

# Directed Controller Synthesis for Non-Maximal Blocking Requirements

---

Matias Duran, Florencia Zanollo

12 de Mayo de 2021

- Introducción
- Conocimiento previo
- On-the-fly
- Implementación y Tests
- Benchmark
- Conclusión

# Introducción

---

“The good thing about computers is that they do what you tell them to do. The bad news is that they do what you tell them to do.”  
– Ted Nelson

“The good thing about computers is that they do what you tell them to do. The bad news is that they do what you tell them to do.”  
– Ted Nelson

¿Es posible hacer que una computadora se diga a sí misma qué hacer?

“The good thing about computers is that they do what you tell them to do. The bad news is that they do what you tell them to do.”  
– Ted Nelson

¿Es posible hacer que una computadora se diga a sí misma qué hacer?

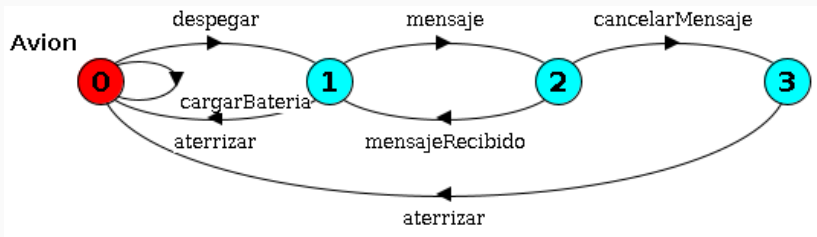
## **Síntesis Automática de Controladores**

Se le brinda a un programa las reglas y objetivos a cumplir, éste sintetiza una estrategia para ganar (si existe) conocida con el nombre de controlador.

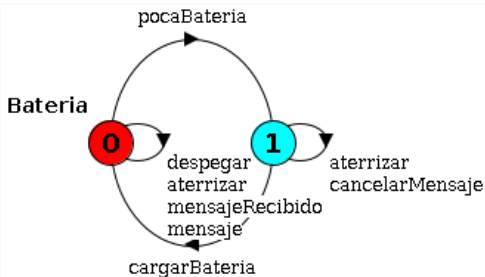
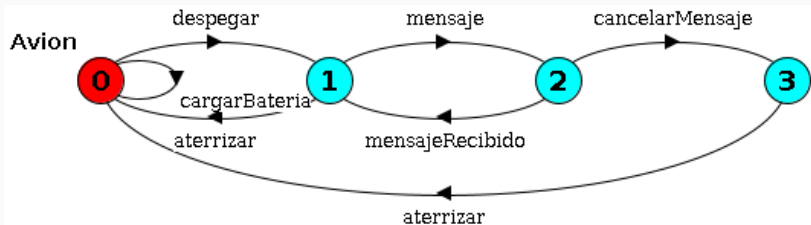
- Es una de las áreas que estudia problemas de síntesis.
- El problema es modelado usando autómatas finitos (o máquinas de estados finitos).

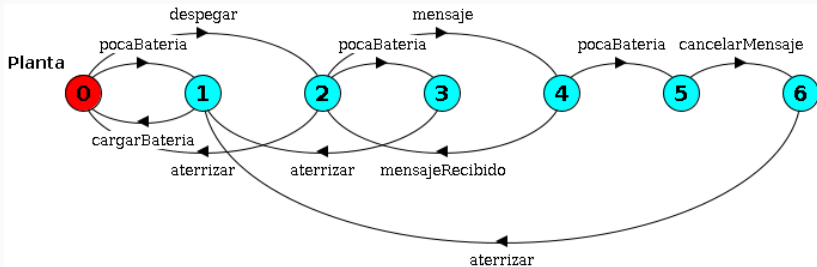
- Es una de las áreas que estudia problemas de síntesis.
- El problema es modelado usando autómatas finitos (o máquinas de estados finitos).
- Estos autómatas modelan la parte que nos interesa de la realidad.
- Se suele partir el modelo en pequeñas partes, más simples de abstraer, y luego se componen para formar el objeto de interés.





- Estados finitos, en este caso del 0 al 3 (4 estados).
- Estado inicial, en los ejemplos siempre será el 0.
- Acciones o eventos, en el ejemplo: despegar, aterrizar, cargarBateria, mensaje, mensajeRecibido, cancelarMensaje.





