



# I FORO TÉCNICO DE LA CIVIL UAVs INITIATIVE

Lugo, 6 y 7 de Marzo de 2019



# Algoritmos que apagan incendios: gestión eficiente de recursos aéreos

**M<sup>a</sup> José Ginzo Villamayor**  
**Investigadora USC - ITMATI**

---

## ESQUEMA

---



- **ITMATI**
- **MOTIVACIÓN**
- **ALGORITMO DE GESTIÓN DE RECURSOS**
- **SOLUCIÓN APORTADA**



## ITMATI

- Un centro para favorecer la transferencia y la innovación.
- Consorcio público de las 3 universidades gallegas.
- Misión principal: aumentar la competitividad de las empresas e industrias a través de la transferencia de tecnología matemática al sistema productivo. Generar innovación y crear valor añadido para las empresas.

- ÁREAS DE APLICACIÓN

- SIMULACIÓN NUMÉRICA
- ESTADÍSTICA Y BIG DATA
- OPTIMIZACIÓN



Universidade de Vigo

- PERSONAL

- 38 Investigadores adscritos
- 9 Investigadores colaboradores
- 31 Personal propio:
  - 23 Investigadores
  - 1 Gerente
  - 2 Gestores de innovación y transferencia
  - 2 Traductores de tecnología
  - 1 Técnico administrativo
  - 2 Alumnos en prácticas



## MOTIVACIÓN

- Algoritmos relacionados con incendios: velocidades de avance de frentes de llama, zonificación de frentes de llama con criterios de ingeniería de incendios, etc.
- Asesoramiento y apoyo a socios en el tratamiento de datos mediante Técnicas Estadísticas Avanzadas.
- Tratamiento de grandes volúmenes de datos (Big Data) para el desarrollo de algoritmos de aprendizaje.

■ B1. GESTIÓN DE RECURSOS

■ B2. ANTICOLISIÓN

■ B3. INVENTARIO FORESTAL

■ B4. TRATAMIENTO DE DATOS DE TEMPERATURA

**Algoritmos matemáticos para la seguridad en Tierra y Aire**





# Algoritmos que apagan incendios: gestión eficiente de recursos aéreos

**Ana Belén Buide Carballosa,  
Manuel Antonio Novo Pérez y  
M<sup>a</sup> José Ginzo Villamayor**  
**Investigadores de ITMATI**

## ¿Cómo se realiza la movilización de medios aéreos en un incendio en Galicia (PLADIGA 2018)?

- Comunicación continua entre los diferentes Centros de Coordinación Operativos. Cada uno con una operativa establecida.
- El/la **Directora/a Técnico/a de Extinción (DTE)** es el máximo responsable de la dirección de extinción de un incendio.
  - Realiza una evaluación permanente del incendio y como consecuencia de esa evaluación realiza una propuesta del índice de gravedad potencial del fuego y de los medios que se han de utilizar o las acciones que se ejecutarán para la extinción del incendio.
  - Es el encargado de **solicitar los medios** necesarios para las labores de extinción.
  - Los medios de extinción intervienen en el incendio, siempre coordinados, dirigidos y bajo sus órdenes.

## Introducción al problema

- Dependiendo del comportamiento y la evolución previsible del fuego durante un incendio forestal es necesario movilizar medios terrestres y/o medios aéreos.
- La intervención de **medios aéreos** está sujeta a una serie de **restricciones**:
  - **Tiempo de vuelo de la tripulación**: no puede superar el tiempo máximo de vuelo.
    - Cada tripulación puede volar 8 horas en ciclos de 2 horas.
    - Entre cada ciclo descansos de 40 minutos mínimo.
  - **Horario de las bases** (se modifica diariamente).

