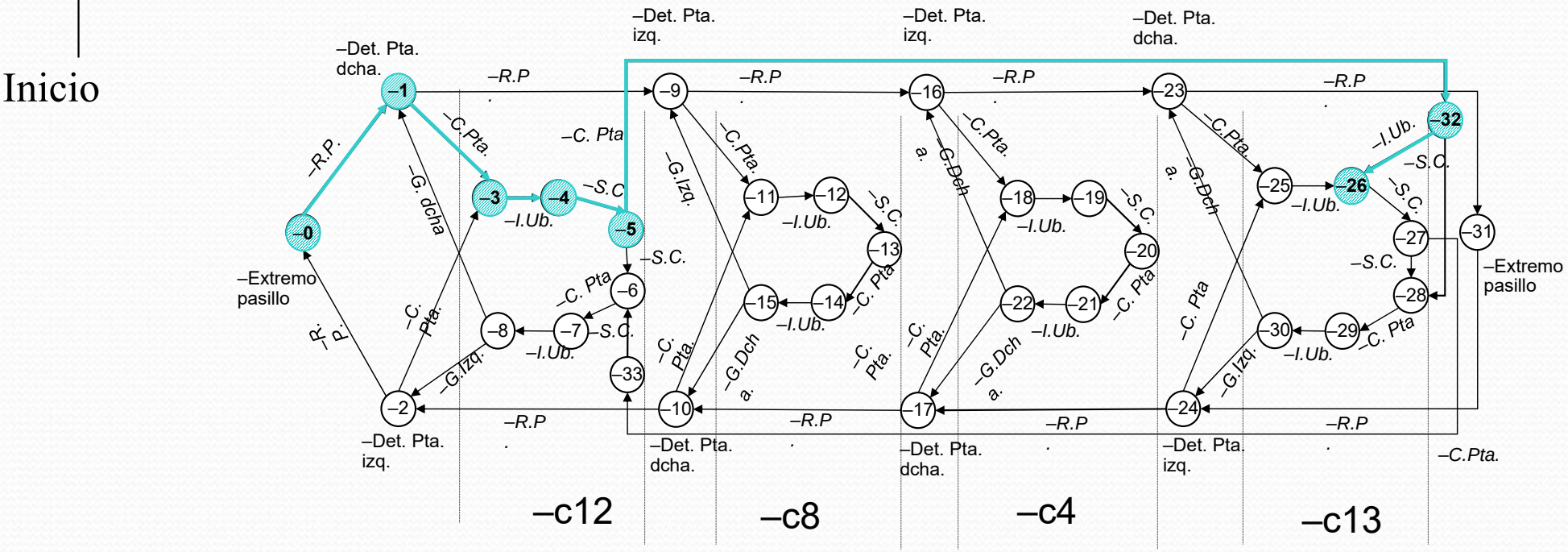


Resultados de planificación



Planificación extremo-pasillo al despacho C13

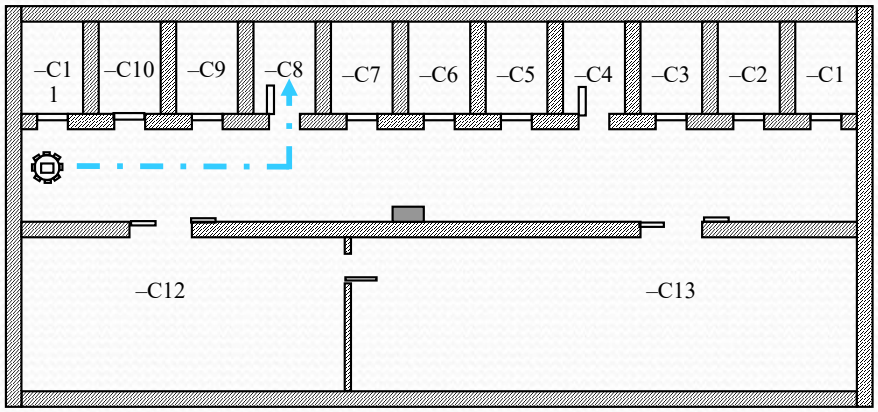




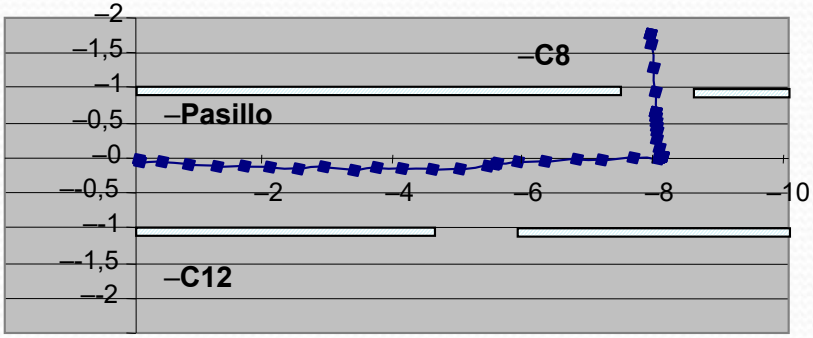
R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

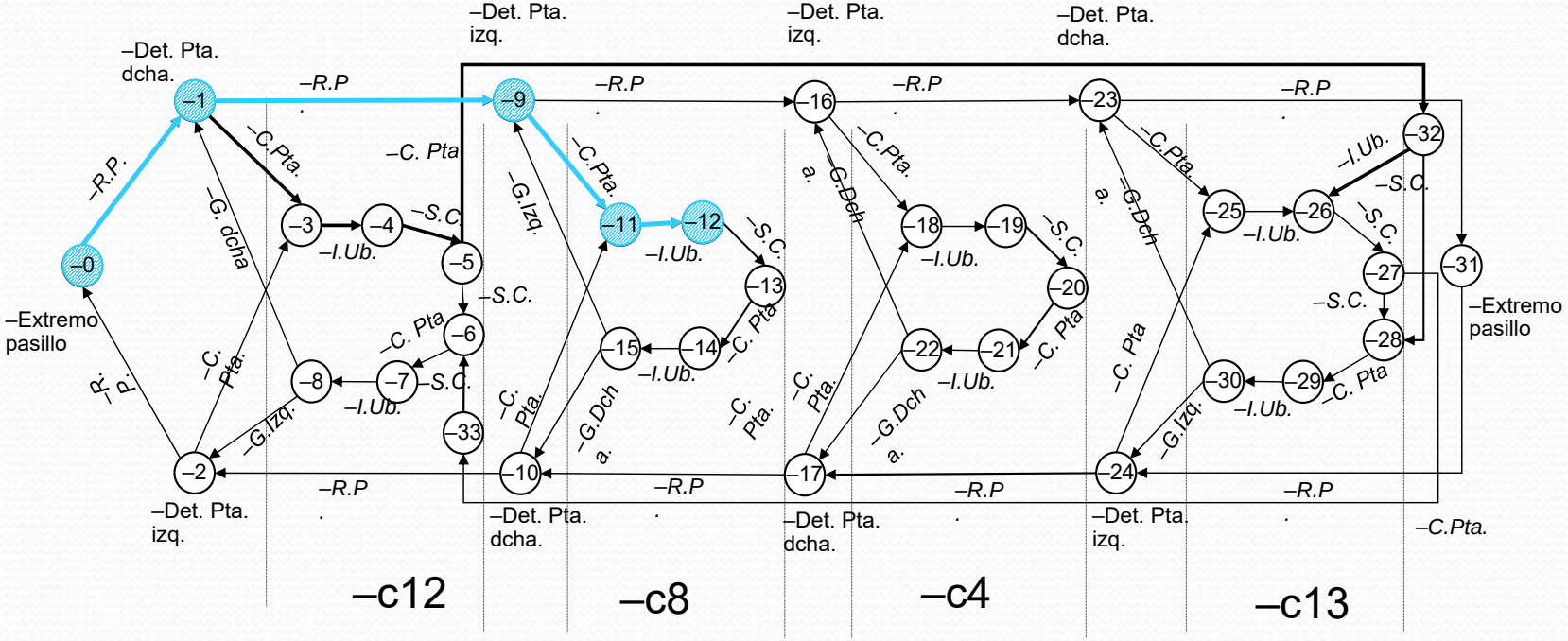
S.C. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de planificación



Planificación extremo-pasillo al despacho C8

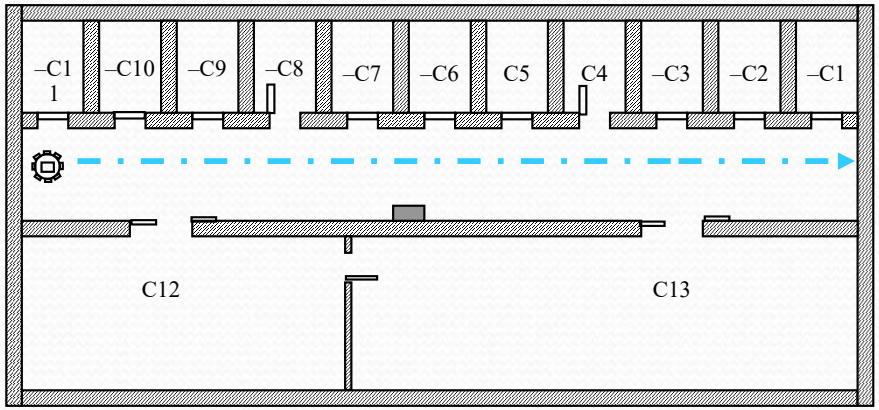




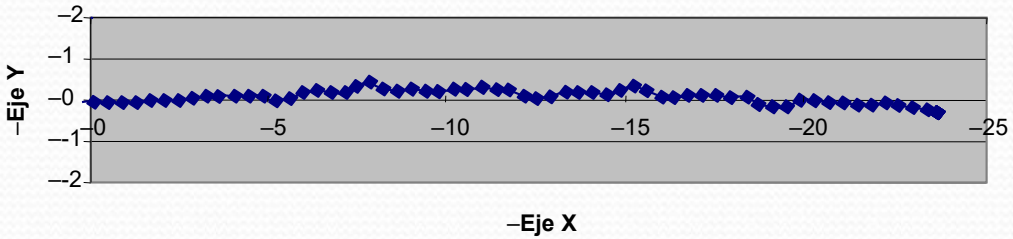
–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

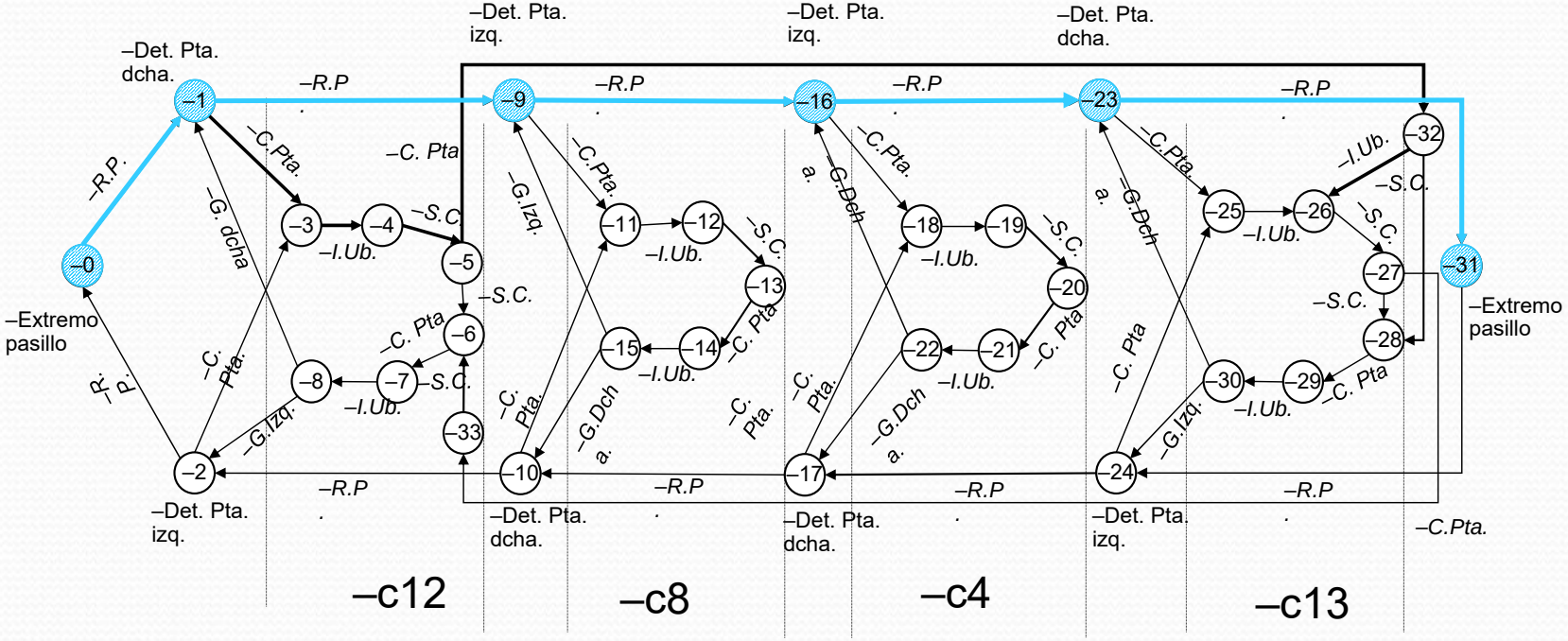
–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de planificación