En nuestro caso el autómata *Batería* contiene la información de cómo actuar (qué acciones se pueden hacer) en caso de tener poca batería.

Al componer con el autómata *Avión* se restringen las acciones pero también hay un aumento de estados; ya que no es lo mismo estar en el aire con poca batería o completa.

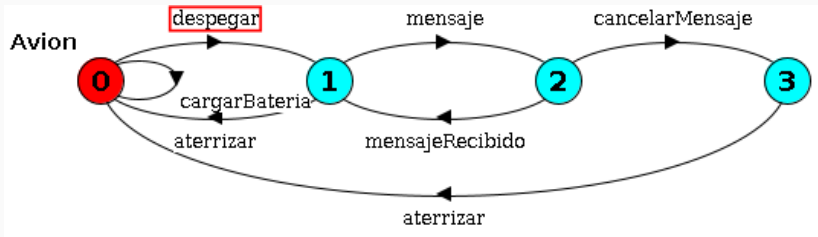


Partiendo de la versión presentada en la tesis doctoral de Daniel Ciolek, queremos componer mientras exploras y terminar al tener conclusión (con suerte antes de ver todo).

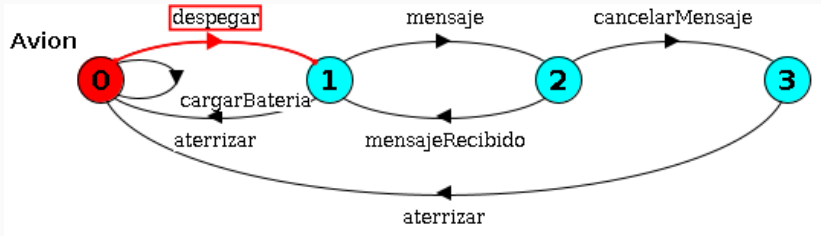
Dicha versión presentaba errores a la hora de clasificar los estados, nuestra intención es, no sólo arreglar los errores, sino dar una demostración formal al respecto.

## Conocimiento previo

---

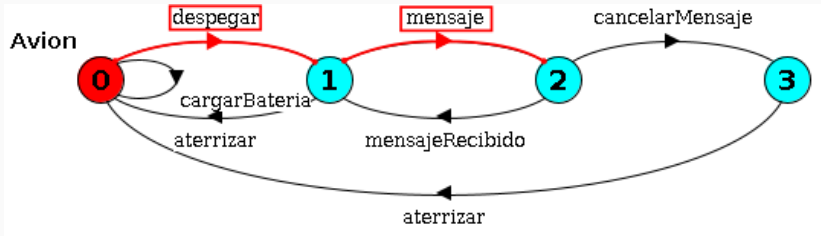


- Acción es una transición entre los estados.



- Acción es una transición entre los estados.
- Un paso es  $t \xrightarrow{\ell} t'$ , toma en cuenta el estado de partida y llegada.





- Acción es una transición entre los estados.
- Un paso es  $t \xrightarrow{\ell}_T t'$ , toma en cuenta el estado de partida y llegada.
- Una corrida de una palabra  $w = \ell_0, \dots, \ell_k$  en  $T$ , es  $t_0 \xrightarrow{w}_T t_{k+1}$ , es decir, varios pasos.

## ¿Cuál es la entrada de un problema de control?

- conjunto de autómatas (la composición de ellos es la planta completa que no queremos calcular)
- acciones controlables y no controlables
- estados marcados u objetivos (se quiere tener la *posibilidad* de visitar infinitas veces *al menos uno*)

## ¿Qué devuelve?

Una estrategia ganadora (llamada controlador) o afirmación de que no existe.

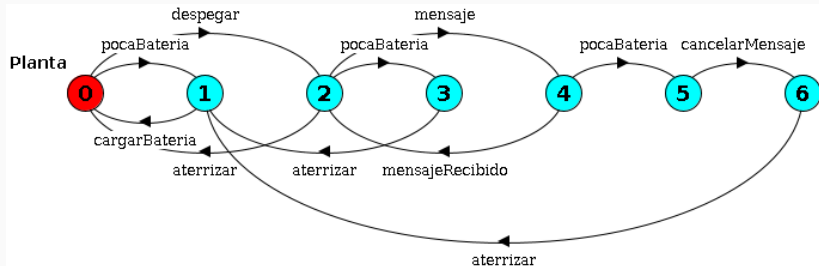
**Conjunto de autómatas** Avión, Batería.

