

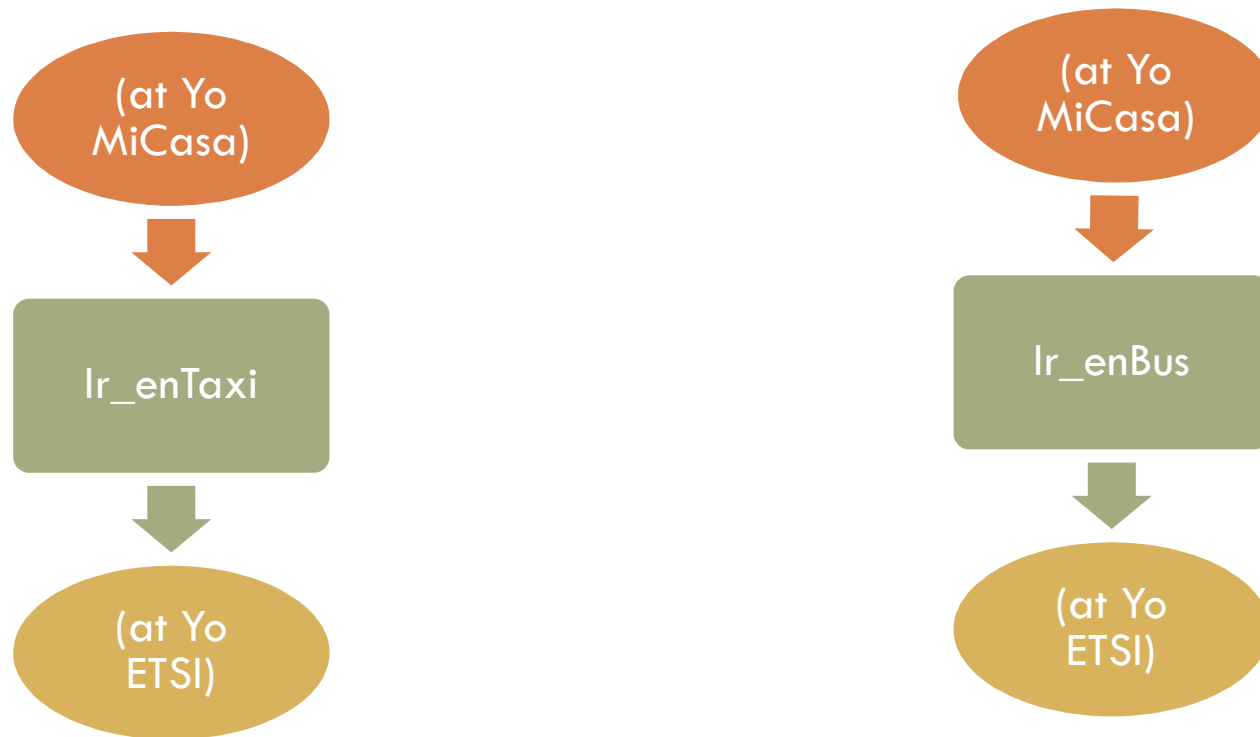
# **TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES**

## **PRÁCTICA3: PLANIFICACIÓN HTN.**

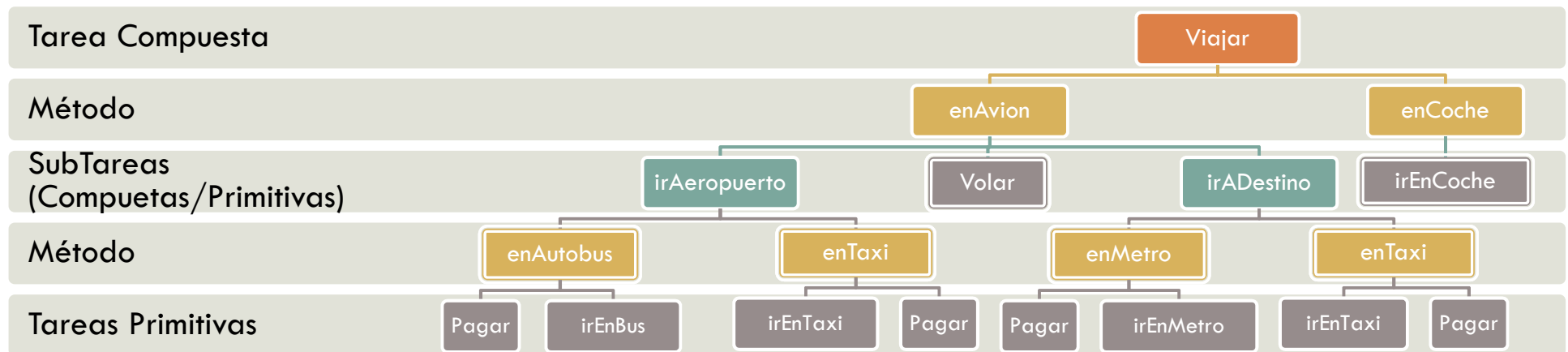
Planificación HTN (Hierarchical Task Networks)  
Lenguaje HPDL y Planificador HTNP



- Conceptos básicos HTN
- Descripción de dominios y problemas HTN con HPDL
- Proceso del Planificador htnp
- Problemas propuestos.

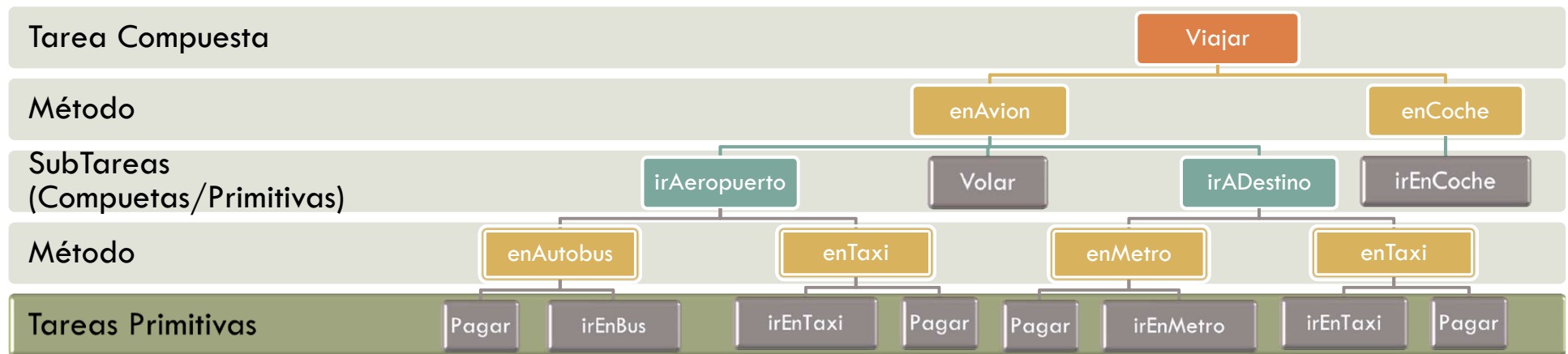


- La planificación automática basada en operadores (como en PDDL) se basa mucho en el análisis de relaciones causa/efecto
- Hay muchos problemas en los que sólo la representación y razonamiento basados en precondiciones/efectos no es suficiente.
- La **abstracción de tareas** permite representar conocimiento para que un planificador pueda usar otros medios para escoger qué acción aplicar