Planificación de un extremo a otro del pasillo

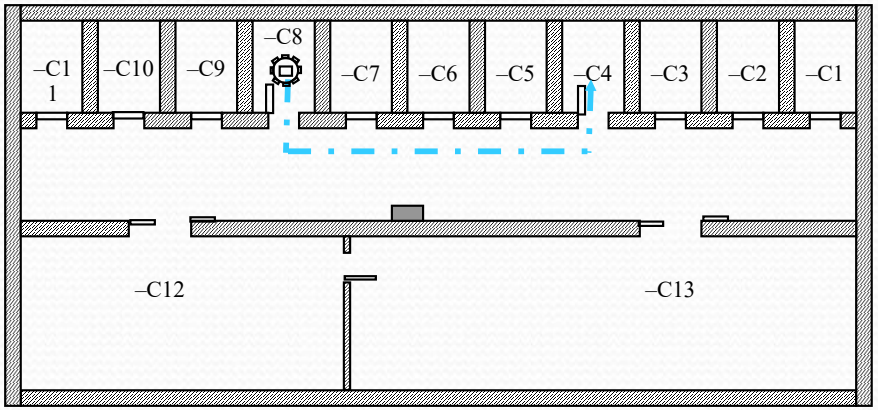


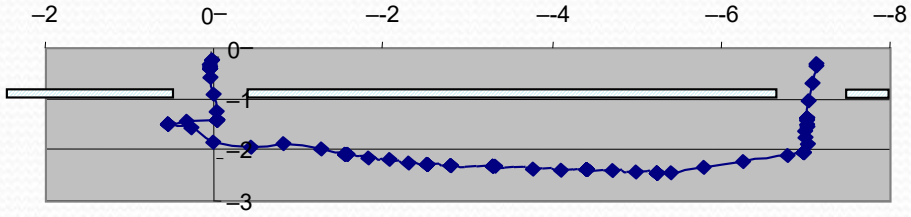


R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

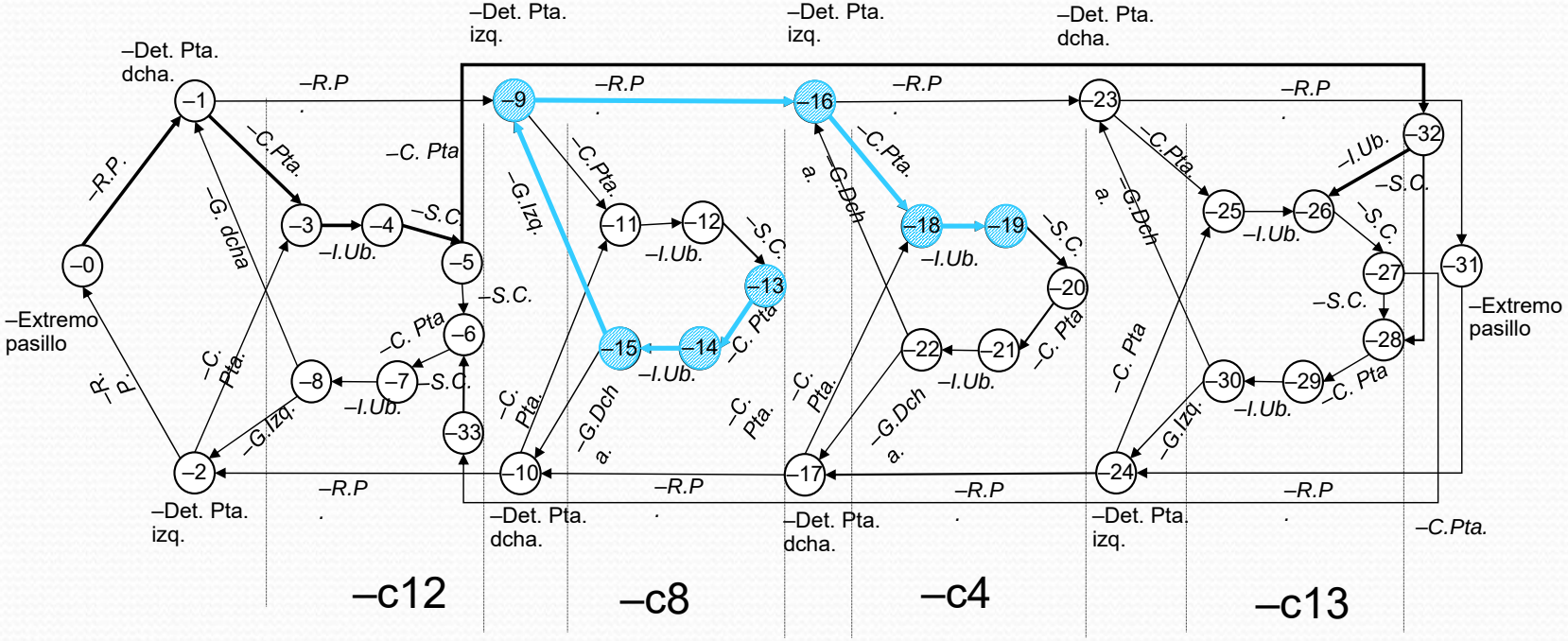
S.C. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Planificación
Resultados experimentales





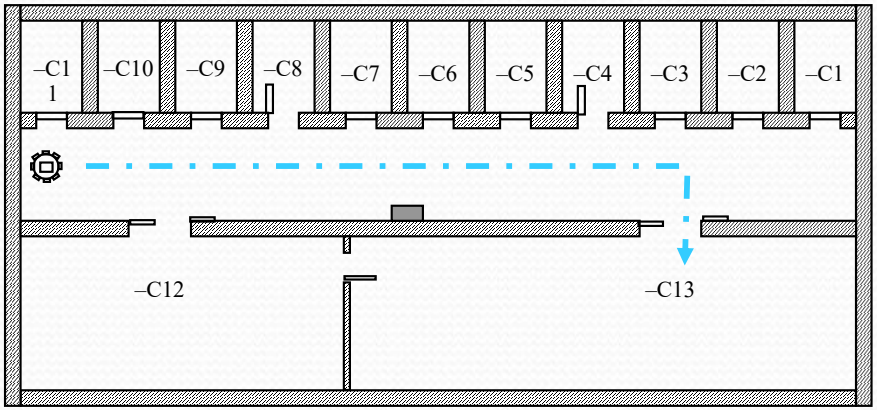
Planificacion c8-c4



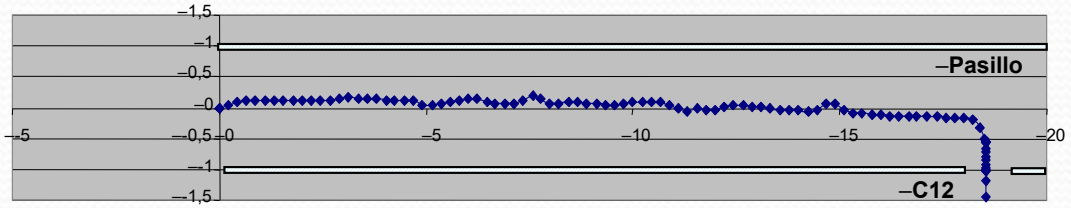
R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

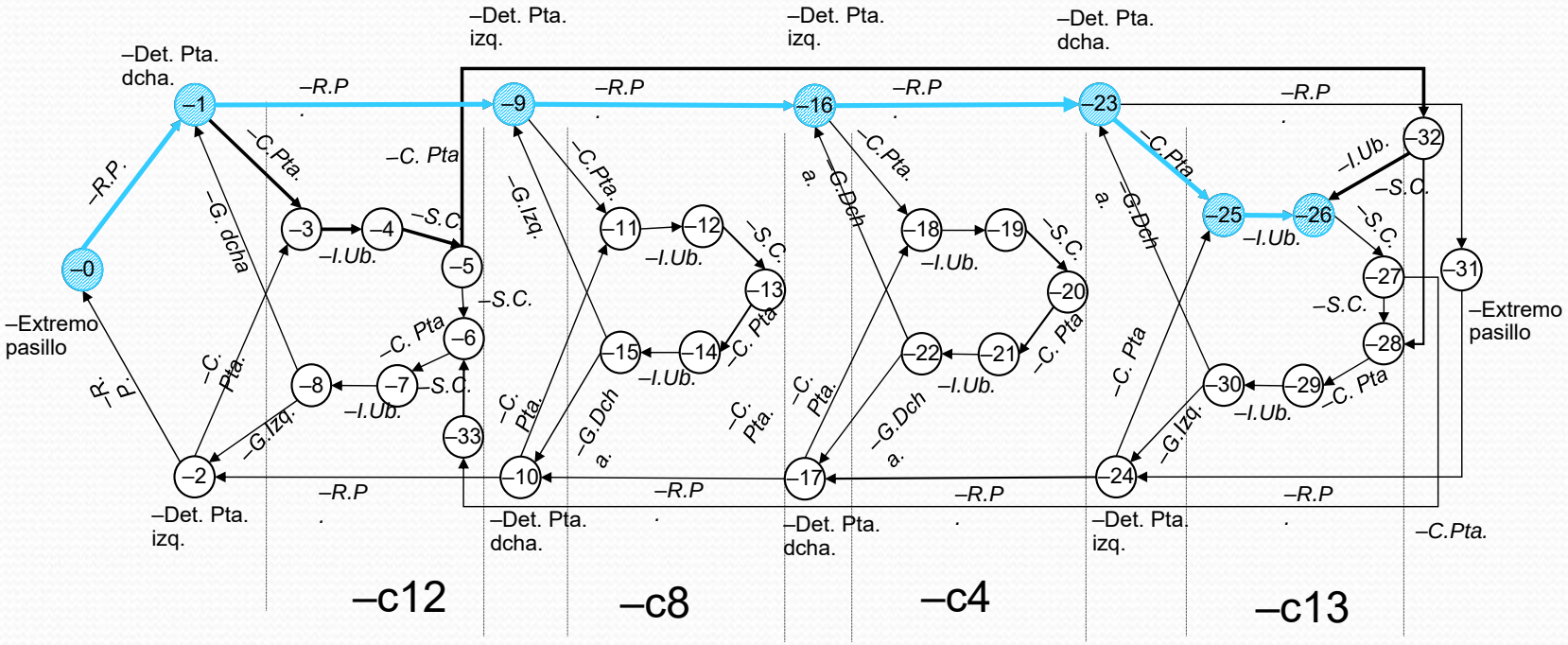
S.C. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Planificación
Resultados experimentales