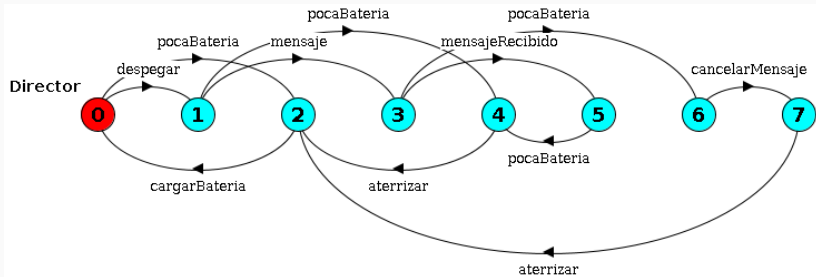
**Acciones controlables** despegar, aterrizar, mensaje,  
cargarBateria, cancelarMensaje.

**Acciones no-controlables** mensajeRecibido, pocaBateria.

**Objetivo** Enviar *mensaje*.

**Planta** (composición de todos los autómatas)

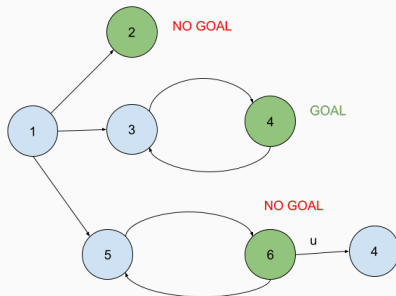




Es una restricción de la planta que cumple las reglas:

- Puede prohibir pasos controlables.
- Mantiene todas las acciones no-controlables.
- Todas las corridas posibles en la planta restringida pasan por algún estado marcado.

Si existe un controlador comenzando desde un estado, es decir, existe estrategia ganadora a partir del estado, entonces lo consideramos estado ganador. Caso contrario, el estado es perdedor y debemos evitarlo.



## Observación

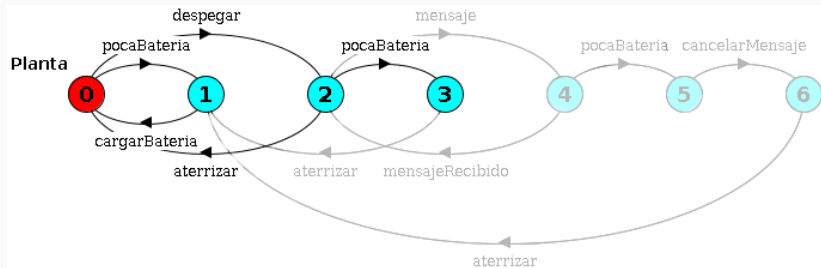
En particular nos interesa mucho si el estado inicial es ganador/perdedor, ya que eso nos dice si existe o no un controlador *empezando* desde ahí.

**On-the-fly**

---

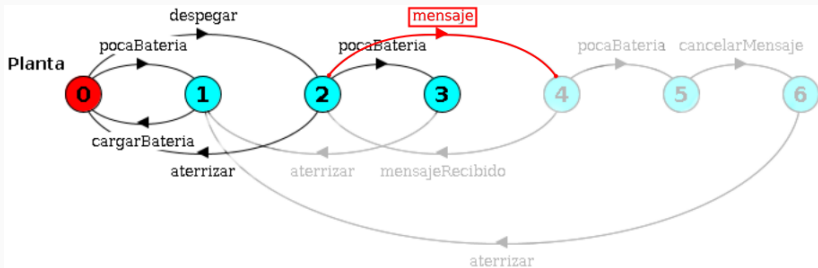
La idea es intentar sacar conclusiones a medida que se explora, y construye a la vez, la composición total.

Por ejemplo, en un momento dado podríamos tener explorado lo siguiente:



Exploramos de a una transición  $e \xrightarrow{\ell} e'$  o paso.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Los llamamos  $e$  en vez de  $t$  para resaltar que son *estados de la planta*



El paso 2  $\xrightarrow{\text{mensaje}}$  4 está sin explorar. Como en principio no sabemos nada de él podríamos pensar que nos lleva a un estado ganador (frontera optimista) o perdedor (frontera pesimista).