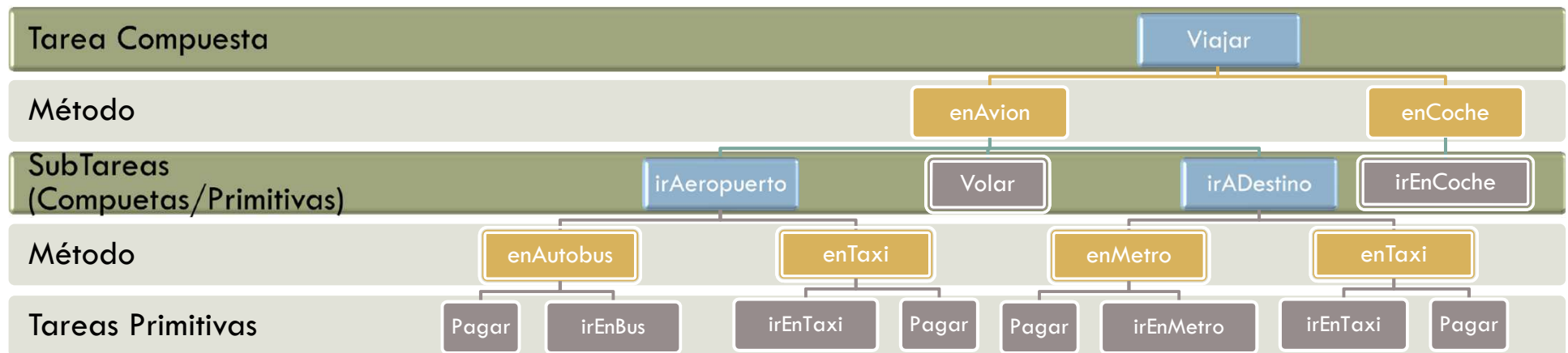
## □ Dominio de planificación

- basado en representación de acciones a distintos niveles de abstracción
- Las acciones en cualquier nivel de abstracción se denominan **Tareas** (Tasks)
- Distinción entre tareas (acciones) **primitivas** y tareas **compuestas**.



## □ Tarea Primitiva (en gris):

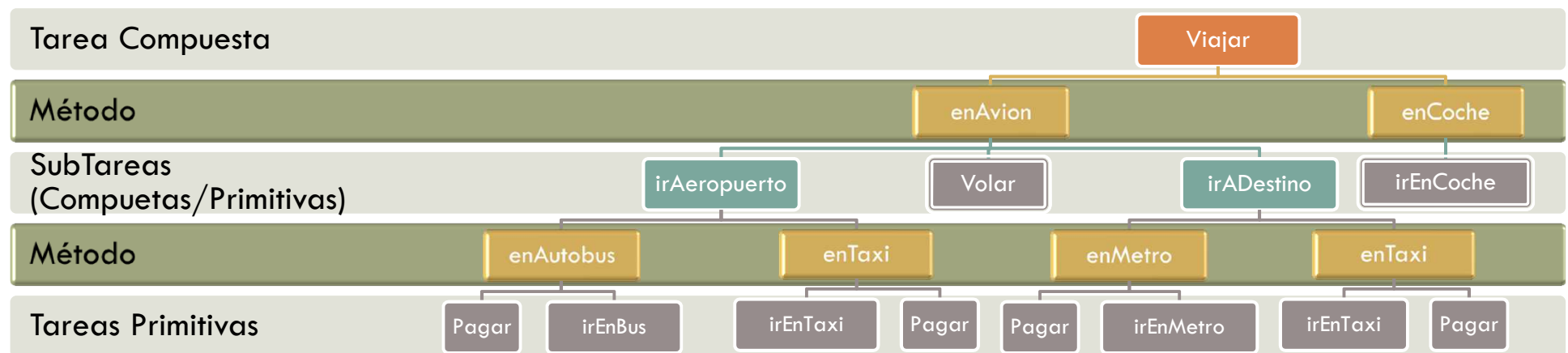
- ▣ representa una acción del nivel de abstracción inferior, indivisible y cuya ejecución produce un cambio en el estado del mundo
- ▣ Estado del mundo: conjunto de hechos (predicados instanciados)



## □ Tarea Compuesta (en azul):

- ▣ Representa una acción o proceso de alto nivel que debe llevarse a cabo con la intervención de varias tareas de nivel inferior y que, normalmente, presenta distintas alternativas para su realización.





## □ Método de descomposición

- Una alternativa o modo de llevar a cabo una tarea, representado como un conjunto de subtareas (compuestas o primitivas) y relaciones de orden entre ellas.
- Describe qué pasos hay que seguir para descomponer una tarea en una secuencia de tareas primitivas
- Una tarea compuesta tiene asociados varios métodos de descomposición: formas distintas de descomponer la tarea (por ejemplo *irAeropuerto*).



## HPDL: Lenguaje para la representación de un dominio de planificación HTN

- HPDL es una extensión de PDDL para representar dominios de planificación HTN basados en tareas primitivas y compuestas

- estándar para representar acciones de dominios de planificación

PDDL



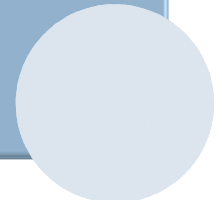
- lenguaje desarrollado por el Grupo de Sistemas Inteligentes del Departamento de Ciencias de la Computación e I.A. (DECSAI)

HPDL



- Es el lenguaje usado por el planificador HTNP también desarrollado por el grupo ISG

htnp







# Acciones primitivas: PDDL durative-actions

## Conceptos

## Código

### – Objetos del dominio:

- constantes,
- tipos
- predicados,
- funciones

```
(define (domain viajes)
  (:requirements :typing :fluents :derived-predicates
    :negative-preconditions :htn-expansion)
  (:constants <...>)
  (:types Persona Sitio - object
    Hogar Aeropuerto - Sitio)
  (:predicates (en ?p - Persona ?s - Sitio))
  (:functions (distancia ?x ?y - Sitio)
    (dinero ?p - Persona)
    (velocidad-taxi)
    (precio_km))
)
```

### – Acciones primitivas (durativas):

- Representación PDDL
- Parámetros con tipo,
- precondiciones,
- efectos,
- duración

```
(:durative-action ir_en_taxi
  :parameters (?u - Persona ?o ?d - Sitio)
  :duration (= ?dur (* (distancia ?o ?d)
    (velocidad_taxi) ))
  :condition (and (en ?u ?o))
  :effect (and (not (en ?u ?o))
    (en ?u ?d)))
```



## Expresiones aritméticas

- Valores numéricos/funciones
  - Especificar cómo calcular duraciones de acciones
  - Condiciones con expresiones aritméticas
- ```
(:durative-action ir_en_taxi
:parameters (?u - Persona ?o ?d - Sitio)
:duration (= ?dur (* (distancia ?o ?d)
                     (velocidad_taxi) )
:condition (and (en ?u ?o)
                 (> (dinero ?u)
                    (* (precio_km) (distancia ?o ?d))
:effect (and (not (en ?u ?o))
              (en ?u ?d)))
```

## Predicados derivados

- Valores numéricos/funciones
- Derived literals: reglas de inferencia para “derivar” predicados de las precondiciones

```
(:derived (tiene_dinero ?p - Persona ?org ?dst - Sitio)
  (> (dinero ?p)
    (* (precio_km) (distancia ?org ?dst))))
```

```
(:durative-action ir_en_taxi
  :parameters (?u - Persona ?o ?d - Sitio)
  :duration (= ?dur (* (distancia ?o ?d)
    (velocidad_taxi) )
  :condition (and (en ?u ?o)
    (tiene_dinero ?u ?o ?d))
  :effect (and (not (en ?u ?o))
    (en ?u ?d)))
```



## Operaciones sobre funciones.

- Valores numéricos/funciones

```
(:derived (tiene_dinero ?p - Persona ?org ?dst - Sitio)
  ((> (dinero ?u)
    (* (precio_km) (distancia ?o ?d))))
```

- Derived literals: reglas de inferencia para “derivar” predicados de las precondiciones

```
(:durative-action ir_en_taxi
:parameters (?u - Persona ?o ?d - Sitio)
:duration (= ?dur (* (distancia ?o ?d)
  (velocidad_taxi) )
:condition (and (en ?u ?o)
  (tiene_dinero ?u ?o ?d))
:effect (and (not (en ?u ?o))
  (en ?u ?d)))
```