Planificación extremo-pasillo al despacho C12





–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Indice de Contenidos

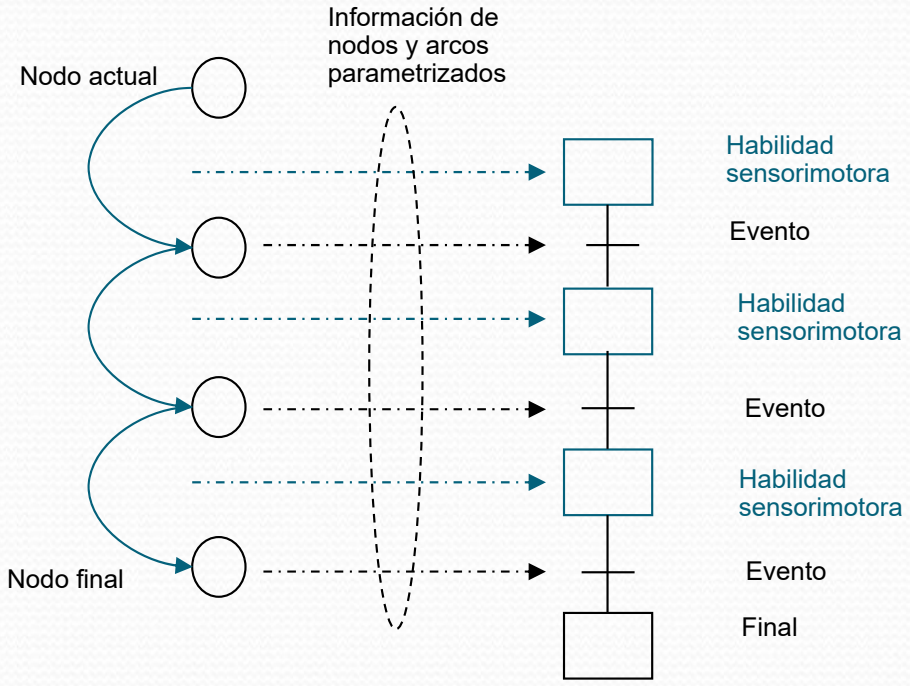
- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

Navegación y Supervisión

- Supervisión:
  - Proceso por el cual el robot busca discrepancias entre el entorno observado y la representación interna que posee del mismo y establece mecanismos de recuperación para tales discrepancias [Giacomo]
  - Excepción [Fernandez], Fallos [Stuck], Discrepancias [Fichtner]…

Navegación y Supervisión

- Paso inicial:

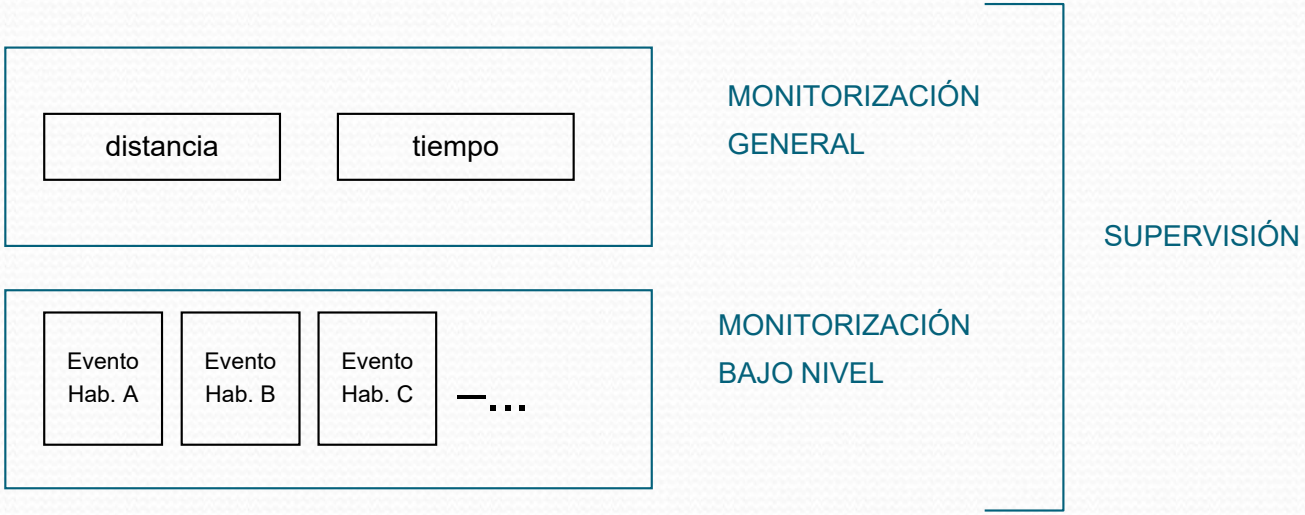


Subgrafo que indica el plan a realizar

Secuencia de activación y desactivación

Navegación y Supervisión

- Supervision mediante monitorización múltiple.



Navegación y Supervisión

- Monitorización de distancias.

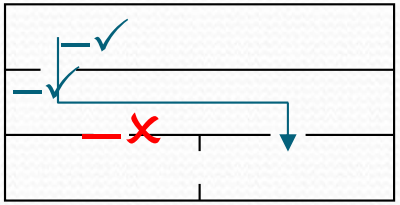
–Estructura de los arcos de la Carta de Navegación.

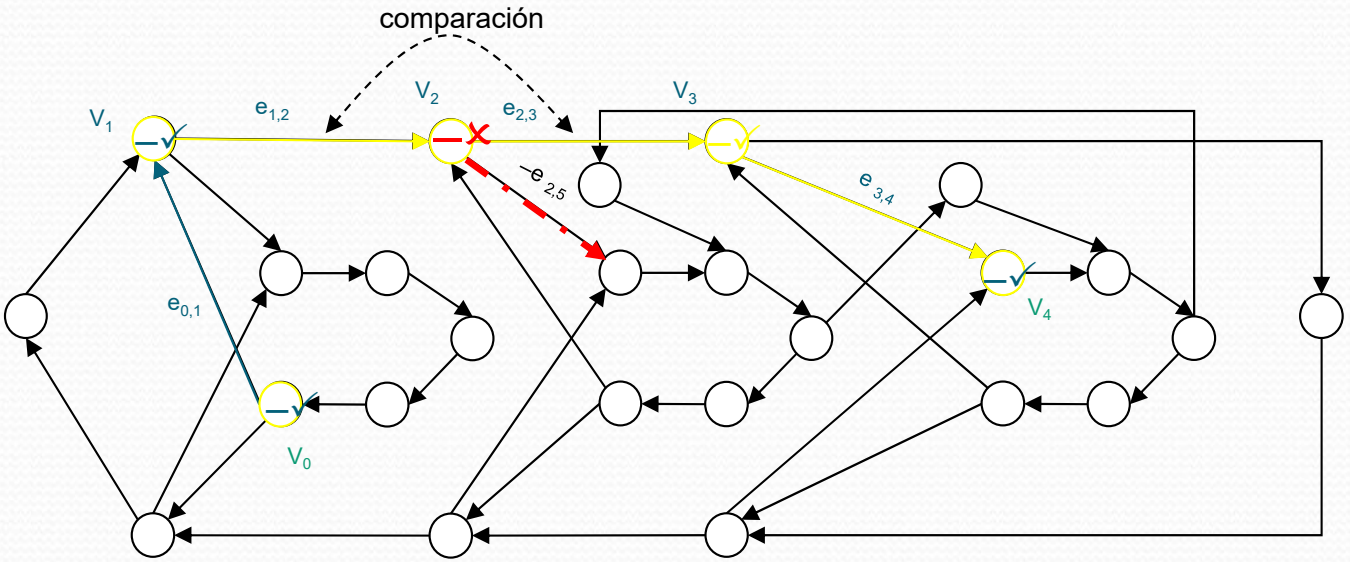
Habilidad:	*recorrer pasillo*
Param. Planifica.:	40s,10m
Param. Activación:	V_{max} d_{min} ...
Centinela:	0 ó 1

–Criterio que implica superar la distancia almacenada en una cantidad.

Navegación y Supervisión

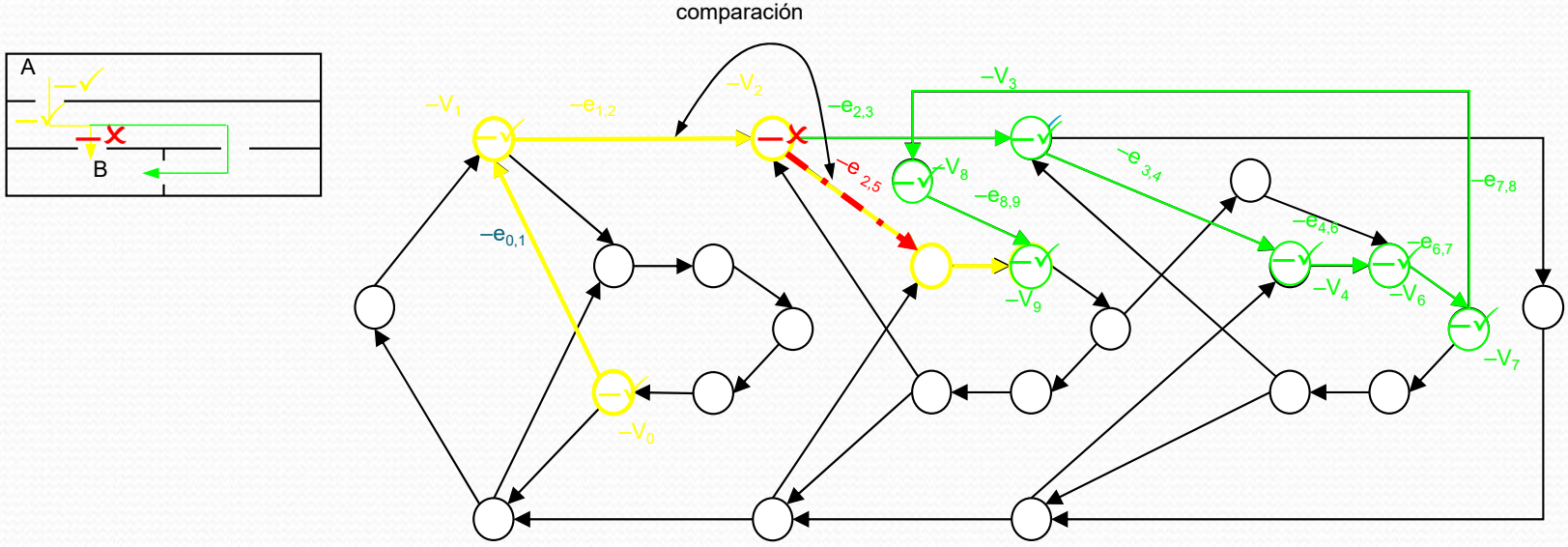
- Monitorización de distancias.
  - Primer caso:
    - El evento no es decisivo para la ejecución del plan con éxito





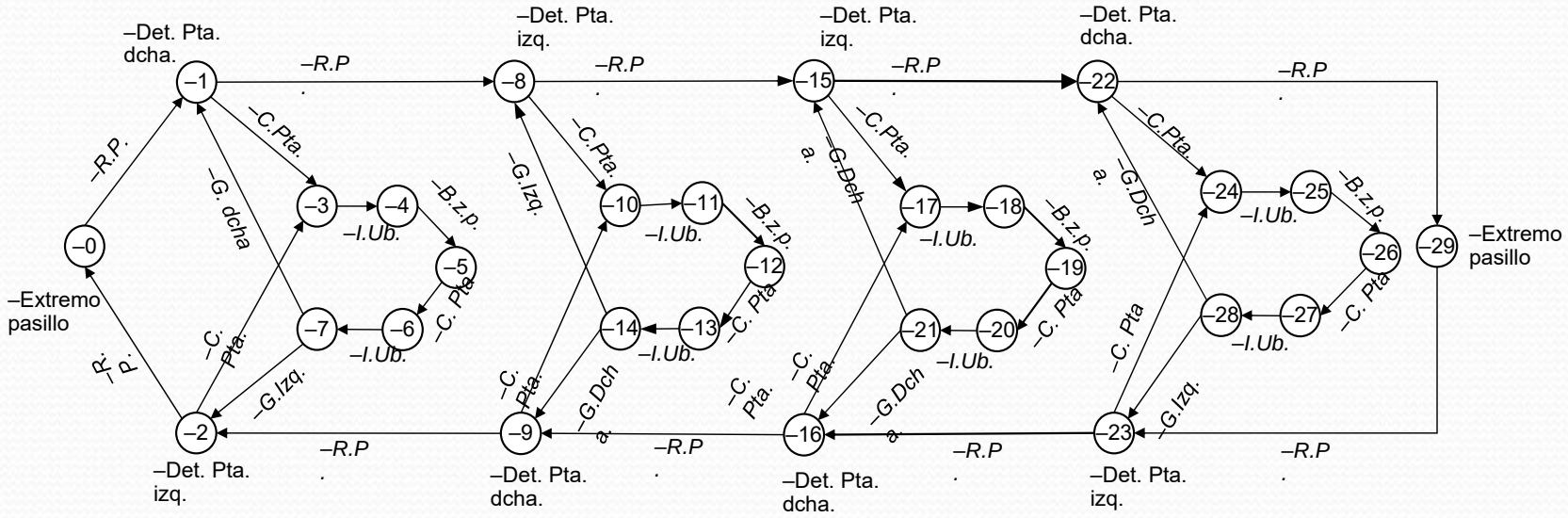
Navegación y Supervisión

- Monitorización de distancias.
  - Segundo caso:
    - El evento es decisivo para la ejecución del plan con éxito.