En la versión monolítica es más simple reconocer ganadores/perdedores porque se cuenta con toda la información de la planta; en on-the-fly debemos “imaginar” a dónde van a parar las transiciones no vistas.

Actualizamos estados sólo cuando estamos seguros, es decir, señalamos ganadores sólo al pensar una frontera pesimista y perdedores en frontera optimista.

## Observación

Los estados ganadores/perdedores según esta definición son ganadores/perdedores en la planta completa, es decir, una vez que clasificamos un estado nunca debemos reconsiderarlo.

Si estamos explorando una transición nueva  $e \xrightarrow{\ell} e'$ :

Si estamos explorando una transición nueva  $e \xrightarrow{\ell} e'$ :

Un estado  $s$  es un **nuevo** ganador/perdedor si: sin explorar la última transición no teníamos suficiente información y ahora sí.

Si estamos explorando una transición nueva  $e \xrightarrow{\ell} e'$ :

Un estado  $s$  es un **nuevo** ganador/perdedor si: sin explorar la última transición no teníamos suficiente información y ahora sí.

$s$  solo tiene nueva información si **puede alcanzar** la nueva transición. ( $s$  tiene que ser un antecesor de  $e$ ).

Si estamos explorando una transición nueva  $e \xrightarrow{\ell} e'$ :

Un estado  $s$  es un **nuevo** ganador/perdedor si: sin explorar la última transición no teníamos suficiente información y ahora sí.

$s$  solo tiene nueva información si **puede alcanzar** la nueva transición. ( $s$  tiene que ser un antecesor de  $e$ ).

si no sabemos si  $e'$  gana o pierde, no tenemos información para propagar, porque **la transición nueva va a lo desconocido**.

Como vimos, queremos trazas que visiten **infinitas** veces un estado marcado.

Como vimos, queremos trazas que visiten **infinitas** veces un estado marcado. Una traza infinita en un autómata finito solo puede ocurrir si forma un **ciclo** (loop).

Como vimos, queremos trazas que visiten **infinitas** veces un estado marcado. Una traza infinita en un autómata finito solo puede ocurrir si forma un **ciclo** (loop).

Ese ciclo debe tener un **estado marcado** o previamente **clasificado ganador**.



Como vimos, queremos trazas que visiten **infinitas** veces un estado marcado. Una traza infinita en un autómata finito solo puede ocurrir si forma un **ciclo** (loop).

Ese ciclo debe tener un **estado marcado** o previamente **clasificado ganador**.

Al explorar una nueva transición ( $e \xrightarrow{\ell} e'$ ), en el caso que  $e'$  no esté clasificado, analizamos el ciclo **mas grande** que forma. Si no podemos ganar en ese ciclo, no obtuvimos nuevos ganadores.

Como vimos, queremos trazas que visiten **infinitas** veces un estado marcado. Una traza infinita en un autómata finito solo puede ocurrir si forma un **ciclo** (loop).

Ese ciclo debe tener un **estado marcado** o previamente **clasificado ganador**.

Al explorar una nueva transición ( $e \xrightarrow{\ell} e'$ ), en el caso que  $e'$  no esté clasificado, analizamos el ciclo **mas grande** que forma. Si no podemos ganar en ese ciclo, no obtuvimos nuevos ganadores.

Para ganar el ciclo debe ser **controlablemente cerrado**. Intuición: Si una transición no controlable sale del ciclo, un controlador no puede mantenerse ahí dentro y ganar. Y si por no mantenerse adentro, va a un estado no explorado, **somos pesimistas** y asumimos que pierde.

Descubrimos nuevos estados perdedores cuando **seguro** sabemos que no forman trazas con infinitos estados marcados.

Descubrimos nuevos estados perdedores cuando **seguro** sabemos que no forman trazas con infinitos estados marcados.

Esto es obvio cuando el estado solo tiene la traza vacía. **No puede ir a ningún otro estado.**

Descubrimos nuevos estados perdedores cuando **seguro** sabemos que no forman trazas con infinitos estados marcados.

Esto es obvio cuando el estado solo tiene la traza vacía. **No puede ir a ningún otro estado.**

Más difícil de detectar son los **ciclos sin estados marcados.**

Descubrimos nuevos estados perdedores cuando **seguro** sabemos que no forman trazas con infinitos estados marcados.

