



# PRÁCTICA 2

SAMUEL FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ  
(100432070)

ALEJANDRO MOKOV IVANCHOV  
(100432094)

# MODELIZACIÓN PARTE 1

## Variables

Las variables son las plazas de estacionamiento en un parking. Cada plaza puede representarse como una tupla de coordenadas  $(i,j)$ , donde  $i$  es el índice de la fila y  $j$  es el índice de la columna. Si el parking tiene  $F$  filas y  $C$  columnas, entonces el conjunto de todas las variables  $X$  se define como:

$$X = \{(i,j) \mid 1 \leq i \leq F, 1 \leq j \leq C\}$$

Esto significa que el conjunto  $X$  contiene todas las posibles plazas del parqueadero, cada una identificada por su posición  $(i,j)$

## Dominios

El dominio de cada variable es el conjunto de vehículos que pueden ocupar esa plaza, más la opción de que la plaza esté vacía. Si el conjunto de todos los vehículos se denota como  $V$ , entonces el dominio  $D$  para cada plaza  $(i,j)$  se define como:

$$D_{ij} = V \cup \{ '- ' \}$$

Donde  $V$  es el conjunto de identificadores de todos los vehículos y  $'-'$  representa una plaza vacía. Si  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , entonces:

$$D_{ij} = \{v_1, v_2, \dots, v_n, '-'\}$$

Cada  $D_{ij}$  es el conjunto de posibles ocupantes para la plaza  $(i,j)$  incluyendo la posibilidad de que la plaza esté vacía.

## Restricciones

### 1. Asignación Única de Vehículos:

$$\forall v \in \text{vehiculos}, \exists ! X_{ij} \text{ tal que } X_{ij} = v \quad \forall v \in \text{vehiculos}, \exists ! X_{ij} \text{ tal que } X_{ij} = v$$

Para cada vehículo  $v$ , debe existir exactamente una plaza  $X_{ij}$  tal que  $X_{ij} = v$ .

### 2. Exclusividad de Plaza:

$$\forall X_{ij} \text{ si } X_{ij} = v, \text{ entonces } \forall X_{kl} \text{ con } (k,l) \neq (i,j), X_{kl} \neq v \quad \forall X_{ij} \text{ si } X_{ij} = v, \text{ entonces } \forall X_{kl} \text{ con } (k,l) = (i,j), X_{kl} = v$$

Si un vehículo  $v$  ocupa la plaza  $X_{ij}$ , ningún otro vehículo puede ocupar la misma plaza.

### 3. Vehículos con Congelador en Plazas con Electricidad:

$$\forall X_{ij}, \text{ si } X_{ij} \text{ tiene un vehículo con 'C', entonces } (i,j) \in \text{plazas con conexión eléctrica}$$

Los vehículos con congelador (identificados con 'C') solo pueden asignarse a plazas que tengan conexión eléctrica.

#### 4. Restricción TSU:

$\forall X_{ij}$  tal que  $'TSU' \in X_{ij}, \nexists X_{ik}$  con  $k > j$  tal que  $X_{ik} \neq 'TSU'$  y  $X_{ik} \neq '-' \forall X_{ij}$  tal que  $'TSU' \in X_{ij}, \nexists X_{ik}$  con  $k > j$  tal que  $X_{ik} = 'TSU'$  y  $X_{ik} = '-'$

Si un vehículo TSU está en la plaza  $X_{ij}$ , entonces no puede haber ningún otro tipo de vehículo (que no sea TSU) en ninguna plaza  $X_{ik}$  en la misma fila y en una columna posterior.

#### 5. Restricción de Maniobrabilidad:

$\forall X_{ij}$  si  $X_{ij} \neq '-'$ , entonces  $X_{i,j-1} = '-'$  o  $X_{i,j+1} = '-' \forall X_{ij}$  si  $X_{ij} = '-'$ , entonces  $X_{i,j-1} = '-'$  o  $X_{i,j+1} = '-'$

Si un vehículo ocupa la plaza  $X_{ij}$ , entonces al menos una de las plazas adyacentes en la misma fila (izquierda o derecha) debe estar vacía.