- Asignación, incremento/decremento de funciones

```
(:durative-action pagar
:parameters (?u - Persona ?c - number)
:duration (= ?dur 1)
:condition (> (- (dinero ?u) ?c) 0)
:effect (decrease (dinero ?u) ?c)
```



# Tareas Compuestas

- Tarea compuesta
- Varios métodos
  - ▣ Precondición
  - ▣ Descomposición
- Tareas “inline”
  - ▣ Crear acciones “al vuelo” para un uso muy específico
  - ▣ Inferir nuevo conocimiento y añadirlo al estado el mundo
- Relaciones de orden
  - ▣ ( <t1> <t2> )
  - ▣ [<t1> <t2>]

```
(:task irAeropuerto
:parameters (?p - Persona ?c - Hogar ?a - Aeropuerto)

(:method enTaxi
:precondition ()
:tasks (
  (ir_en_taxi ?p ?c ?a)
  (:inline (bind ?tarifa (* (distancia ?c ?a)
                           (precio_km))) () )
  (pagar ?p ?tarifa)
)
(:method enBus
:precondition ()
:tasks ((:inline (bind ?tarifa (tarifa-bus)) () )
  (pagar ?p ?tarifa)
  (ir_en_bus ?p ?c ?a))
(:method Andando
:precondition ()
:tasks (irAndando ?p ?c ?a))
);;task
```





# Tareas Compuestas

```
(:task irAeropuerto
:parameters (?p - Persona ?c - Hogar ?a - Aeropuerto)
(:method enTaxi
:precondition ()
:tasks (
    (ir_en_taxi ?p ?c ?a)
    (:inline (bind ?tarifa (* (distancia ?c ?a)
                              (precio_km))) () )
    (pagar ?p ?tarifa)
)
(:method enBus
:precondition ()
:tasks ((:inline (bind ?tarifa (tarifa-bus)) () )
        (pagar ?p ?tarifa)
        (ir_en_bus ?p ?c ?a))
(:method Andando
:precondition ()
:tasks (irAndando ?p ?c ?a))
);;task
```

```
(:task Viajar
:parameters (?p - Persona
              ?x ?y - Sitio)
(:method enAvion
:precondition (tiene prisa ?p)
:tasks (
    (irAeropuerto ?p ?x GarciaLorca)
    (Volar ?p GarciaLorca Barajas)
    (irDestino ?p Barajas ?y)
)
(:method enCoche
:precondition (not (tiene_prisa ?p))
:tasks (irEnCoche ?p ?x ?y))
)
```





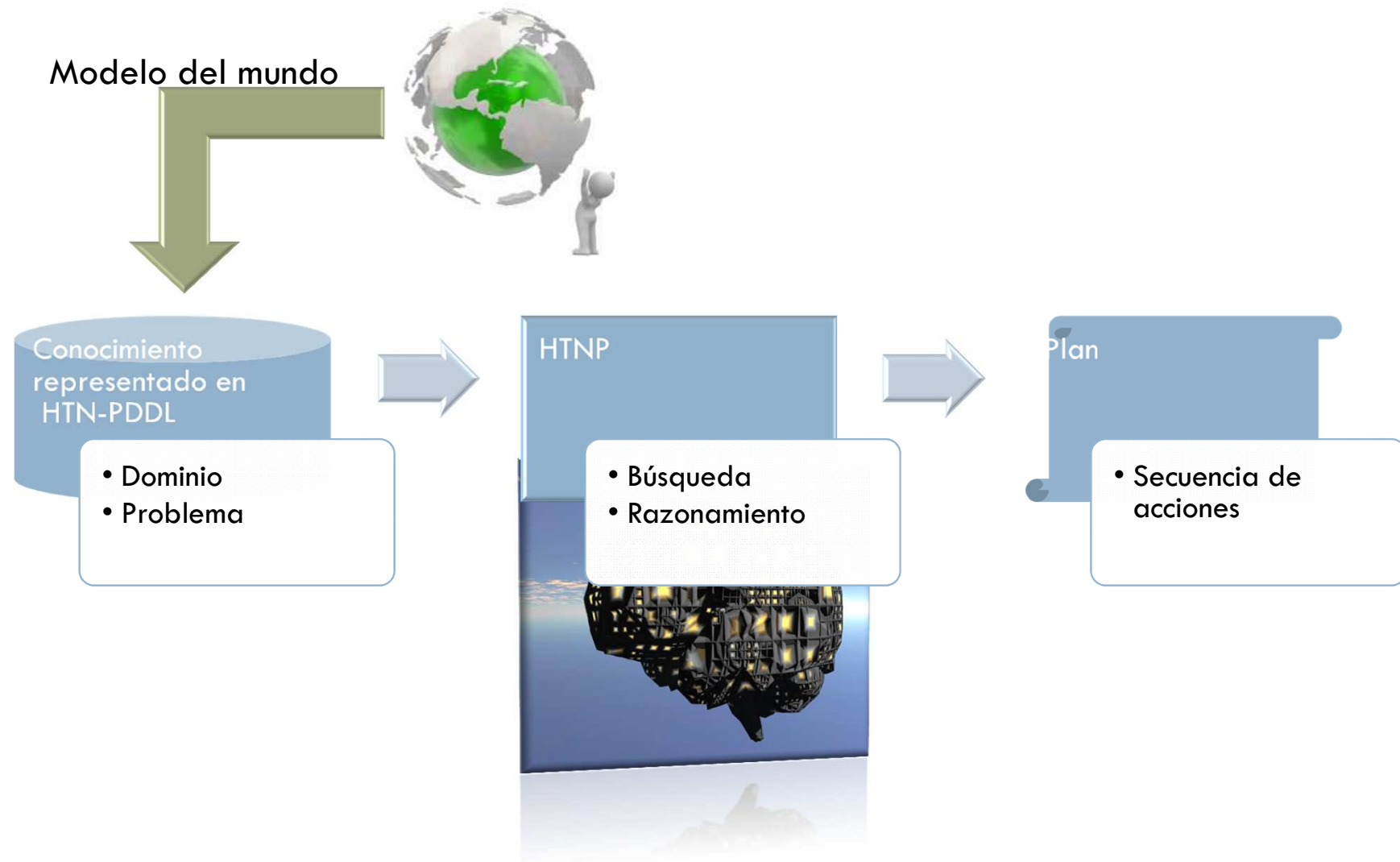
- se describe a partir de un estado inicial y de un objetivo representado como una tarea de alto nivel a llevar a cabo.