Esto es obvio cuando el estado solo tiene la traza vacía. **No puede ir a ningún otro estado.**

Más difícil de detectar son los **ciclos sin estados marcados.**

## caso general

Si en todos los descendientes de un estado  $e$ , no hay ningún **ciclo ganador**, entonces  $e$  tiene que ser perdedor.

Tenemos que chequear **todos** los descendientes, porque siendo **optimistas**, un descendiente desconocido podría ser ganador.

- Clasificamos (ganador/perdedor) cuando estamos seguros.
- Propagamos a los antecesores afectados (si hay información respecto a  $e'$ ).
- Tratamos de obtener nueva información sólo al cerrar loops.

## **Observación:**

Sólo hacemos nuevos cálculos cuando son realmente necesarios.

Nos interesa saber qué tan buena es la eficiencia del algoritmo, en tiempo de cómputo.

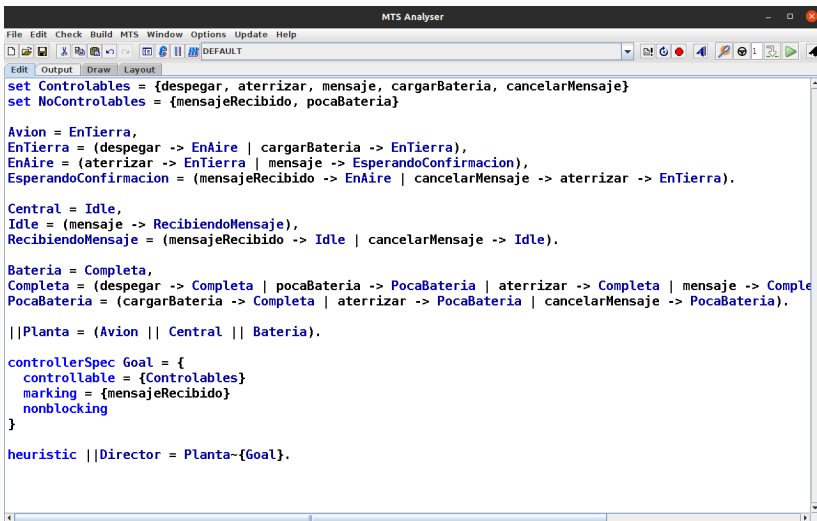
# Implementación y Tests

---



- El LaFHIS, donde hicimos esta tesis, trabaja hace años en MTSA, una herramienta propia para resolver problemas de control con LTS.
- Implementamos el algoritmo en java, agregándolo a las capacidades de MTSA. Esto permitió ejecutar los tests y el benchmark de la próxima sección.

- Para ganar seguridad en nuestro código, y encontrar errores, fuimos armando una batería de tests.
- Con cada error encontrado en la implementación o la especificación del algoritmo, armábamos un nuevo test que detectara ese error, y luego lo arreglábamos.
- Quedaron 49 tests pequeños diseñados a mano para correr rápido y presentar las condiciones más problemáticas para nuestro algoritmo.
- Esta batería de tests fue añadida a las utilizadas por la herramienta como tests de regresión para alertar problemas por futuros cambios en el código.