### Escenarios de prueba

#### 1. Parking Pequeño Básico (2x2)

- **Dimensiones:** 2 filas x 2 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,1).
- **Vehículos:** Dos vehículos, uno con congelador ('C') y otro sin él.

Este escenario pondrá a prueba la asignación básica y la restricción de conexión eléctrica.

#### 2. Parking Pequeño Básico (2x2)

- **Dimensiones:** 2 filas x 2 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,1).
- **Vehículos:** Dos vehículos, uno TNU con congelador ('C') y otro TSU sin él.

Este escenario probará la restricción que impone que un vehículo TSU no puede tener un vehículo TNU delante

#### 3. Parking con Restricciones de Maniobrabilidad (3x2)

- **Dimensiones:** 3 filas x 2 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (2,1).
- **Vehículos:** Tres vehículos, incluyendo al menos un TSU y un vehículo con congelador.

Este escenario se enfoca en probar la restricción de maniobrabilidad, asegurando que cada vehículo tenga una plaza libre a su izquierda o derecha, además de las otras restricciones.

#### 4. Parking Compacto con Restricciones Complejas (2x4)

- **Dimensiones:** 2 filas x 4 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,3) y (2,2).
- **Vehículos:** Cuatro vehículos, incluyendo un TSU, un TNU, un vehículo con congelador y otro vehículo estándar.

Este escenario examina cómo el sistema maneja la proximidad de vehículos con diferentes restricciones en un espacio longitudinal.

#### 5. Parking Desafiante para Estrategias de Asignación (3x3)

- **Dimensiones:** 3 filas x 3 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,1) y (3,3).
- **Vehículos:** Seis vehículos, incluyendo dos TSU, un TNU, dos vehículos con congelador, y un vehículo estándar.

Este escenario es un desafío para la asignación estratégica de vehículos, probando la habilidad del sistema para optimizar el uso del espacio y respetar todas las restricciones.

#### 6. Parking con Foco en la Maniobrabilidad (4x2)

- **Dimensiones:** 4 filas x 2 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,2).
- **Vehículos:** Tres vehículos, incluyendo un TSU, un vehículo con congelador y un vehículo estándar.

Este escenario pone énfasis en la restricción de maniobrabilidad, probando cómo el sistema asegura que haya espacio adecuado para mover los vehículos dentro del parking.

#### 7. Parking con exceso de vehículos (2x3)

- **Dimensiones:** 4 filas x 2 columnas.
- **Plazas con conexión eléctrica:** (1,1), (1,2).
- **Vehículos:** Cuatro vehículos, incluyendo un TSU, dos vehículos con congelador y un vehículo estándar.

Este escenario pone énfasis en la restricción de maniobrabilidad, probando si el sistema asegura que haya espacio adecuado para mover los vehículos dentro del parking.

## MODELIZACIÓN PARTE 2

### 1. Espacio de Estados

**Estado:** Representación del problema en un momento dado, incluyendo:

- **Ubicación del Vehículo (B):** Celda actual del vehículo en el mapa representada por coordenadas x,y.
- **Lista de pacientes a recoger (listaUbicaciónPacientes):** Lista de las ubicaciones de los pacientes que quedan por recoger
- **Número de Pacientes Contagiosos(Cx):** Número de pacientes contagiosos en el vehículo
- **Número de Pacientes No Contagiosos(Mx):** Número de pacientes no contagiosos en el vehículo
- **Energía del Vehículo (E):** Nivel actual de energía del vehículo (máximo de 50 unidades).

### 2. Estado Inicial

Estado inicial completo: ("**P**", listaUbicaciónPacientes, **50, 0, 0**), donde:

- "**P**" representa que el vehículo está en el parking.
- **listaUbicaciónPacientes** indica las ubicaciones iniciales de todos los pacientes.
- **50** es la energía inicial del vehículo.
- **0, 0** representa que no hay pacientes contagiosos ni no contagiosos recogidos inicialmente.