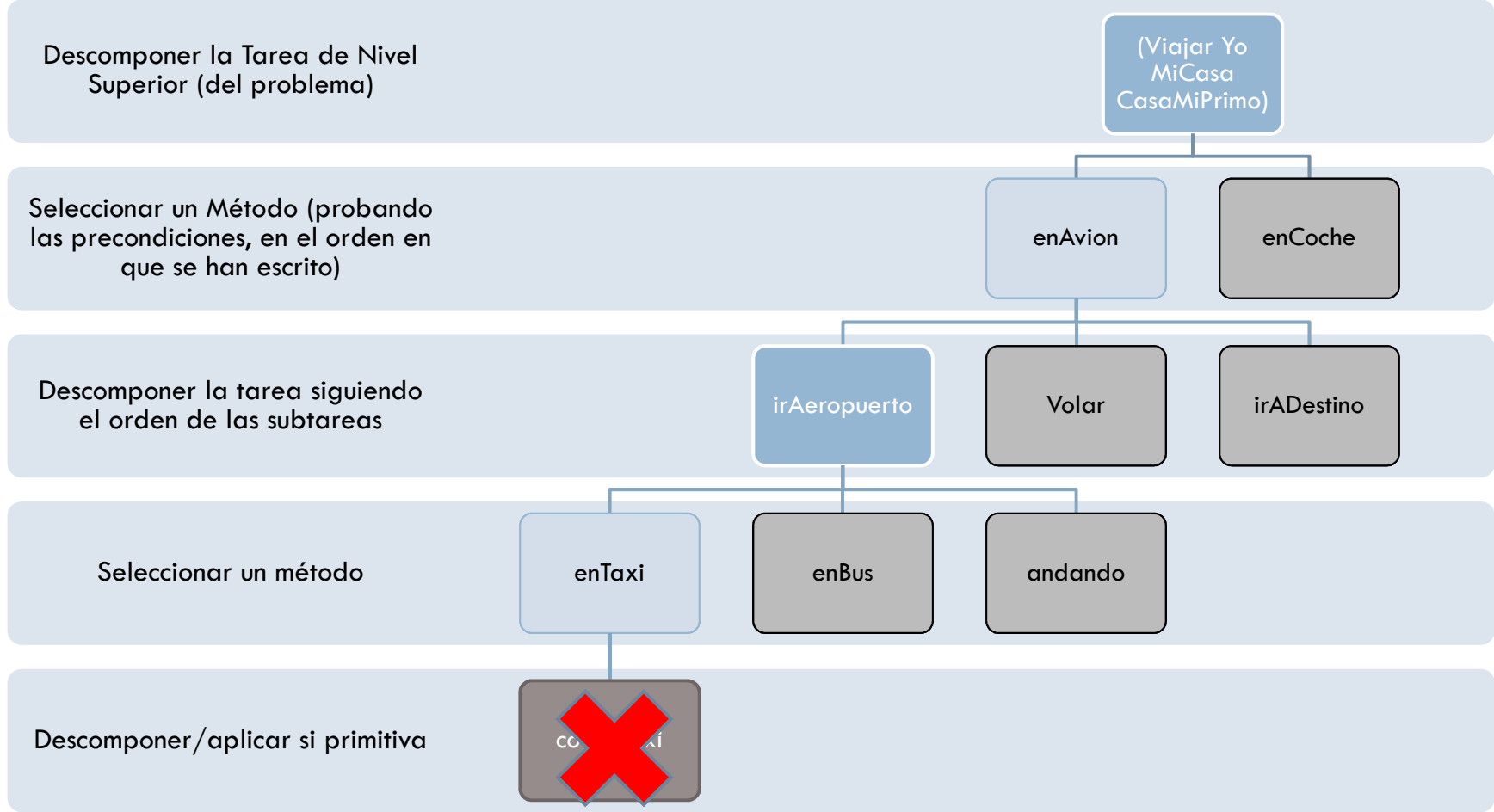
```
(define (problem UnViaje) (:domain Viajes)

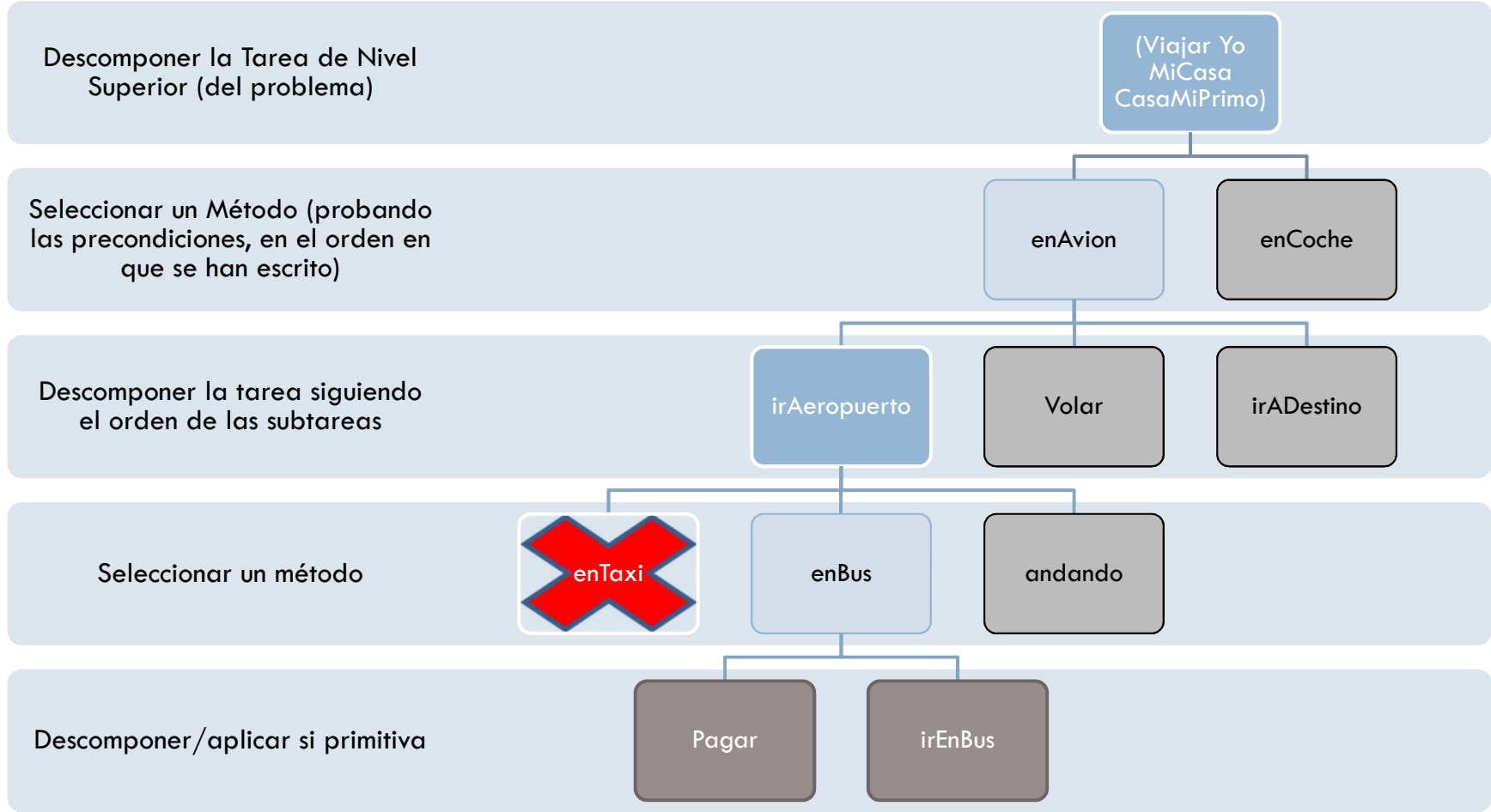
(:objects
  MiCasa CasaMiPrimo - Hogar
  GarciaLorca Barajas - Aeropuerto
  Yo - Persona
)
(:init
  (en Yo MiCasa)
  (= (dinero Yo) 100)
  (= (distancia MiCasa GarciaLorca) 20)
  (= (precio-km) 7)
)
(:tasks-goal
  :tasks( (Viajar Yo MiCasa CasaMiPrimo))
)
)
```

Observar: el goal en HTN es una tarea, o una secuencia de tareas.