Navegación y Supervisión

- Monitorización de tiempos.
  - Transcurre un tiempo que supera el marcado por el arco y no se ha superado la distancia.

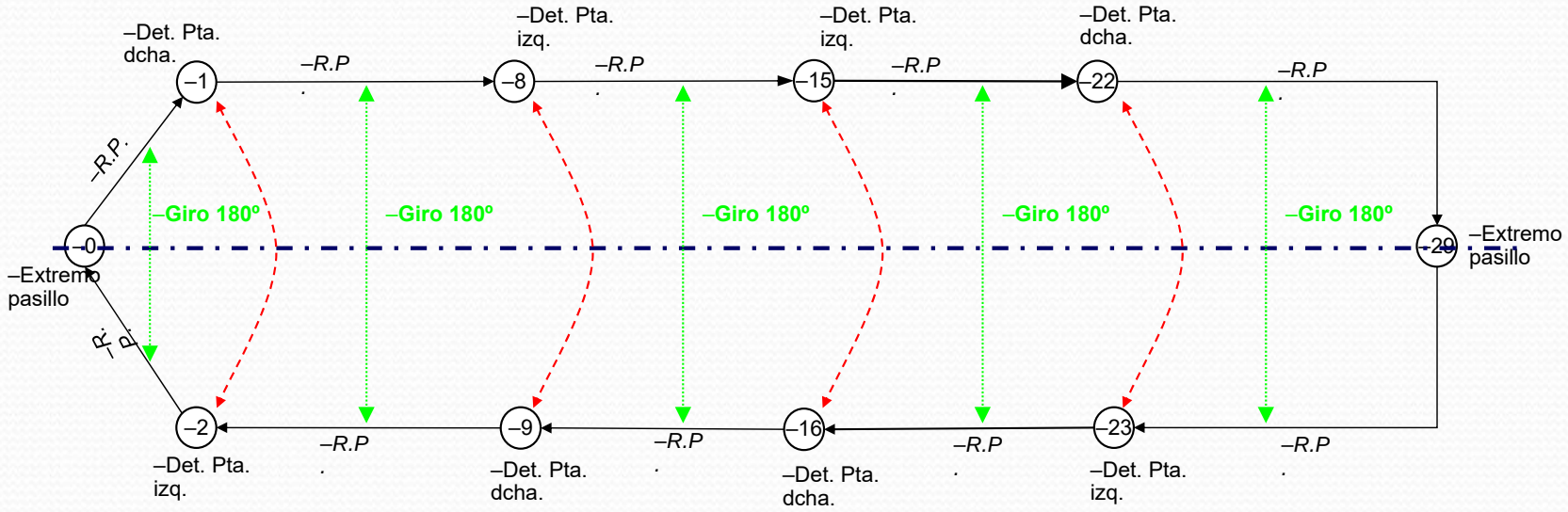


–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

–**B.z.p**. Buscar zonas de paso **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Navegación y Supervisión

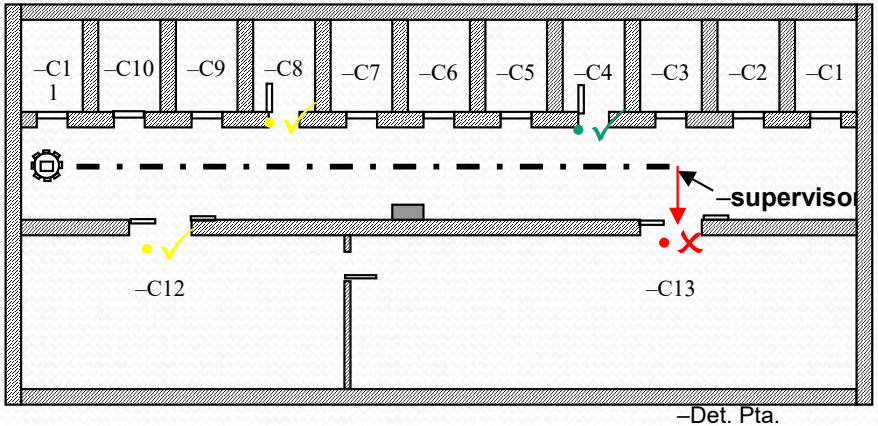
- Monitorización de tiempos.
  - Transcurre un tiempo que supera el marcado por el arco y no se ha superado la distancia.



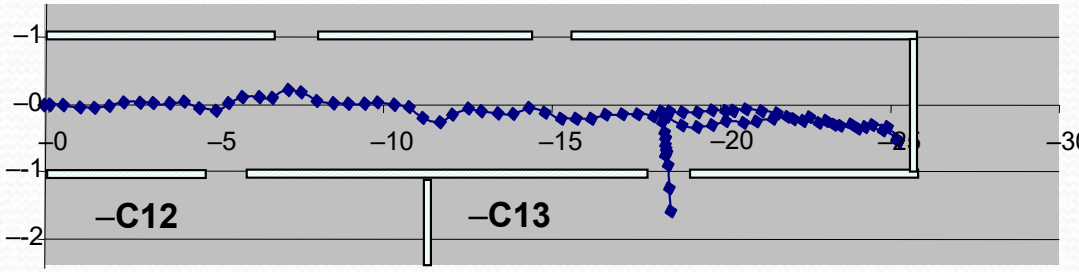
R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

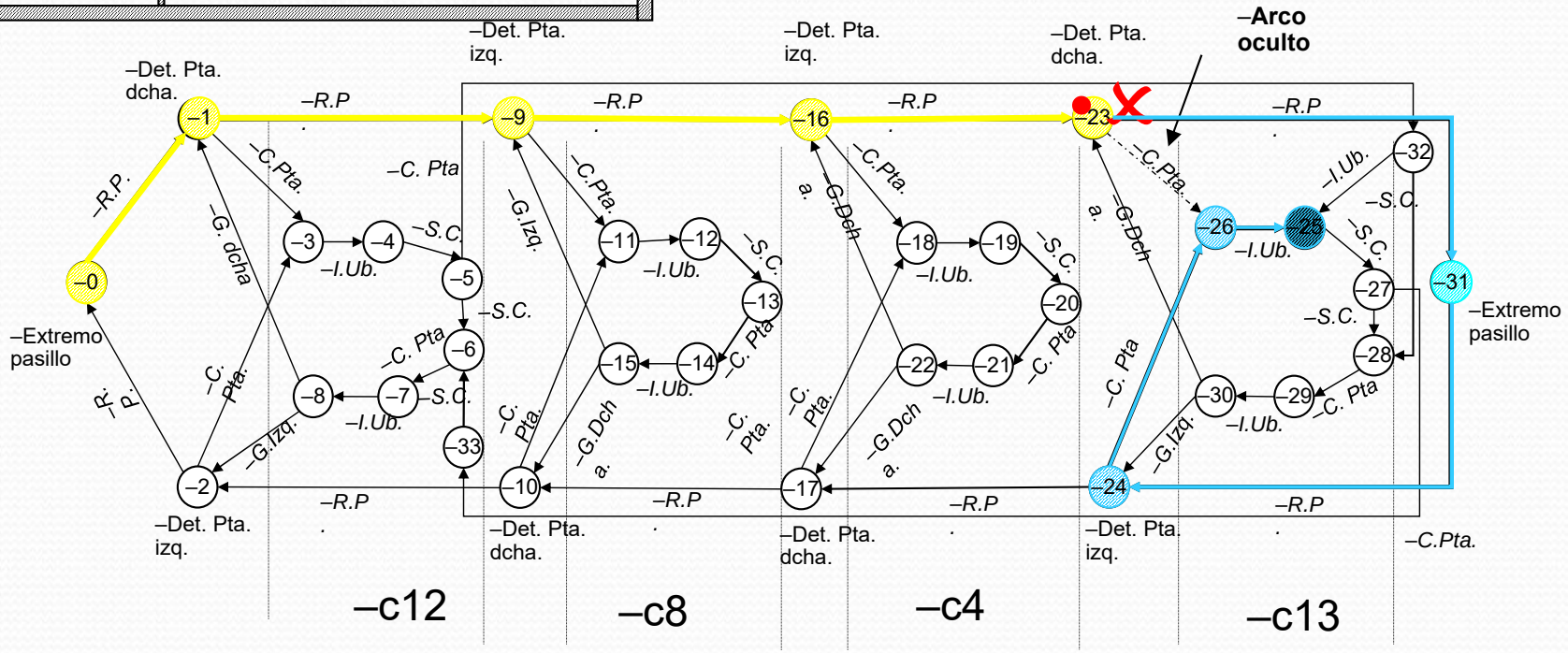
B.z.p. Buscar zonas de paso **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Navegación
Resultados experimentales



Navegación extremo-pasillo al despacho C13 con fallo inicial de detección de evento