The screenshot shows the MTS Analyser application window. The title bar reads "MTS Analyser". The menu bar includes "File", "Edit", "Check", "Build", "MTS", "Window", "Options", "Update", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations, editing, and execution. The main text area contains the following code:

```
set Controlables = {despegar, aterrizar, mensaje, cargarBateria, cancelarMensaje}
set NoControlables = {mensajeRecibido, pocaBateria}

Avion = EnTierra,
EnTierra = (despegar -> EnAire | cargarBateria -> EnTierra),
EnAire = (aterrizar -> EnTierra | mensaje -> EsperandoConfirmacion),
EsperandoConfirmacion = (mensajeRecibido -> EnAire | cancelarMensaje -> aterrizar -> EnTierra).

Central = Idle,
Idle = (mensaje -> RecibiendoMensaje),
RecibiendoMensaje = (mensajeRecibido -> Idle | cancelarMensaje -> Idle).

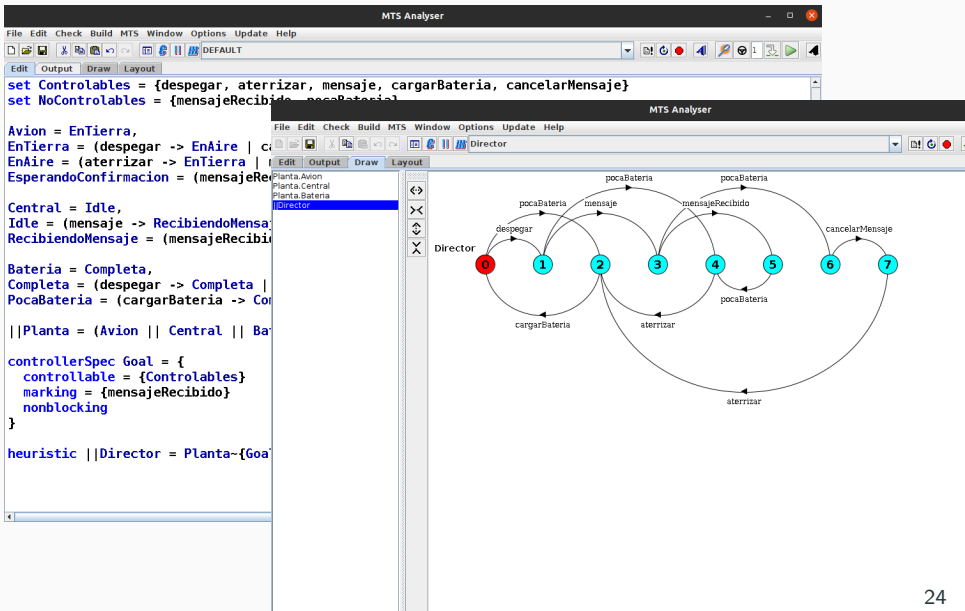
Bateria = Completa,
Completa = (despegar -> Completa | pocaBateria -> PocaBateria | aterrizar -> Completa | mensaje -> Completa),
PocaBateria = (cargarBateria -> Completa | aterrizar -> PocaBateria | cancelarMensaje -> PocaBateria).

||Planta = (Avion || Central || Bateria).

controllerSpec Goal = {
  controllable = {Controlables}
  marking = {mensajeRecibido}
  nonblocking
}

heuristic ||Director = Planta~{Goal}.
```

# Ejemplo de MTSA en uso



The screenshot shows the MTS Analyser application window. The title bar reads "MTS Analyser". The menu bar includes File, Edit, Check, Build, MTS, Window, Options, Update, and Help. Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations and analysis. A tab labeled "DEFAULT" is active. The main editing area has tabs for "Edit", "Output", "Draw", and "Layout". The "Edit" tab contains a state machine specification written in a blue monospaced font. The specification defines states like EnTierra, EnAire, EsperandoConfirmacion, Central, Idle, RecibiendoMensaje, Bateria, Completa, PocaBateria, and Plantas, along with transitions between them based on events like despegar, aterrizar, mensaje, cargarBateria, and cancelarMensaje. It also includes controller specifications for Goal, marking, and nonblocking properties, and a heuristic definition for Director.

```
set Controlables = {despegar, aterrizar, mensaje, cargarBateria, cancelarMensaje}
set NoControlables = {mensajeRecibido, pocaBateria}

Avion = EnTierra,
EnTierra = (despegar -> EnAire | cargarBateria -> EnTierra),
EnAire = (aterrizar -> EnTierra | mensaje -> EsperandoConfirmacion),
EsperandoConfirmacion = (mensajeRecibido -> EnAire | cancelarMensaje -> aterrizar -> EnTierra).

Central = Idle,
Idle = (mensaje -> RecibiendoMensaje),
RecibiendoMensaje = (mensajeRecibido -> Idle | cancelarMensaje -> Idle).

Bateria = Completa,
Completa = (despegar -> Completa | pocaBateria -> PocaBateria | aterrizar -> Completa | mensaje -> Completa),
PocaBateria = (cargarBateria -> Completa | aterrizar -> PocaBateria | cancelarMensaje -> PocaBateria).

||Planta = (Avion || Central || Bateria).

controllerSpec Goal = {
    controllable = {Controlables}
    marking = {mensajeRecibido}
    nonblocking
}

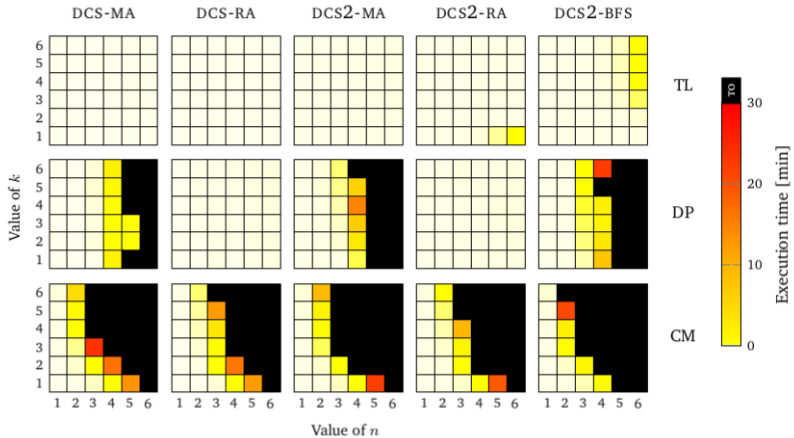
heuristic ||Director = Planta~{Goal}.
```