En PDDL (planificación clásica) se especificaría como un predicado (**en Yo CasaMiPrimo**)



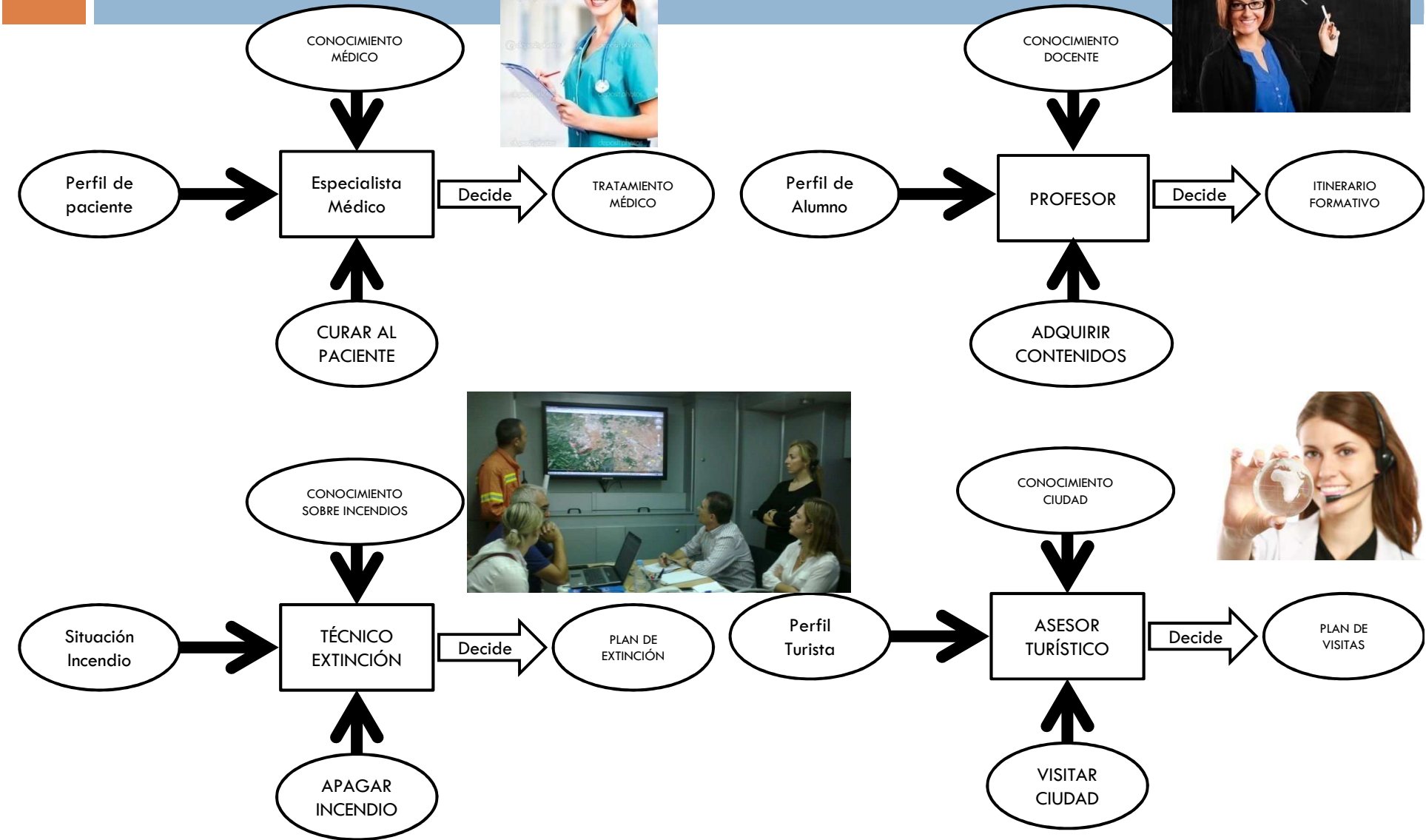






- No adecuadas para resolver problemas combinatorios
  - ▣ Asignación horaria de vuelos en un aeropuerto
    - Explosión combinatoria
    - Mejor técnicas como CSPs.
- Adecuadas para problemas
  - ▣ Know-how pre-existente
    - Conocimiento experto sobre cómo realizar una tarea.
  - ▣ Adoptar estrategias similares a los humanos
    - Emergencias, Militar, Sanidad, VideoJuegos...



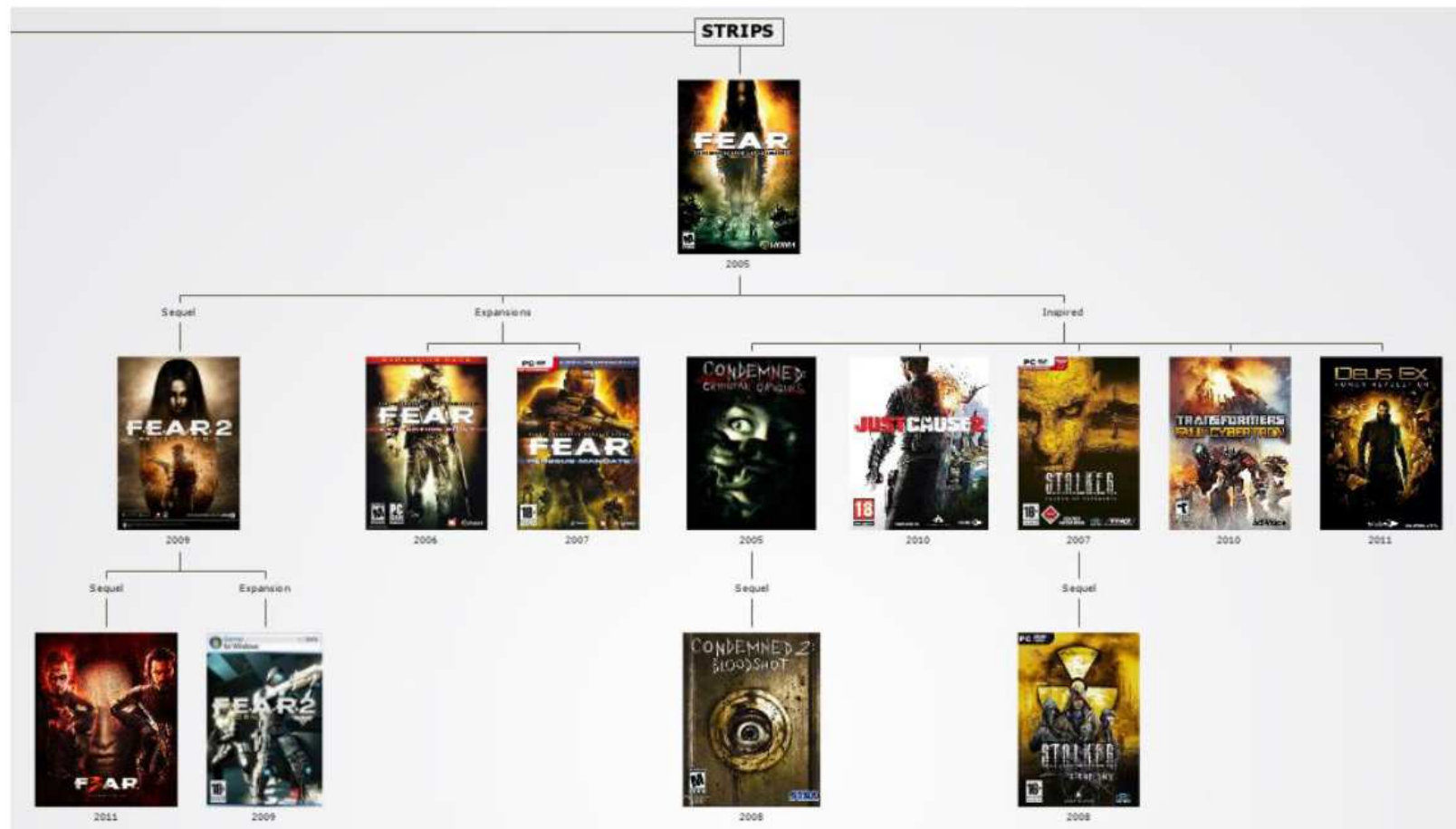




- Non-player characters (NPCs):
  - ▣ Move in game-world space (2D/3D)
  - ▣ Act in game-world
    - Pick-up objects, attack, hide, etc.
  - ▣ Exhibit behavior
    - Follow the player, get scared and runaway, etc.
- How do they think?
  - Navigation: Pathfinding
  - Action-driven behavior:  
Finite State Machines / Behavior Trees / Goal  
Oriented Action Planning / Utility systems