### 3. Estado Final

Estado final completo: ("**P**", [], **E, 0, 0**), donde:

- "**P**" indica que el vehículo ha regresado al parking.
- **[]** representa que no hay pacientes en el mapa (todos están en centros de atención).
- **E** es la energía restante del vehículo.
- **0, 0** representa que no hay pacientes contagiosos ni no contagiosos recogidos finalmente.

#### 4. Operadores

Operador	Precondiciones	Efectos
Mover (B, x, y, "N")	$B = x, E \geq \text{costo}(y), Mx < 10 - Cx, Cx = 0$	$B = y, Mx = Mx + 1$ si $y = N, My = My - 1$ si $y = CN, E = E - \text{costo}(y)$
Mover (B, x, y, "C")	$B = x, E \geq \text{costo}(y), Cx < 2$	$B = y, Cx = Cx + 1$ si $y = C, Cy = Cy - 1$ si $y = CC, E = E - \text{costo}(y)$
Recargar (B, x, "P")	$B = x, E < \text{costo}(y)$	$B = "P", E = 50$
EntregarPacientes (B, "P", "N")	$B = "P", Mx > 0$	$Mx = 0, Mtotal = Mtotal + Mx$
EntregarPacientes (B, "P", "C")	$B = "P", Cx > 0$	$Cx = 0, Ctotal = Ctotal + Cx$

#### Explicación de Operadores del Problema de Transporte de Pacientes:

##### A. Mover (B, x, y, tipo):

- **Precondiciones:**
  - El vehículo está en la celda **x** ( $B = x$ ).
  - La energía del vehículo es suficiente para moverse a **y** ( $E \geq \text{costo}(y)$ ).
  - Si **tipo** es **N**, hay espacio en el vehículo para pacientes no contagiosos adicionales ( $Mx < 10 - Cx$ ) y no hay pacientes contagiosos a bordo ( $Cx = 0$ ).
  - Si **tipo** es **C**, hay espacio en el vehículo para pacientes contagiosos adicionales ( $Cx < 2$ ).
- **Efectos:**
  - El vehículo se mueve a la celda **y** ( $B = y$ ).
  - Si **tipo** es **N**, se incrementa el número de pacientes no contagiosos en el vehículo ( $Mx = Mx + 1$ ).
  - Si **tipo** es **C**, se incrementa el número de pacientes contagiosos en el vehículo ( $Cx = Cx + 1$ ).
  - La energía del vehículo disminuye según el costo de la celda **y** ( $E = E - \text{costo}(y)$ ).

#### B. Recargar (B, "P"):

- **Precondiciones:**
  - El vehículo está en la celda **x** (**B = x**).
  - La energía del vehículo es insuficiente para continuar operando (**E < costo(y)**).
- **Efectos:**
  - El vehículo se mueve al parking (**B = "P"**).
  - La energía del vehículo se restablece a 50 unidades (**E = 50**).

#### C. EntregarPacientes (B, "P", tipo):

- **Precondiciones:**
  - El vehículo está en el parking (**B = "P"**).
  - Hay pacientes del tipo **tipo** en el vehículo (**Cx > 0** si **tipo** es **C**, **Mx > 0** si **tipo** es **N**).
- **Efectos:**
  - Los pacientes del tipo **tipo** son entregados en sus centros de atención respectivos (**CC** si **tipo** es **C**, **CN** si **tipo** es **N**).
  - Se actualiza el número total de pacientes entregados (**Ctotal = Ctotal + Cx** si **tipo** es **C**, **Mtotal = Mtotal + Mx** si **tipo** es **N**).
  - El vehículo queda vacío de pacientes del tipo **tipo** (**Cx = 0** si **tipo** es **C**, **Mx = 0** si **tipo** es **N**).

### 5. Acciones Posibles

#### 1. Mover el Vehículo (B, x, y, tipo):

- **Descripción:** Mueve el vehículo a una celda adyacente, consumiendo energía según la celda.
- **Integración en Operadores:**
  - **Mover (B, x, y, "N"):** Utilizado cuando se mueve a una celda con un paciente no contagioso.
  - **Mover (B, x, y, "C"):** Utilizado cuando se mueve a una celda con un paciente contagioso.
  - **MoverVehículoVacio (x, y):** Utilizado cuando el vehículo se mueve sin pacientes a bordo.