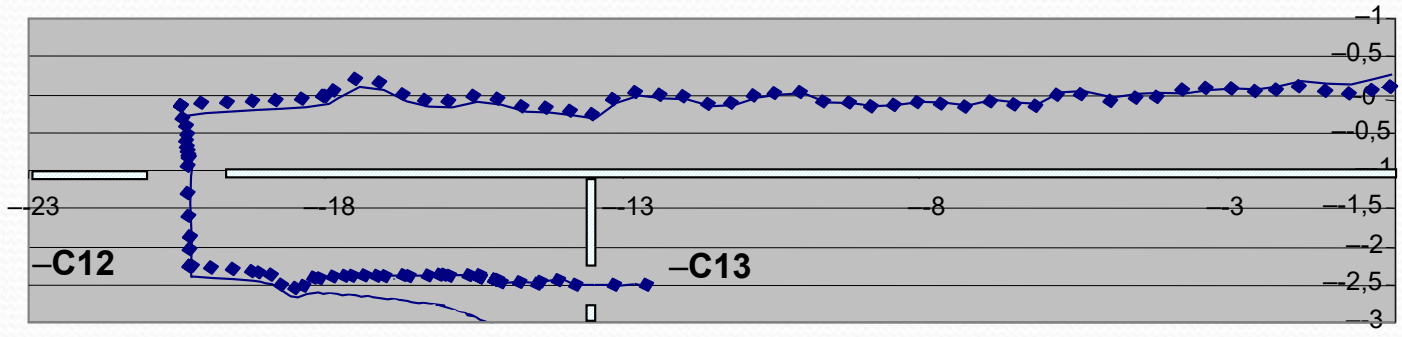


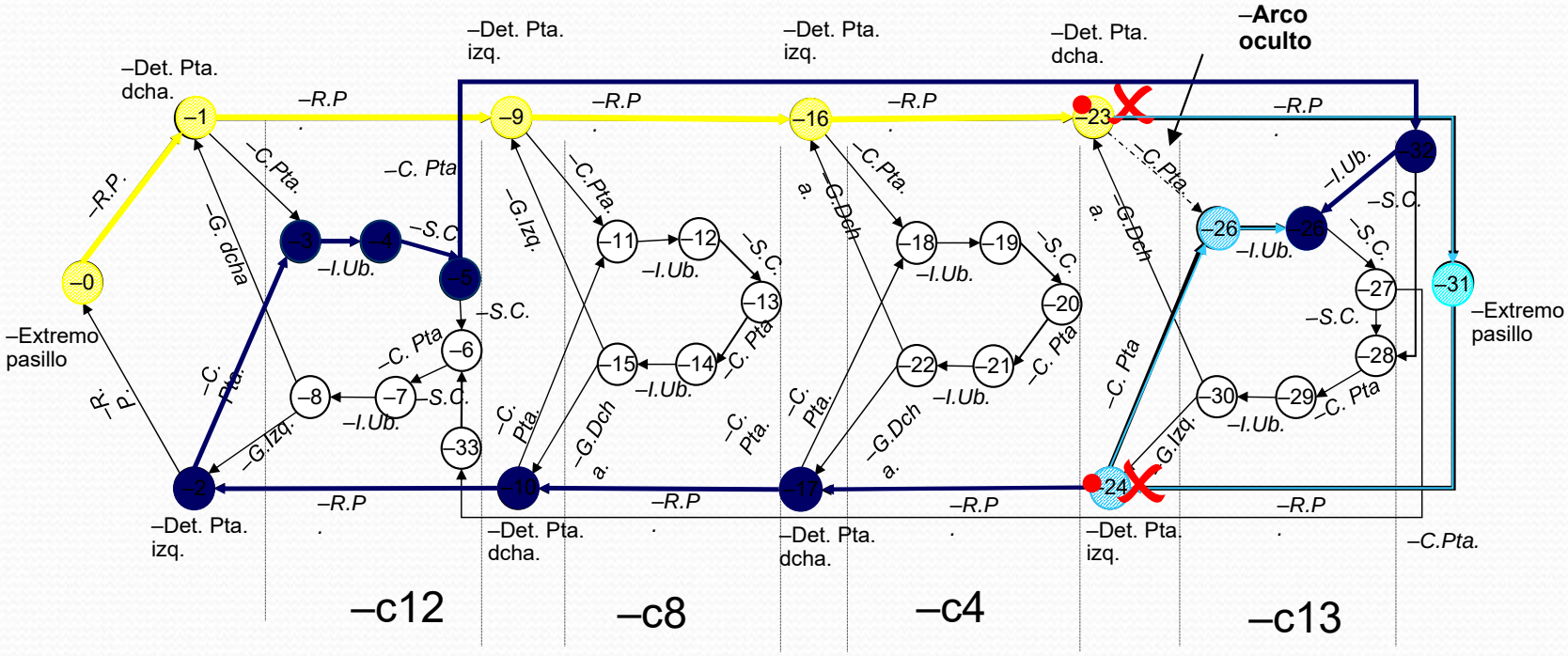


R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.
S.C. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de navegación

Navegación extremo-pasillo al despacho C13 con puerta C13 cerrada

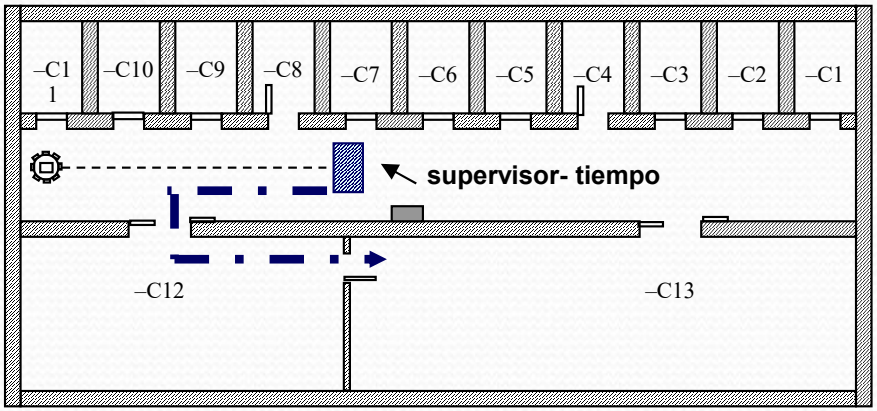




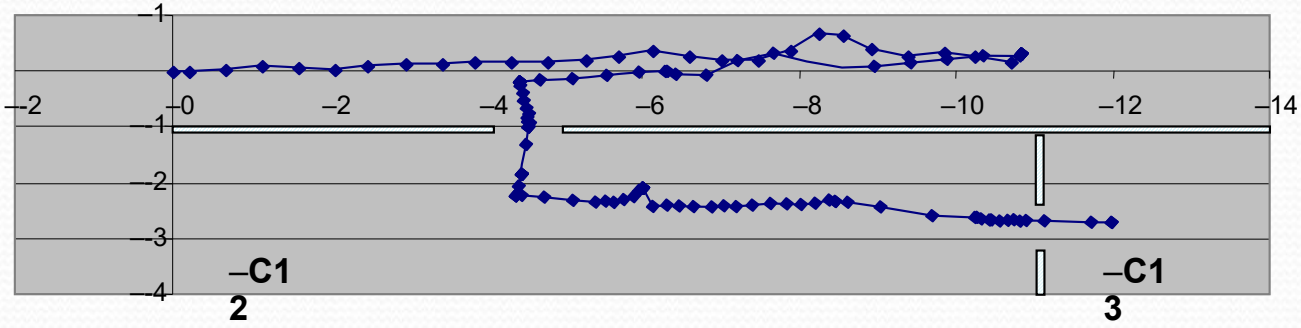
–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

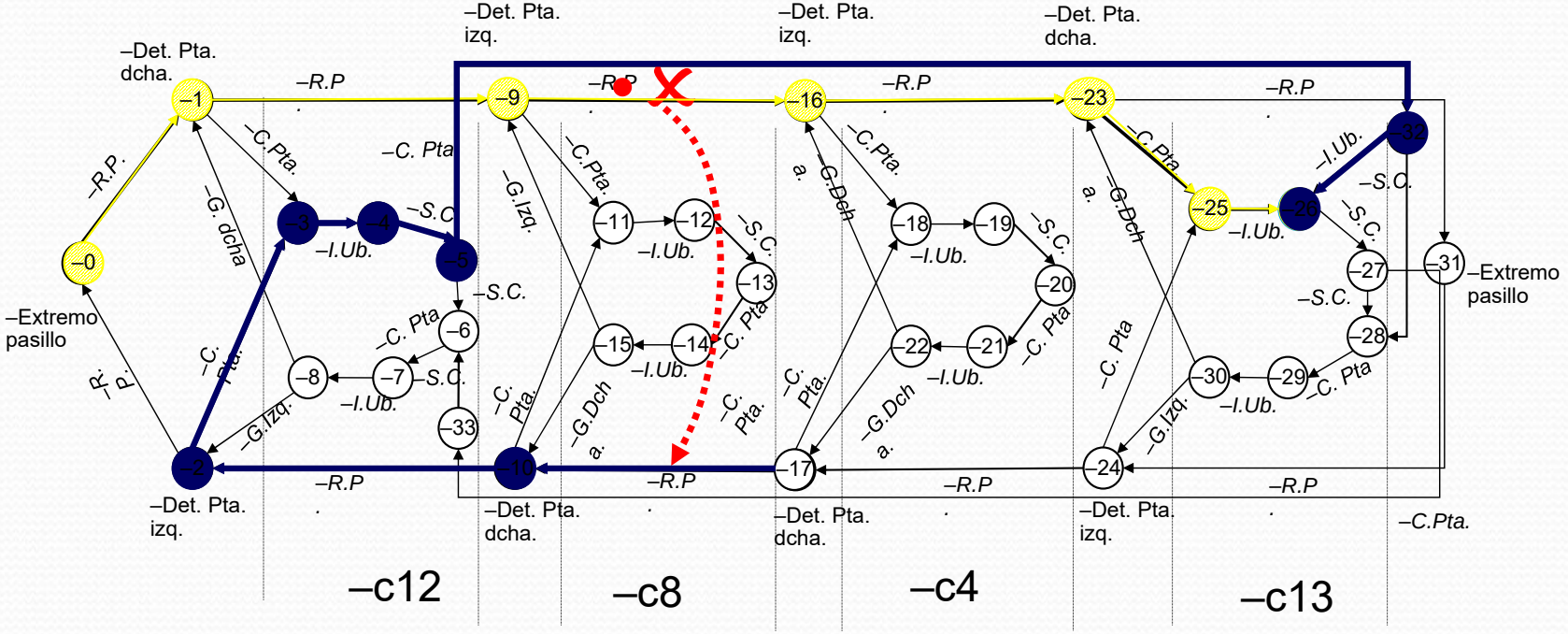
–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de navegación



Navegación extremo-pasillo al despacho C13 con obstáculo en el pasillo



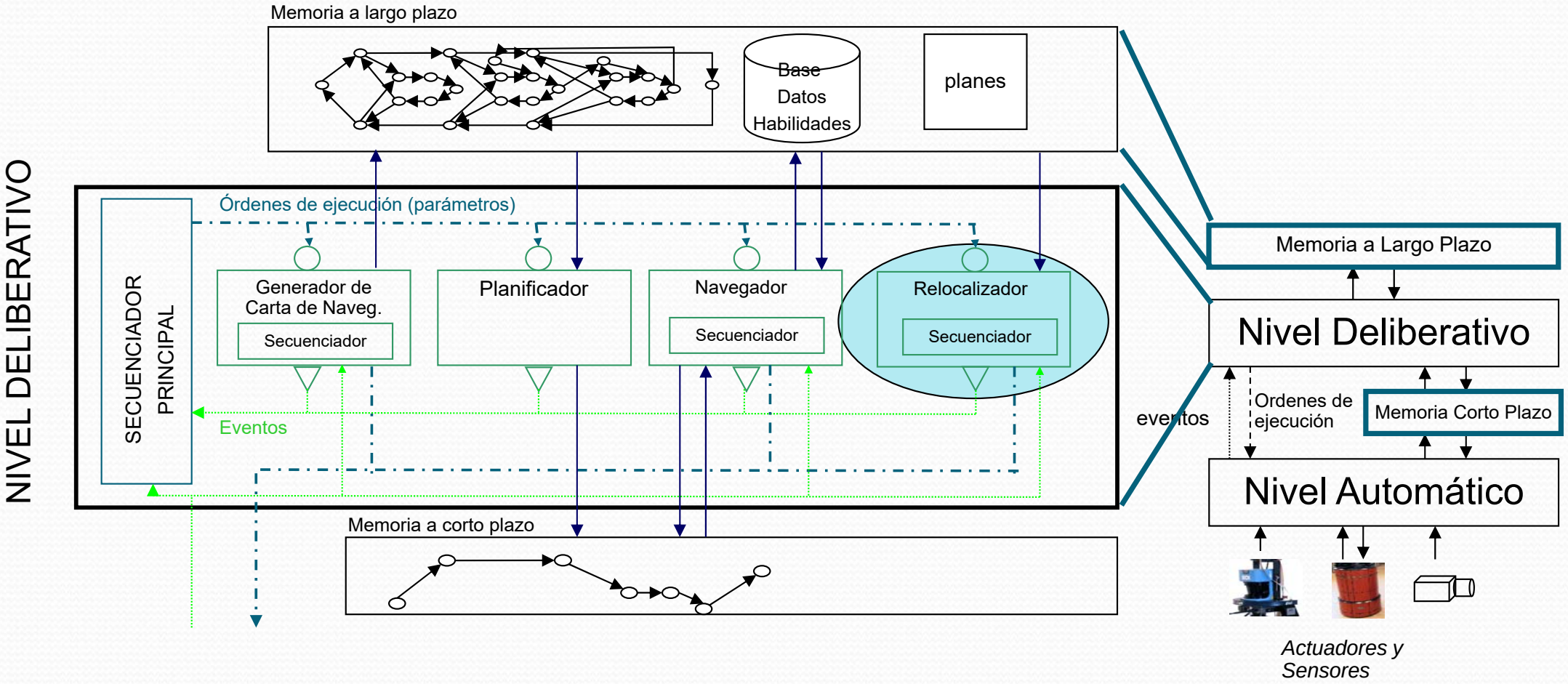


R.P. Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.
S.C. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Indice de Contenidos