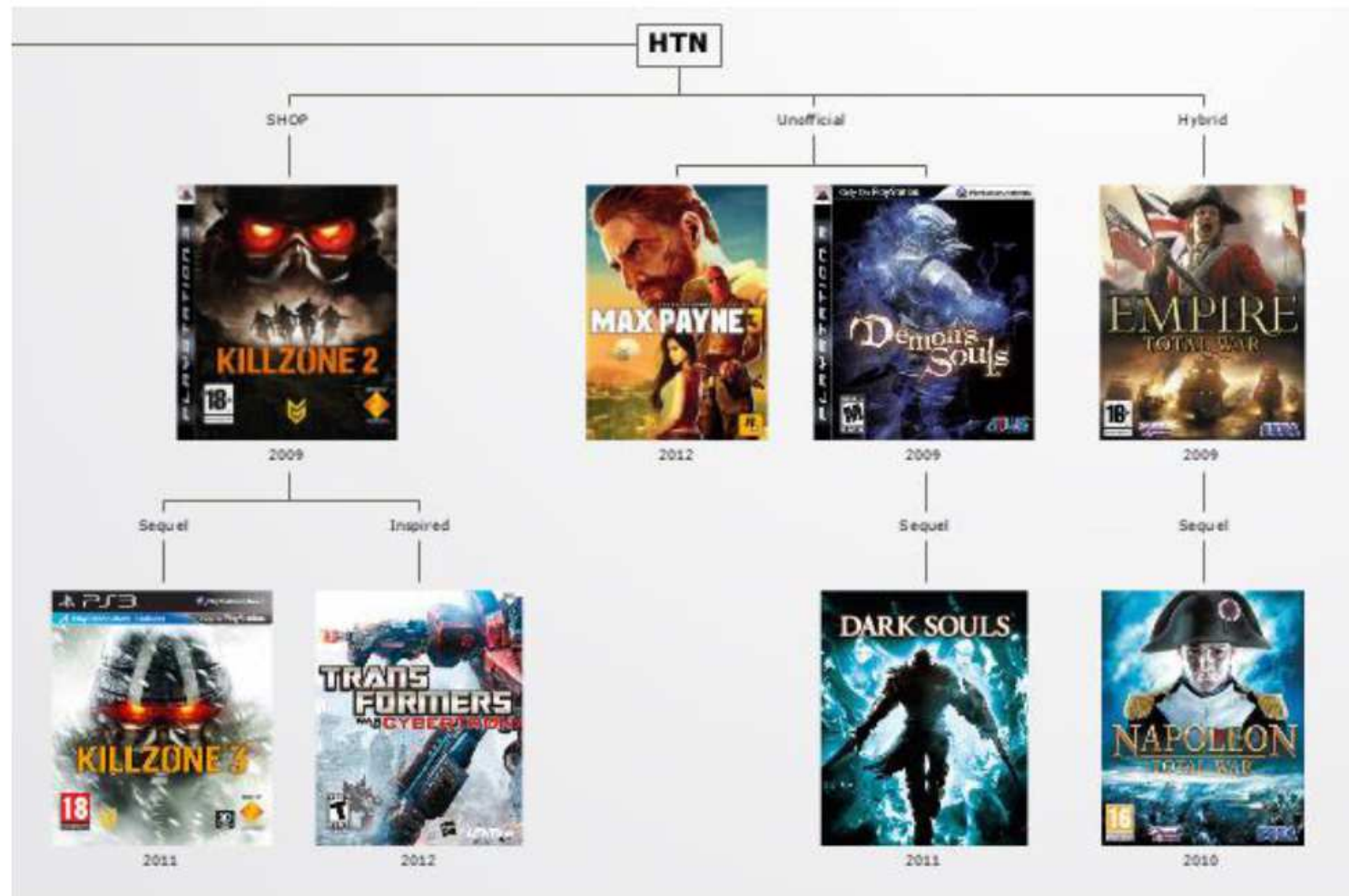


- Overview on [aigamedev.com:planning-in-games](http://aigamedev.com:planning-in-games)





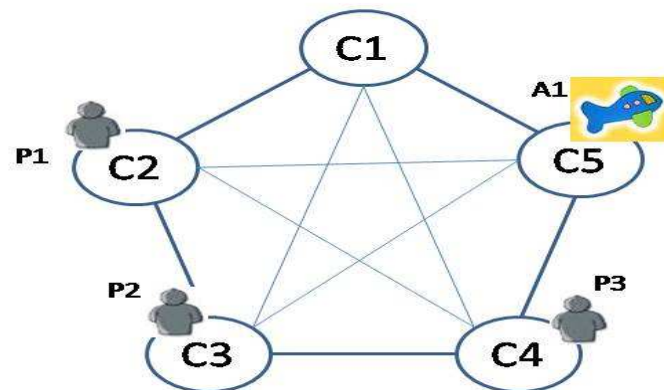
- Overview on [aigamedev.com:planning-in-games](http://aigamedev.com/planning-in-games)





- Definir un dominio HTN de forma incremental
  - ▣ No vamos a partir de cero para escribir este dominio.
  - ▣ Partimos de un conjunto de tareas primitivas (acciones PDDL) ya conocidas.
  - ▣ Tareas compuestas incompletas
  - ▣ El dominio final tiene que resolver, al menos, tres problemas
  - ▣ Resolver problemas en el dominio ZenoTravel (estándar para contrastar planificadores)

- ▣ Transporte aéreo entre ciudades
- ▣ Personas, ciudades, aviones
- ▣ En concreto: 5 ciudades, 1 avión, 3 personas





- ▣ **Embarcar** una *persona* en un *avión* en una *ciudad* concreta.
- ▣ **Desembarcar** una *persona* en un *avión* en una *ciudad* concreta.
- ▣ **Volar** un *avión* de una *ciudad* origen a una *ciudad* destino a una *velocidad* lenta
- ▣ **Volar** un *avión* de una *ciudad* origen a una *ciudad* destino a una *velocidad* rápida
- ▣ **Repostar** un *avión* en una *ciudad*.





```
(define (domain zeno-travel)
  (:requirements
    :typing
    :fluents
    :derived-predicates
    :negative-preconditions
    :universal-preconditions
    :disjunctive-preconditions
    :conditional-effects
    :htn-expansion
    ; Requisitos adicionales para el
    ; manejo del tiempo
    :durative-actions
    :metatags
  )
```

□ Este preámbulo debe respetarse tal cual.



```
(:types aircraft person city - object)
```

```
(:constants slow fast - object)
```

```
(:predicates
```

```
  (at ?x - (either person aircraft) ?c - city)
```

```
    (in ?p - person ?a - aircraft)
```

```
    (diferente ?x ?y) ;;predicado derivado, ver más abajo
```

```
    (igual ?x ?y) ;;predicado derivado, ver más abajo
```

```
    (hay-fuel ?a ?c1 ?c2) ;;predicado derivado, ver más abajo
```

```
  )
```