#### 2. Recoger Paciente:

- **Descripción:** Si el vehículo está en la misma celda que un paciente, se recoge al paciente si hay espacio disponible y se respetan las restricciones de contagio.
- **Integración en Operadores:**
  - Incluido en los efectos de los operadores **Mover (B, x, y, "N")** y **Mover (B, x, y, "C")**. La recogida del paciente se realiza automáticamente al moverse a su celda, siempre que se cumplan las precondiciones.

### 3. Dejar Paciente:

- **Descripción:** Los pacientes se dejan en su centro de atención correspondiente.
- **Integración en Operadores:**
  - **EntregarPacientes (B, "P", "N"):** Para dejar pacientes no contagiosos en su centro de atención.
  - **EntregarPacientes (B, "P", "C"):** Para dejar pacientes contagiosos en su centro de atención.

### 4. Recargar en el Parking:

- **Descripción:** Si la energía es insuficiente, el vehículo puede regresar al parking para recargar sin coste adicional.
- **Integración en Operadores:**
  - **Recargar (B, x, "P"):** El vehículo regresa al parking para recargar su energía.

## 6. Restricciones

### Variables y Parámetros

1. **B:** Ubicación actual del vehículo en el mapa.
2. **Cx:** Número de pacientes contagiosos en el vehículo.
3. **Mx:** Número de pacientes no contagiosos en el vehículo.
4. **E:** Energía actual del vehículo.
5. **costo(y):** Costo energético para moverse a la celda **y**.
6. **Ctotal, Mtotal:** Número total de pacientes contagiosos y no contagiosos entregados en sus centros de atención, respectivamente.

### Restricciones

#### 1. Capacidad del Vehículo:

- Sea  $Cx$  el número de pacientes contagiosos en el vehículo y  $Mx$  el número de pacientes no contagiosos en el vehículo.
- Entonces, la capacidad total del vehículo se define como:  $Cx + Mx \leq 10$
- Esto limita la cantidad total de pacientes a 10.

#### 2. Restricción de Pacientes Contagiosos:

- La cantidad de pacientes contagiosos en el vehículo está limitada a 2:  $Cx \leq 2$
- Si no hay pacientes contagiosos en el vehículo, entonces los pacientes no contagiosos pueden ocupar las plazas para contagiosos: Si  $Cx=0$ , entonces  $Mx$  puede usar todas las plazas.



### 3. Energía del Vehículo:

- Sea  $E$  la energía actual del vehículo y  $\text{costo}(y)$  el costo energético para moverse a la celda  $y$ .
- La energía del vehículo no debe ser menor que el costo para moverse a la siguiente celda:  
 $E \geq \text{costo}(y)$
- El vehículo comienza con 50 unidades de energía.

### 4. Operaciones Inician y Finalizan en el Parking:

- El vehículo debe comenzar y terminar sus operaciones en el parking: Inicio:  $B = "P"$ ; Fin:  $B = "P"$ .

### 5. Recogida y Entrega de Pacientes:

- La recogida y entrega de pacientes depende de la celda actual " $y$ " y del tipo de paciente: Recoger o entregar en  $y$  según el tipo de paciente (contagioso o no contagioso).
- Los pacientes no contagiosos se entregan en sus centros de atención correspondientes si y solo si el vehículo está en la celda "CN" y hay pacientes no contagiosos en el vehículo: Si  $B = "CN"$  y  $M_x > 0$ , entonces entregar pacientes no contagiosos.
- Los pacientes contagiosos se entregan en sus centros de atención correspondientes si y solo si el vehículo está en la celda "CC" y hay pacientes contagiosos en el vehículo: Si  $B = "CC"$  y  $C_x > 0$ , entonces entregar pacientes contagiosos.
- Los pacientes contagiosos tienen prioridad en la entrega.