# Benchmark

---

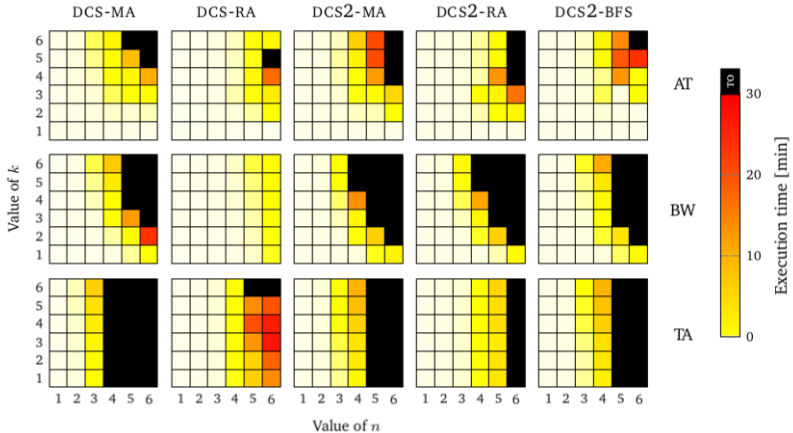
- Para realizar las pruebas de performance usamos el mismo conjunto de problemas utilizado para medir la versión anterior del algoritmo de exploración, recompilados por Daniel Ciolek en su tesis doctoral.
- Es un conjunto de seis tipos de problemas bastante clásicos, cada uno con dos partes parametrizables ( $n$ ,  $k$ ), en función de observar hasta qué tamaño de problema ( $n*k$ ) soporta el algoritmo.
- DCS y DCS2 representan la versión anterior/nueva del algoritmo respectivamente.
- Utilizamos distintas estrategias a la hora de explorar, algunas más complejas (MA, RA) desarrolladas por Ciolek y una simple (BFS). La última fue agregada para obtener una idea de cuánto se puede mejorar cambiando la forma de explorar.

# Performance (TL, DP, CM)



Transfer Line, Dinning Philosophers, Cat and Mouse





Air-Traffic Management, Bidding Workflow, Travel Agency

## Conclusión

---

- Definición del problema

- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)

- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)
- Nuevo algoritmo, parte de su demostración (corrección y completitud)

- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)
- Nuevo algoritmo, parte de su demostración (corrección y completitud)
- Implementación en MTSA

- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)
- Nuevo algoritmo, parte de su demostración (corrección y completitud)
- Implementación en MTSA
- Batería de tests, TDD

- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)
- Nuevo algoritmo, parte de su demostración (corrección y completitud)
- Implementación en MTSA
- Batería de tests, TDD
- Benchmark y resultados versus la versión anterior. No se perdió eficiencia, teniendo en cuenta la confianza ganada en correctitud. En la tesis se encuentran además resultados de benchmark versus otras herramientas del estado del arte.



- Definición del problema
- Soluciones existentes y la idea “nueva” (exploración on-the-fly)
- Nuevo algoritmo, parte de su demostración (corrección y completitud)
- Implementación en MTSA
- Batería de tests, TDD
- Benchmark y resultados versus la versión anterior. No se perdió eficiencia, teniendo en cuenta la confianza ganada en correctitud. En la tesis se encuentran además resultados de benchmark versus otras herramientas del estado del arte.