(:functions

(fuel ?a - aircraft) ;;cantidad de fuel actual de un avión

(distance ?c1 - city ?c2 - city) ;;distancia entre dos ciudades

(slow-speed ?a - aircraft); ;;velocidad “lenta” de un avión

(fast-speed ?a - aircraft) ;;velocidad “rápida” de un avión

(slow-burn ?a - aircraft);;razón de consumo de un avión a velocidad lenta

(fast-burn ?a - aircraft);razón de consumo de un avión a velocidad rápida

(capacity ?a - aircraft) ;;capacidad de fuel de un avión

(refuel-rate ?a - aircraft) ;;razón de repostaje de un avión (para calcular

;; el tiempo de repostaje

(total-fuel-used) ;;valor del fuel total usado

(boarding-time) ;;valor constante de tiempo de embarque

(debarking-time) ;;valor constante de tiempo de desembarque

)



```
(:durative-action board
:parameters (?p - person ?a - aircraft ?c - city)
:duration (= ?duration (boarding-time))
:condition (and (at ?p ?c)
                (at ?a ?c))
:effect (and (not (at ?p ?c))
             (in ?p ?a)))
```



```
(:durative-action debark
:parameters (?p - person ?a - aircraft ?c - city)
:duration (= ?duration (debarking-time))
:condition (and (in ?p ?a)
                (at ?a ?c))
:effect (and (not (in ?p ?a))
             (at ?p ?c)))
```



# Volar un avión de una ciudad origen a una ciudad destino a una velocidad lenta

```
(:durative-action fly
:parameters (?a - aircraft ?c1 ?c2 - city)
:duration (= ?duration (/ (distance ?c1 ?c2) (slow-speed ?a)))
:condition (and (at ?a ?c1)
                 (>= (fuel ?a)(* (distance ?c1 ?c2) (slow-burn ?a))))
:effect (and (not (at ?a ?c1))
             (at ?a ?c2)
             (increase (total-fuel-used)
                      (* (distance ?c1 ?c2) (slow-burn ?a)))
             (decrease (fuel ?a)
                      (* (distance ?c1 ?c2) (slow-burn ?a)))))
```





# Volar un avión de una ciudad origen a una ciudad destino a una velocidad rápida

```
(:durative-action zoom
:parameters (?a - aircraft ?c1 ?c2 - city)
:duration (= ?duration (/ (distance ?c1 ?c2) (fast-speed ?a)))
:condition (and (at ?a ?c1)
                (>= (fuel ?a) (* (distance ?c1 ?c2) (fast-burn ?a))))
:effect (and (not (at ?a ?c1))
             (at ?a ?c2)
             (increase (total-fuel-used)
                      (* (distance ?c1 ?c2) (fast-burn ?a)))
             (decrease (fuel ?a)
                      (* (distance ?c1 ?c2) (fast-burn ?a)))))
```



# Repostar un avión en una ciudad.

```
(:durative-action refuel
:parameters (?a - aircraft ?c - city)
:duration (= ?duration (/(- (capacity ?a) (fuel ?a))(refuel-rate ?a)))
:condition (and (> (capacity ?a) (fuel ?a))
                (at ?a ?c))
:effect (assign (fuel ?a) (capacity ?a)))
```



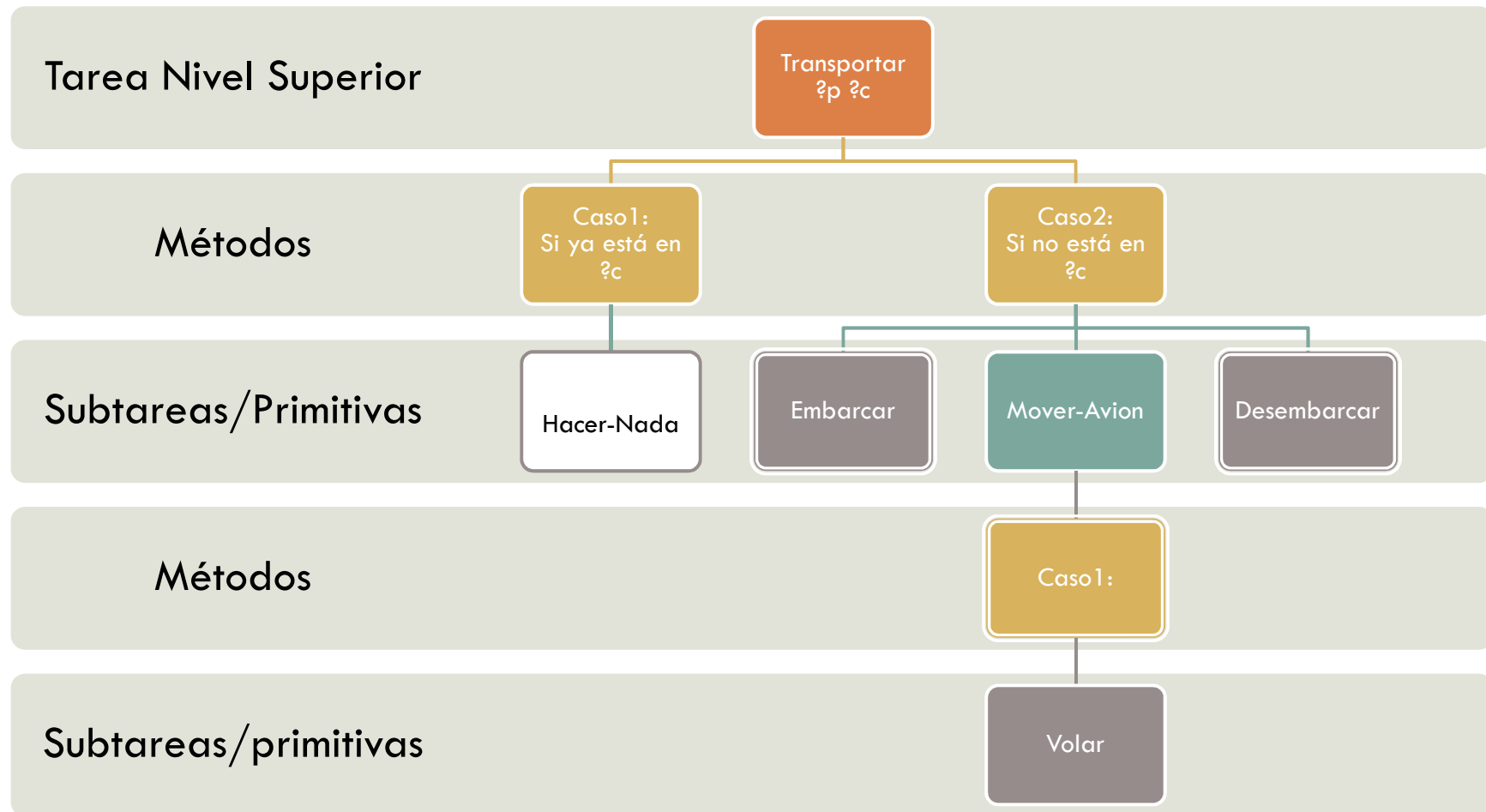
- *;; el consecuente "vacío" se representa como "()" y significa "siempre verdad"*
- *;; un objeto es siempre igual a sí mismo*

```
(:derived  
  (igual ?x ?x) ()))
```

- *;; dos objetos son diferentes si no son iguales*

```
(:derived  
  (diferente ?x ?y) (not (igual ?x ?y))))
```

```
(:derived  
  (hay-fuel ?a - aircraft ?c1 - city ?c2 - city)  
  (> (fuel ?a) 1)))
```





```
(:task transport-person
```

```
  :parameters (?p - person ?c - city)
```

```
  (:method Case1 ; si la persona está en la ciudad no se hace nada
```

```
    :precondition (at ?p ?c)
```

```
    :tasks ()
```

```
)
```

```
;si la persona no está en la ciudad destino, pero avion y persona están en la misma ciudad
```

```
(:method Case2
```

```
  :precondition (and (at ?p - person ?c1 - city)
```

```
                    (at ?a - aircraft ?c1 - city))
```

```
  :tasks (
```

```
    (board ?p ?a ?c1)
```

```
    (mover-avion ?a ?c1 ?c)
```

```
    (debark ?p ?a ?c )))
```

```
)
```





```
(:task mover-avion
:parameters (?a - aircraft ?c1 - city ?c2 -city)
(:method fuel-suficiente
  :precondition (hay-fuel ?a ?c1 ?c2)
  :tasks (
    (fly ?a ?c1 ?c2)
  )
)
```