### 6. Recarga de Energía:

- Si la energía es insuficiente para cualquier movimiento futuro, el vehículo debe regresar al parking para recargar: Si  $E < \text{costo}(y)$ , entonces  $B = "P"$  y  $E = 50$ .

### 7. Movimiento del Vehículo:

- El vehículo solo puede moverse a celdas adyacentes horizontal o verticalmente: Movimientos permitidos solo a celdas adyacentes.

## 7. Función de Coste

**Minimizar** la suma total de energía consumida:

- Minimizar  $\sum \text{costo}(y)$
- Donde la suma se extiende sobre todos los movimientos realizados por el vehículo.

## 8. Heurísticas

**Heurística 1:** Esta heurística se centra en la eficiencia energética y la atención a los pacientes.

1. Calcula la distancia desde la ubicación actual del vehículo hasta el estacionamiento. Esto es importante porque el vehículo necesita volver al estacionamiento para recargar energía.
2. Encuentra la distancia mínima desde la ubicación actual del vehículo hasta cualquier paciente que aún no haya sido atendido. Esto ayuda a priorizar a los pacientes más cercanos.

3. Calcula la energía requerida para llegar al paciente más cercano y volver al estacionamiento. Si la energía requerida es mayor que la energía actual del vehículo, calcula la energía insuficiente. Esto ayuda a evitar que el vehículo se quede sin energía durante el trayecto.
4. Cuenta el número de pacientes que aún no han sido atendidos. Esto ayuda a priorizar las rutas que atienden a más pacientes.
5. Calcula un ajuste basado en el número de pacientes en el vehículo. Este ajuste se incrementa si hay algún paciente contagioso en el vehículo. Esto refleja la necesidad de minimizar el número de viajes con pacientes contagiosos.
6. Calcula la eficiencia del recorrido como el inverso de la distancia mínima a cualquier paciente. Esto incentiva las rutas que atienden a los pacientes más cercanos primero.
7. Finalmente, suma la energía insuficiente, la distancia al estacionamiento, el número de pacientes no atendidos y el ajuste de los pacientes en el vehículo, y resta la eficiencia del recorrido. Este valor se devuelve como el valor heurístico.

**Heurística 2:** Esta heurística se centra en minimizar la distancia total de viaje.

1. Para cada paciente, calcula la distancia desde la ubicación actual del vehículo hasta el paciente y desde el paciente hasta su centro de atención correspondiente. Suma estas distancias a la distancia total. Esto refleja el objetivo de minimizar la distancia total de viaje.
2. Calcula un ajuste de eficiencia basado en el número total de pacientes. Esto refleja el hecho de que es más eficiente recoger a varios pacientes en un solo viaje.
3. Finalmente, divide la distancia total por el ajuste de eficiencia para obtener el valor heurístico.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Parte 1:

En el parking 1 se encuentra solo una solución, que es la única posible dadas las restricciones y el planteamiento del parking

En el parking 2 se encuentra dos soluciones, puesto que en este caso el vehículo TSU es el que no tiene congelador

En el parking 3 se encuentra puesto que solo hay un vehículo que pueda ocupar la plaza eléctrica

En el parking 7 necesariamente se incumple la restricción de maniobrabilidad puesto que hay demasiados vehículos, por lo que no se encuentran soluciones

En los demás parkings probados encuentran más soluciones

## CONCLUSIONES

Respecto a la parte 1, podemos afirmar que la gestión de las pruebas es clave para el correcto desarrollo de la práctica, pues es esencial diseñar pruebas de calidad que evalúen bien las restricciones sin tardar demasiado tiempo. De hecho, es el aspecto más importante, puesto que la programación de las restricciones no es un aspecto muy difícil

Respecto a la parte 2, no hemos sido capaces de implementar las heurísticas diseñadas en el modelo.

En general, hemos sido bastante penalizados por la acumulación de prácticas y exámenes de todas las asignaturas que ha habido para el mes de diciembre. Creemos que nos organizamos bien, pero no ha sido suficiente para lograr el éxito en esta práctica.