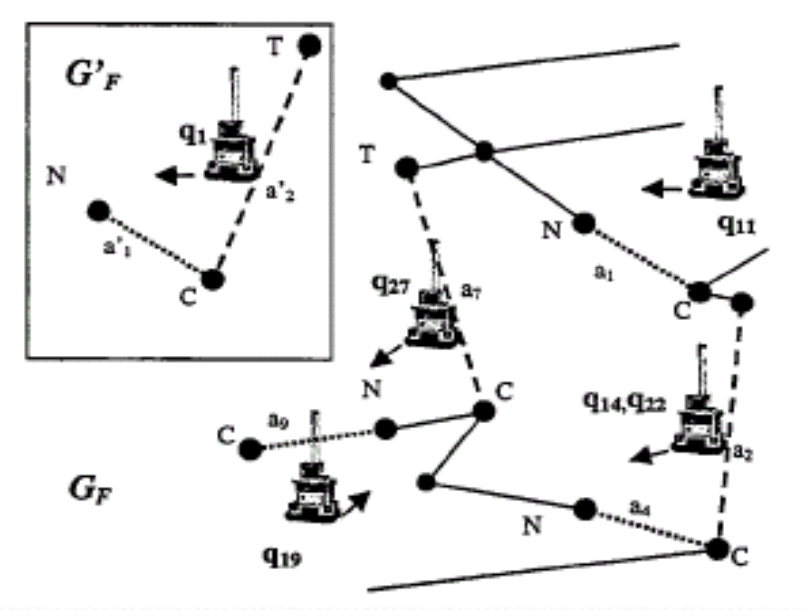
- Motivación
- Sistema de Navegación AURON
- Sistema AURON en la arquitectura AD
- Generación de mapa topológico
- Planificación
- Navegación y supervisión
- Relocalización

Relocalización



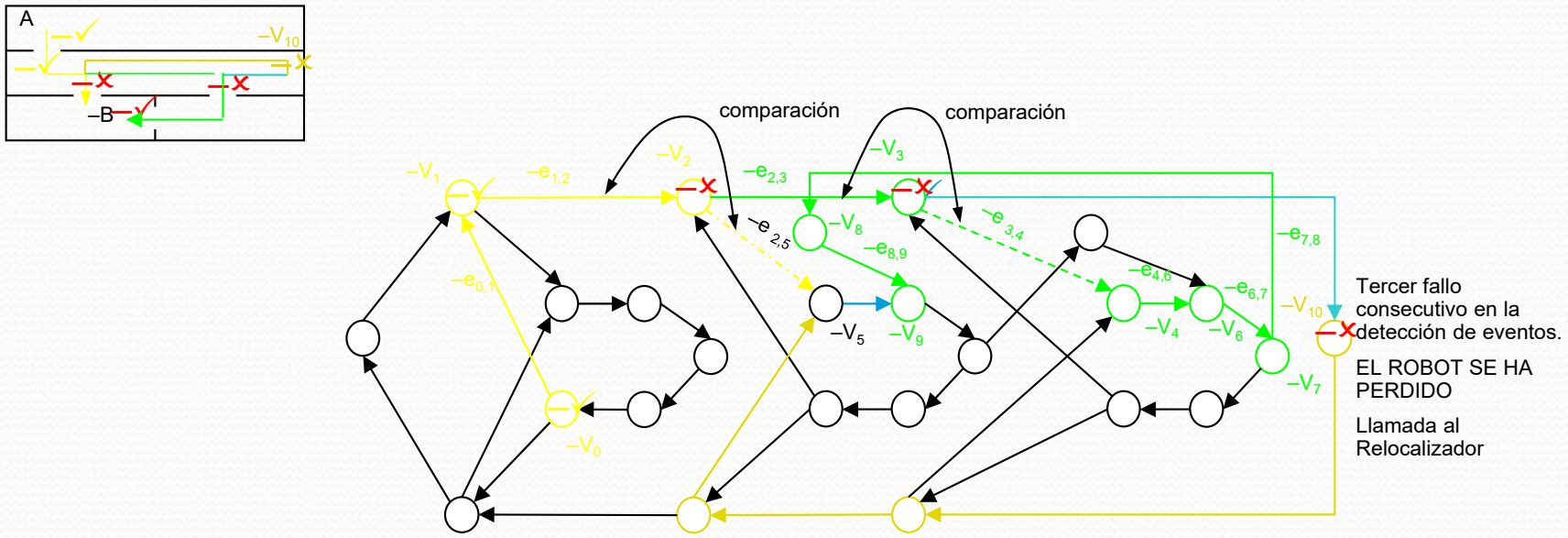
Relocalización

- Algoritmo de relocalización basado en isomorfismo de grafos.
- Trabajos previos [Piaggio99]
  - Modelo topológico pero localización geométrica coordenadas (x,y,θ).



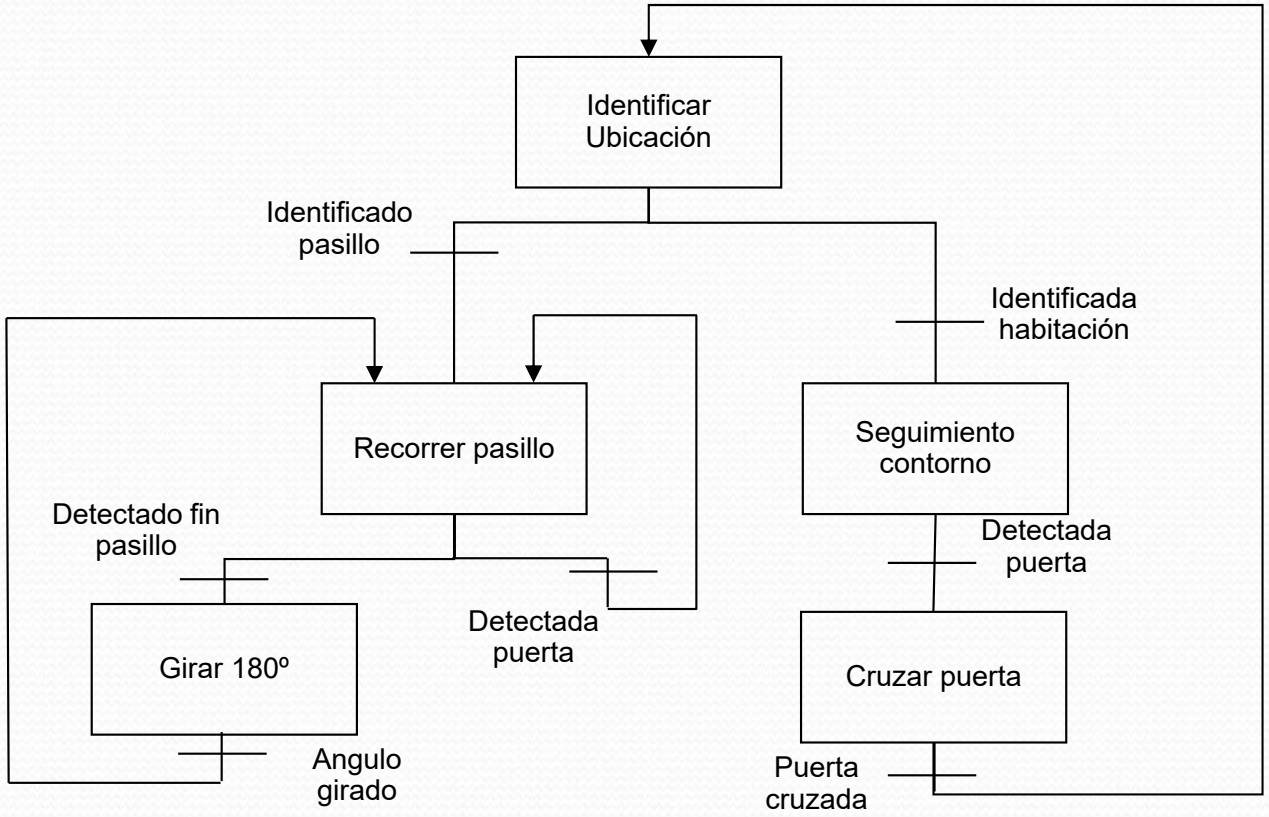
Relocalización

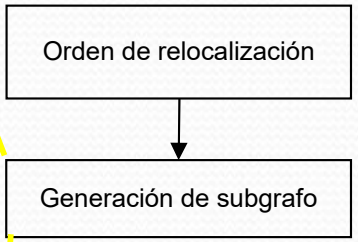
- Situación que implica una relocalización.
  - Exceso de eventos fallidos.



Relocalización
Algoritmo

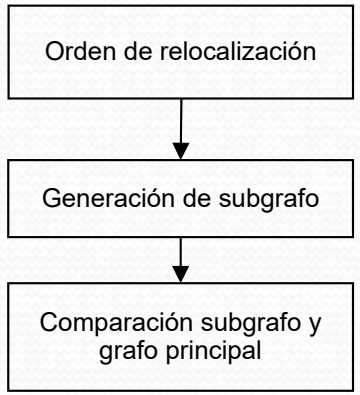
- Generación del subgrafo.



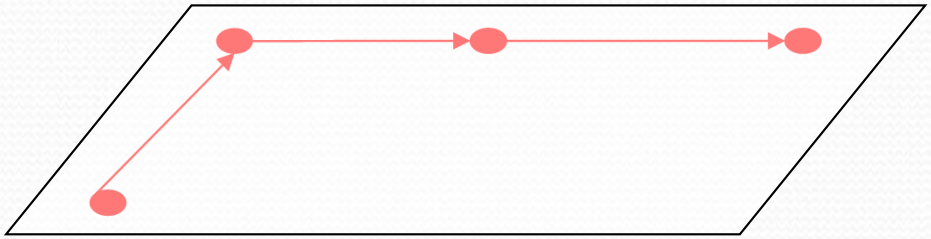


Relocalización
Algoritmo

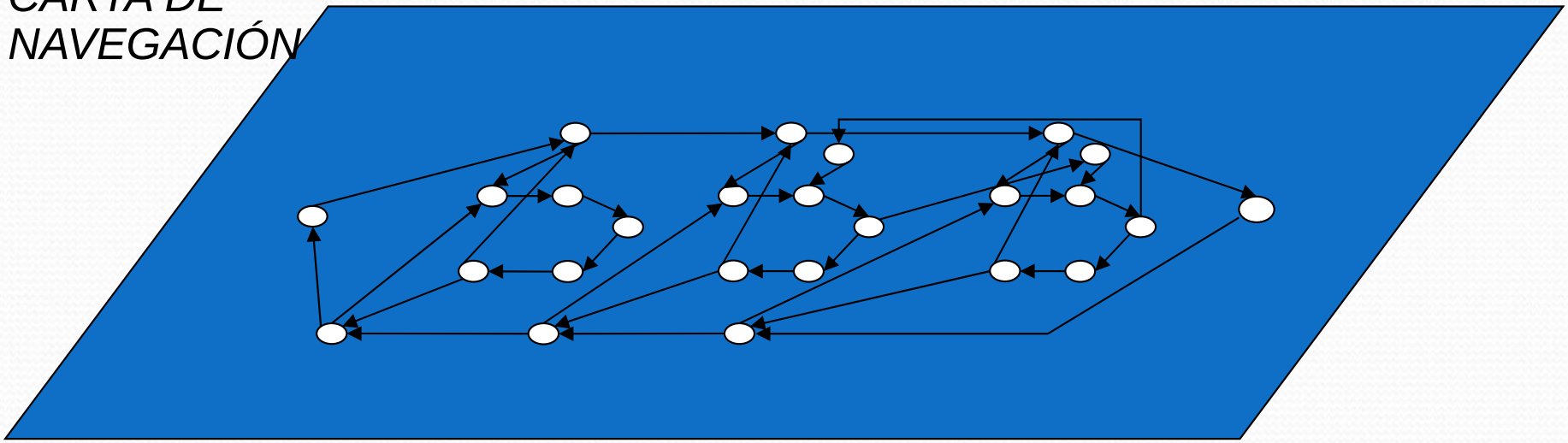
- Comparación del subgrafo y el grafo principal.