- Comprobar que con este dominio básico se resuelve el problema siguiente:

```
(define (problem zeno-0)
  (:domain zeno-travel)
  (:customization
    (= :time-format "%d/%m/%Y %H:%M:%S")
    (= :time-horizon-relative 2500)
    (= :time-start "05/06/2007 08:00:00")
    (= :time-unit :hours))

  (:objects
    p1 p2 p3 p4 - person
    c1 c2 c3 c4 c5 - city
    a1 - aircraft
  )
  (:init
    (at p1 c4)
    (at p2 c4)
    (at p3 c5)
    (at a1 c4)
```

```
(= (distance c1 c2) 100)
  (= (distance c2 c3) 100)
  (= (distance c3 c4) 100)
  (= (distance c4 c5) 100)
  (= (distance c5 c1) 100)
  (= (distance c1 c5) 100)

  (= (distance c1 c3) 150)
  (= (distance c1 c4) 150)
  (= (distance c2 c5) 150)
  (= (distance c2 c4) 150)
  (= (distance c3 c1) 150)
  (= (distance c3 c5) 150)
  (= (distance c4 c2) 150)
  (= (distance c4 c1) 150)
  (= (distance c5 c2) 150)
  (= (distance c5 c3) 150)
```

```
(= (fuel a1) 100000)
  (= (slow-speed a1) 10)
  (= (fast-speed a1) 20)
  (= (slow-burn a1) 1)
  (= (fast-burn a1) 2)
  (= (capacity a1) 100000)
  (= (refuel-rate a1) 1)
  (= (total-fuel-used) 0)
  (= (boarding-time) 1)
  (= (debarking-time) 1)
)
(:tasks-goal
  :tasks(
    (transport-person p1 c4)
    (transport-person p2 c5)
    (transport-person p3 c2))))
```

## PROBLEMA 1: Comprobar que NO se resuelve el problema siguiente y modificar el dominio

```
(define (problem zeno-0)
  (:domain zeno-travel)
  (:customization
    (= :time-format "%d/%m/%Y %H:%M:%S")
    (= :time-horizon-relative 2500)
    (= :time-start "05/06/2007 08:00:00")
    (= :time-unit :hours))

  (:objects
    p1 p2 p3 p4 - person
    c1 c2 c3 c4 c5 - city
    a1 - aircraft
  )
  (:init
    (at p1 c4)
    (at p2 c4)
    (at p3 c5)
    (at a1 c4)
```

```
(= (distance c1 c2) 100)
  (= (distance c2 c3) 100)
  (= (distance c3 c4) 100)
  (= (distance c4 c5) 100)
  (= (distance c5 c1) 100)
  (= (distance c1 c5) 100)

  (= (distance c1 c3) 150)
  (= (distance c1 c4) 150)
  (= (distance c2 c5) 150)
  (= (distance c2 c4) 150)
  (= (distance c3 c1) 150)
  (= (distance c3 c5) 150)
  (= (distance c4 c2) 150)
  (= (distance c4 c1) 150)
  (= (distance c5 c2) 150)
  (= (distance c5 c3) 150)
```

```
(= (fuel a1) 100000)
  (= (slow-speed a1) 10)
  (= (fast-speed a1) 20)
  (= (slow-burn a1) 1)
  (= (fast-burn a1) 2)
  (= (capacity a1) 100000)
  (= (refuel-rate a1) 1)
  (= (total-fuel-used) 0)
  (= (boarding-time) 1)
  (= (debarking-time) 1)
)

(:tasks-goal
  :tasks(
    (transport-person p1 c5)
    (transport-person p2 c5)
    (transport-person p3 c5)
```

## PROBLEMA 2: Comprobar que NO se resuelve el problema siguiente y volver a modificar el dominio

```
(define (problem zeno-0)
  (:domain zeno-travel)
  (:customization
    (= :time-format "%d/%m/%Y %H:%M:%S")
    (= :time-horizon-relative 2500)
    (= :time-start "05/06/2007 08:00:00")
    (= :time-unit :hours))

  (:objects
    p1 p2 p3 p4 - person
    c1 c2 c3 c4 c5 - city
    a1 - aircraft
  )
  (:init
    (at p1 c4)
    (at p2 c4)
    (at p3 c5)
    (at a1 c4)
```

```
(= (distance c1 c2) 100)
  (= (distance c2 c3) 100)
  (= (distance c3 c4) 100)
  (= (distance c4 c5) 100)
  (= (distance c5 c1) 100)
  (= (distance c1 c5) 100)

  (= (distance c1 c3) 150)
  (= (distance c1 c4) 150)
  (= (distance c2 c5) 150)
  (= (distance c2 c4) 150)
  (= (distance c3 c1) 150)
  (= (distance c3 c5) 150)
  (= (distance c4 c2) 150)
  (= (distance c4 c1) 150)
  (= (distance c5 c2) 150)
  (= (distance c5 c3) 150)
```

```
(= (fuel a1) 200)
  (= (slow-speed a1) 10)
  (= (fast-speed a1) 20)
  (= (slow-burn a1) 1)
  (= (fast-burn a1) 2)
  (= (capacity a1) 300)
  (= (refuel-rate a1) 1)
  (= (total-fuel-used) 0)
  (= (boarding-time) 1)
  (= (debarking-time) 1)
)
(:tasks-goal
  :tasks(
    (transport-person p1 c5)
    (transport-person p2 c5)
    (transport-person p3 c5)
```



## PROBLEMA ·3: Comprobar que NO se resuelve el problema siguiente y modificar el dominio

```
(define (problem zeno-0)
  (:domain zeno-travel)
  (:customization
    (= :time-format "%d/%m/%Y %H:%M:%S")
    (= :time-horizon-relative 2500)
    (= :time-start "05/06/2007 08:00:00")
    (= :time-unit :hours))

  (:objects
    p1 p2 p3 p4 - person
    c1 c2 c3 c4 c5 - city
    a1 - aircraft
  )
  (:init
    (at p1 c4)
    (at p2 c4)
    (at p3 c5)
    (at a1 c4)
```

```
(= (distance c1 c2) 100)
  (= (distance c2 c3) 100)
  (= (distance c3 c4) 100)
  (= (distance c4 c5) 100)
  (= (distance c5 c1) 100)
  (= (distance c1 c5) 100)

  (= (distance c1 c3) 150)
  (= (distance c1 c4) 150)
  (= (distance c2 c5) 150)
  (= (distance c2 c4) 150)
  (= (distance c3 c1) 150)
  (= (distance c3 c5) 150)
  (= (distance c4 c2) 150)
  (= (distance c4 c1) 150)
  (= (distance c5 c2) 150)
  (= (distance c5 c3) 150)
```

```
(= (fuel-limit) 1500)
(= (fuel a1) 200)
  (= (slow-speed a1) 10)
  (= (fast-speed a1) 20)
  (= (slow-burn a1) 1)
  (= (fast-burn a1) 2)
  (= (capacity a1) 300)
  (= (refuel-rate a1) 1)
  (= (total-fuel-used) 0)
  (= (boarding-time) 1)
  (= (debarking-time) 1)
)
(:tasks-goal
  :tasks(
    (transport-person p1 c5)
    (transport-person p2 c5)
    (transport-person p3 c5)
```





(domain .....

(:task transport-person

:parameters (?p - person ?c - city)

.....

*;si la persona no está en la ciudad destino, pero avion y persona están en la misma ciudad*

(:method Case2

:precondition (and (at ?p - person ?c1 - city)

(at ?a - aircraft ?c1 - city))

:tasks (

(board ?p ?a ?c1)

(mover-avion ?a ?c1 ?c)

(debark ?p ?a ?c )))

.....

.....

(:import “Primitivas-Zenotravel.pddl”)

)