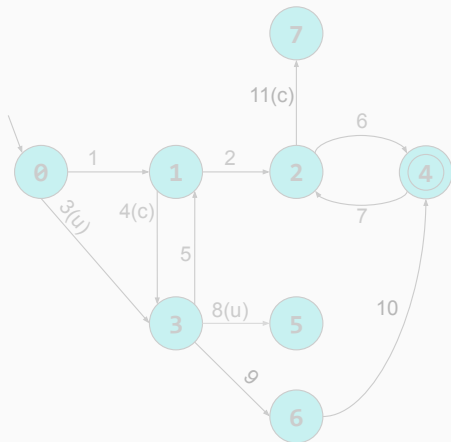
La idea de exploración on-the-fly, y gran parte de la estructura del algoritmo, se puede aplicar a otro tipo de problemas, ej: GR1 (próximamente).

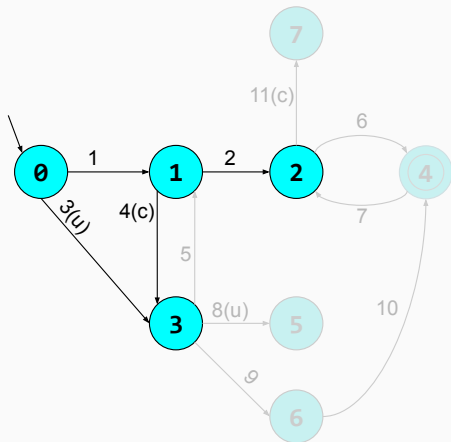


# ¿Preguntas?

Gracias, vuelvan pronto  
(para ver GR1)

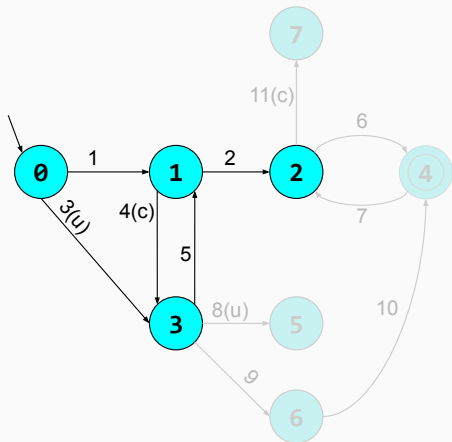




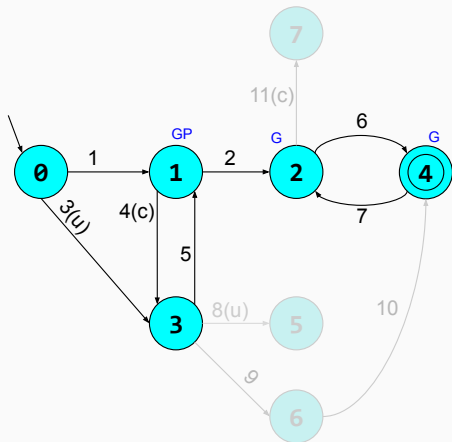


Empieza por el estado **0** y mira los pasos:

- $0 \xrightarrow{1} 1$
- $1 \xrightarrow{2} 2$
- $0 \xrightarrow{3(u)} 3$
- $1 \xrightarrow{4(c)} 3$



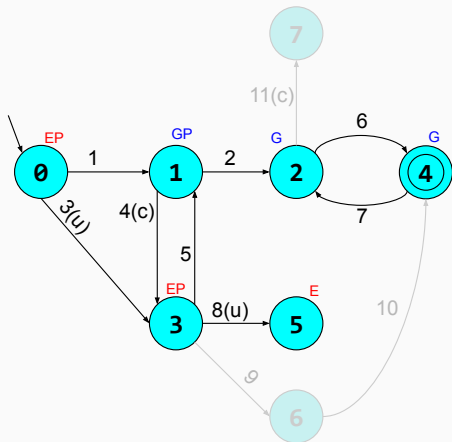
Explora el paso  $3 \xrightarrow{5} 1$   
Cierra loop pero todavía no  
hay estado marcado (u ob-  
jetivo).



Mira los pasos:

- $2 \xrightarrow{6} 4$
- $4 \xrightarrow{7} 2$

Cierra loop que incluye el estado marcado **4**, encontramos una parte ganadora, propagamos esa información.



Explora  $3 \xrightarrow{8} 5$ , encuentra que **5** es perdedor y propaga la información. Llega al inicial entonces concluye que no hay controlador.