Subgrafo

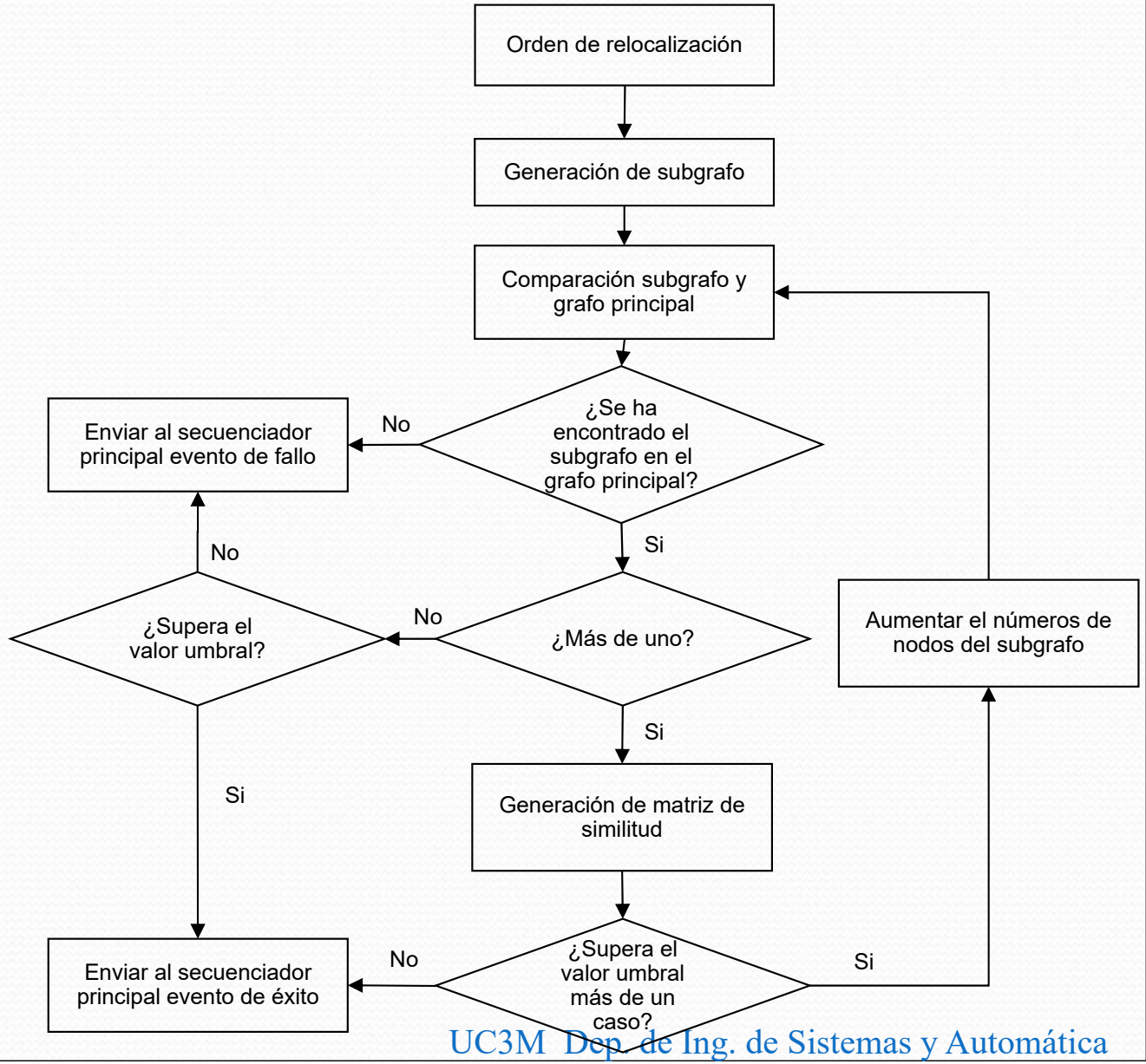


CARTA DE NAVEGACIÓN



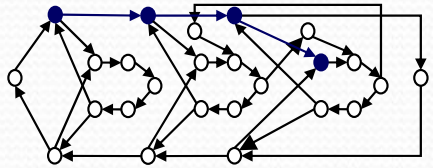
Relocalización
Algoritmo

- Valor umbral y generación de la matriz de similitud.

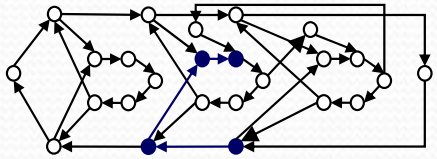


Relocalización
Algoritmo

- Valor umbral y generación de la Matriz de Similitud.

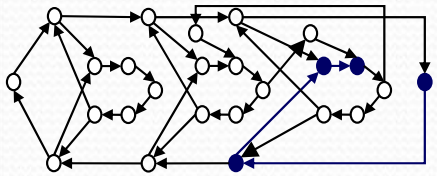


$G_1(\boldsymbol{v_1},\boldsymbol{e_1})$ { Nodos $\boldsymbol{v}_{11},\boldsymbol{v}_{12} \ldots \boldsymbol{v}_{1n+1}$; Arcos $\boldsymbol{e}_{11},\boldsymbol{e}_{12} \ldots \boldsymbol{e}_{1n}$ }



$G_2(\boldsymbol{v_2},\boldsymbol{e_2})$ { Nodos $\boldsymbol{v}_{21},\boldsymbol{v}_{22} \ldots \boldsymbol{v}_{2n+1}$; Arcos $\boldsymbol{e}_{21},\boldsymbol{e}_{22} \ldots \boldsymbol{e}_{2n}$ }

—.
—.
—.

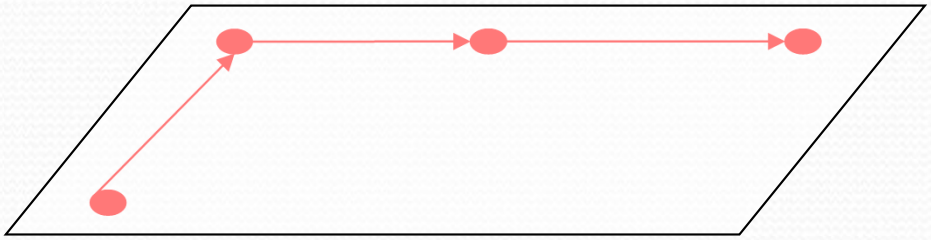


$G_i(\boldsymbol{v_i},\boldsymbol{e_i})$ { Nodos $\boldsymbol{v}_{i1},\boldsymbol{v}_{i2} \ldots \boldsymbol{v}_{in+1}$; Arcos $\boldsymbol{e}_{i1},\boldsymbol{e}_{i2} \ldots \boldsymbol{e}_{in}$ }

Subgrafos encontrados en la Carta de Navegación

$H(\boldsymbol{v},\boldsymbol{e})$ { Nodos $\boldsymbol{v}_1,\boldsymbol{v}_2 \ldots \boldsymbol{v}_{n+1}$; Arcos $\boldsymbol{e}_1,\boldsymbol{e}_2 \ldots \boldsymbol{e}_n$ }

Subgrafo generado por el movimiento del robot



Algoritmo de Relocalización

- Valor umbral y generación de la matriz de similitud.

$$\begin{array}{lll} \textit{vector 1} & = \left[e^{-(d_{11}-d_1)^2}, e^{-(d_{12}-d_2)^2}, \ldots e^{-(d_{1n}-d_n)^2} \right] & = \left[g_{11} \quad g_{12} \quad \ldots g_{1n} \right] \\ \textit{vector 2} & = \left[e^{-(d_{21}-d_1)^2}, e^{-(d_{22}-d_2)^2}, \ldots e^{-(d_{2n}-d_n)^2} \right] & = \left[g_{21} \quad g_{22} \quad \ldots g_{2n} \right] \\ \vdots & & \\ \textit{vector i} & = \left[e^{-(d_{i1}-d_1)^2}, e^{-(d_{i2}-d_2)^2}, \ldots e^{-(d_{in}-d_n)^2} \right] & = \left[g_{i1} \quad g_{i2} \quad \ldots g_{in} \right] \end{array}$$

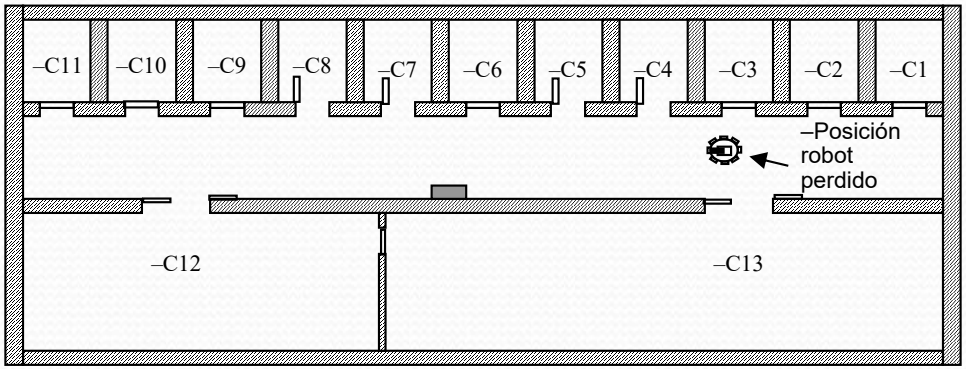
Algoritmo de Relocalización

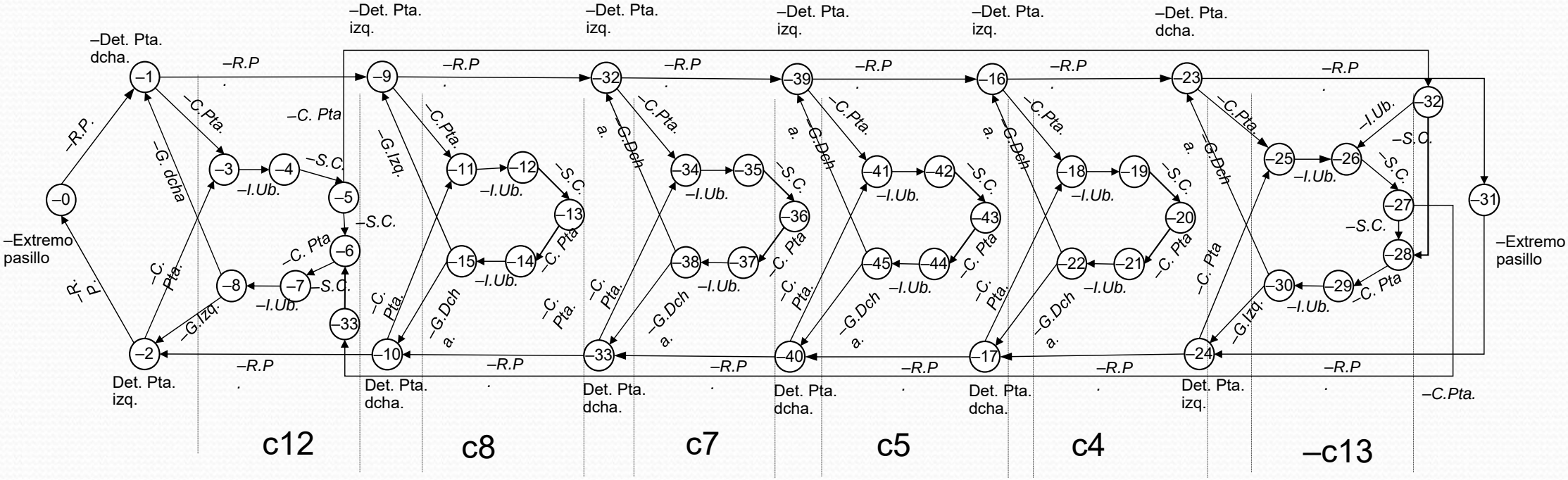
- Valor umbral y generación de la matriz de similitud.

$$\begin{bmatrix} \frac{g_{11}}{g_{11}+g_{21}+\ldots+g_{n1}} & \frac{g_{12}}{g_{12}+g_{22}+\ldots+g_{n2}} & \ldots & \frac{g_{1n}}{g_{1n}+g_{2n}+\ldots+g_{nn}} \\ \frac{g_{21}}{g_{11}+g_{21}+\ldots+g_{n1}} & \frac{g_{22}}{g_{12}+g_{22}+\ldots+g_{n2}} & \ldots & \frac{g_{2n}}{g_{1n}+g_{2n}+\ldots+g_{nn}} \\ \frac{g_{n1}}{g_{11}+g_{21}+\ldots+g_{n1}} & \frac{g_{n2}}{g_{12}+g_{22}+\ldots+g_{n2}} & \ldots & \frac{g_{nn}}{g_{1n}+g_{2n}+\ldots+g_{nn}} \end{bmatrix}$$

Matriz de similitud

Resultados de Relocalización

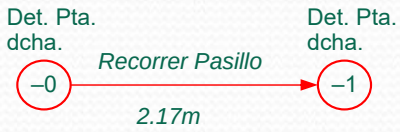


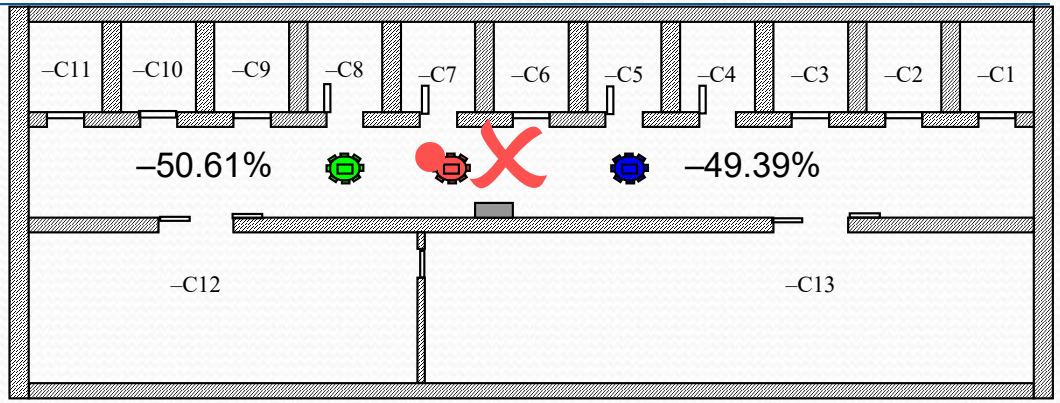


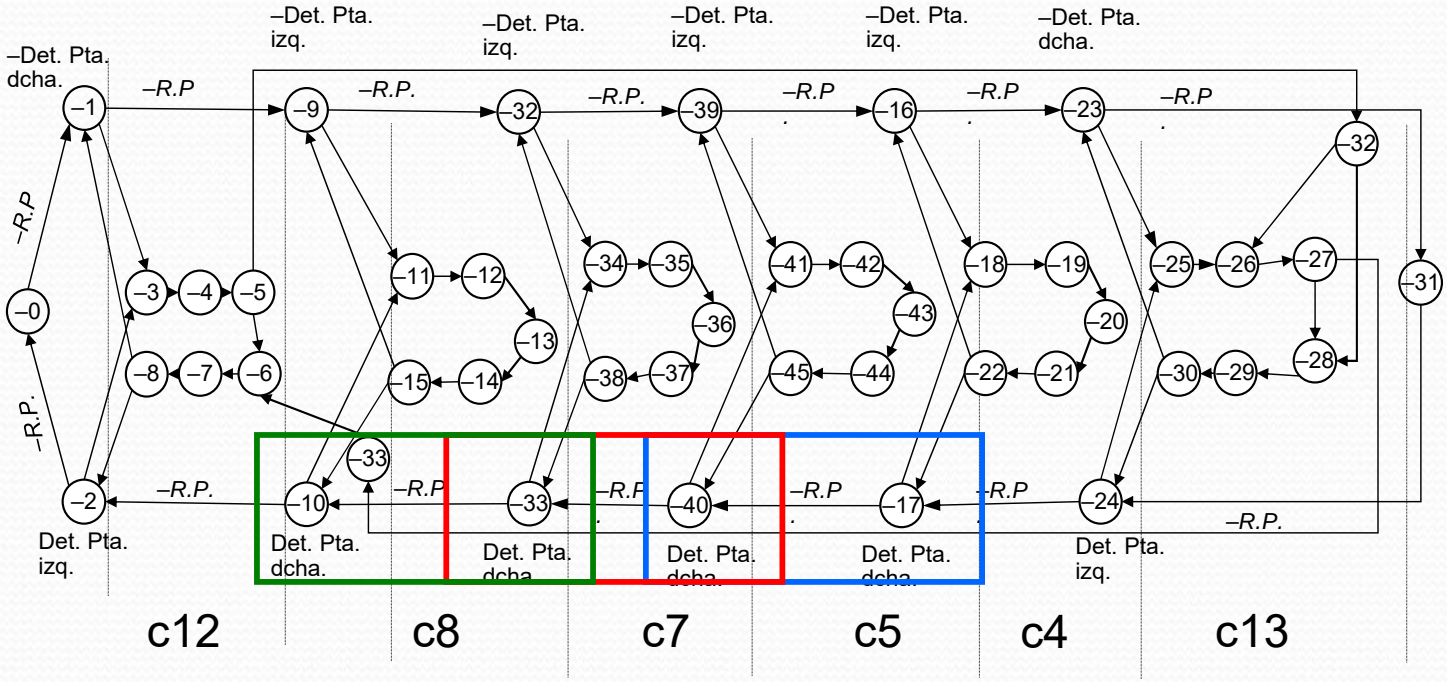
–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de Relocalización







Nodo 40 -> Nodo 33

g_{11}=0.00058

Nodo 33 -> Nodo 10

g_{21}=0.9921

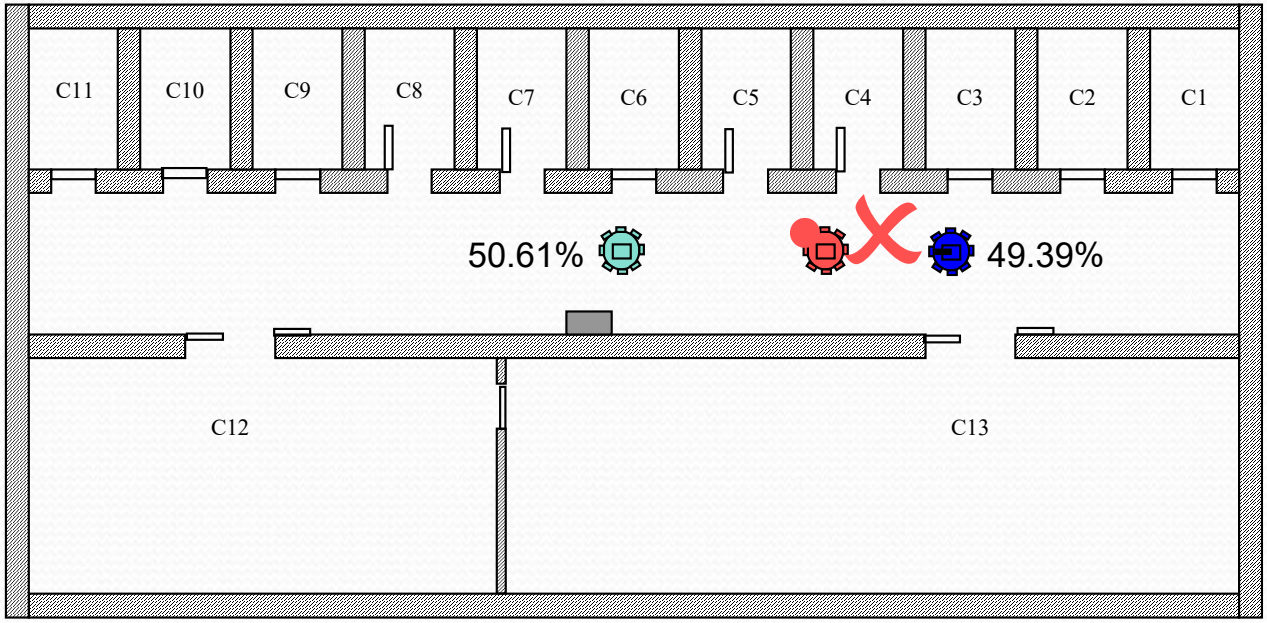
Nodo 1 -> Nodo 40

g_{31}=0.9676

–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

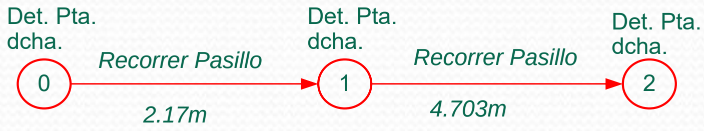
–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha

Resultados de Relocalización

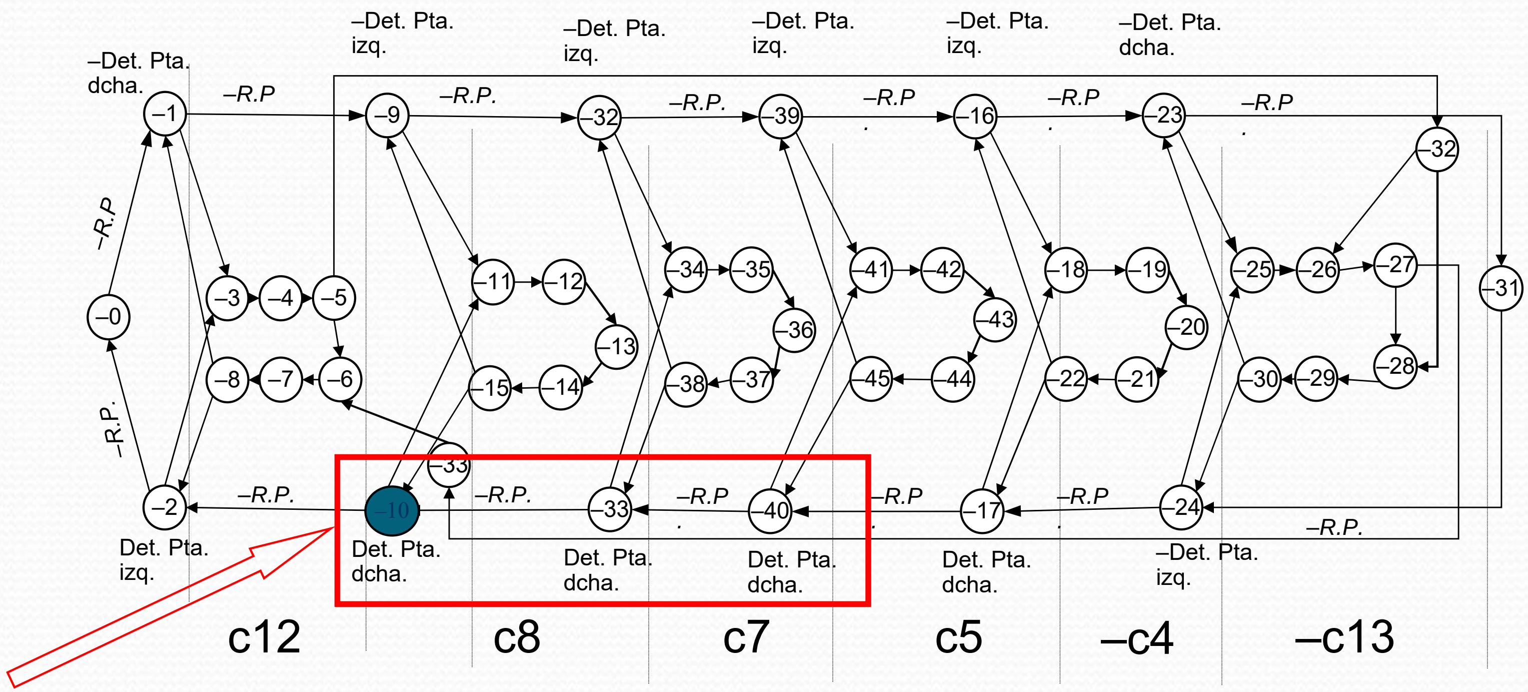


No concluyente -> Nuevo nodo

Resultados de Relocalización



Nuevo subgrafo con un nodo más



–**R.P.** Recorrer Pasillo. **G. Dcha.** Girar Derecha. **G.Izq** Girar Izquierda. **I. Ub** Identificar Ubicación.

–**S.C**. Seguimiento de Contorno **C. Pta**. Cruzar puerta **Det. Pta. Dcha.** Detectada puerta derecha