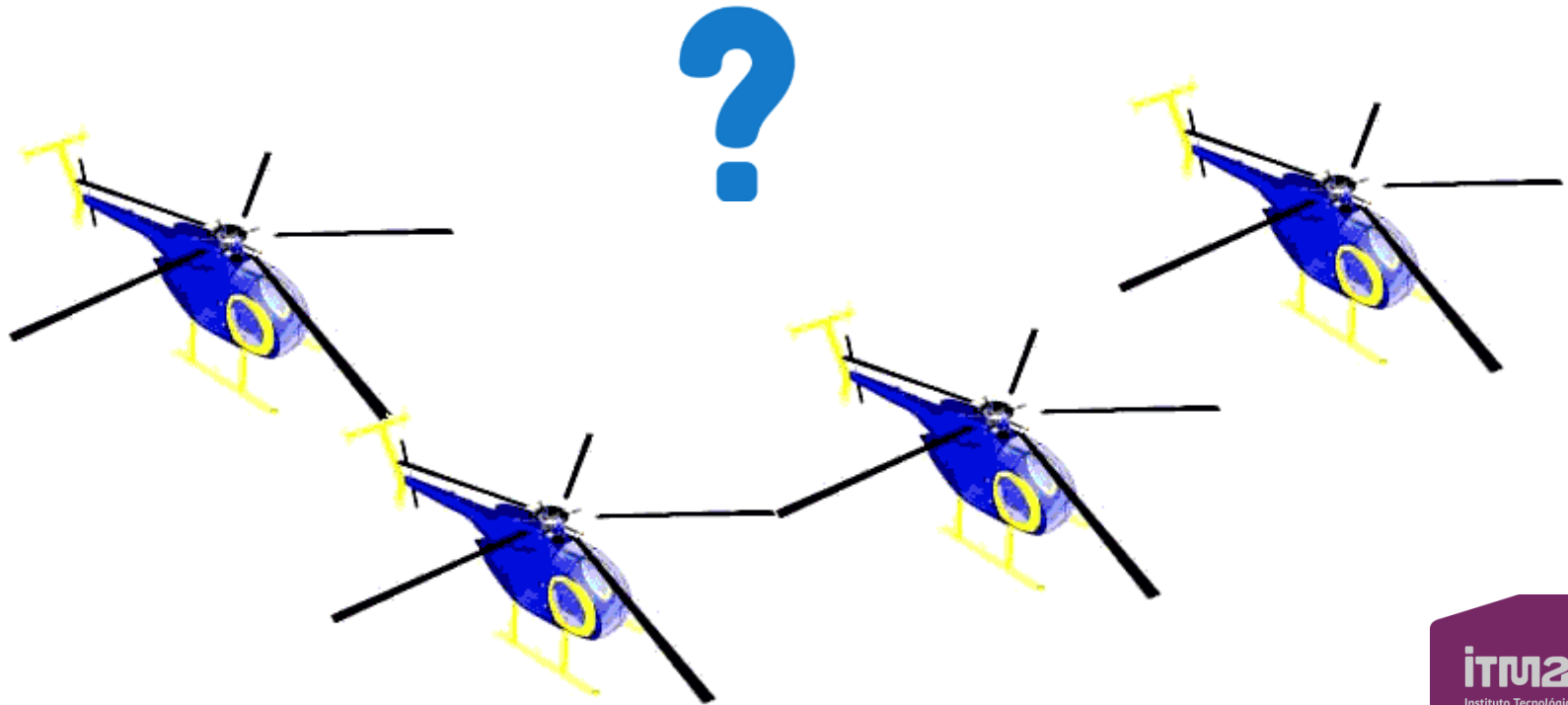


## Introducción al problema

- Necesidades del servicio:
  - Es muy importante que no haya momentos del incendio en el que no estén trabajando aeronaves (**Tiempos secos**).
  - Según el incendio, puede ser necesaria la presencia de, como mínimo, una cierta cantidad de aeronaves (**Nivel de refuerzo**), que puede variar con el tiempo.
  - No todas las aeronaves son iguales, por lo que se puede preferir que una aeronave actúe en un cierto momento.
- La regulación referente a los horarios de las aeronaves es una gran limitación a esto, por lo que es fundamental la correcta gestión de los medios aéreos.

## PROBLEMA

- Obtener la planificación del vuelo de los medios aéreos solicitados por el DTE teniendo en cuenta las restricciones de intervención y las necesidades de servicio, evitando tiempos secos.



From: <http://www.gifsanimados.org/cat-helicopteros-72.htm>

### SOLUCIÓN MATEMÁTICA

- La solución consiste en un **problema de programación lineal y entera**.
- Las restricciones vendrán dadas por la regulación horaria de los medios aéreos y por las necesidades del servicio.
- De esta forma el problema de planificación del horario de las aeronaves bastará con encontrar una **solución factible**.
- Esto puede ser imposible, finalmente se busca minimizar el incumplimiento de las necesidades del servicio, respetando la regulación sobre los horarios de los medios aéreos.

## RETO TECNOLÓGICO

- **Desarrollar un entorno web que se pueda ejecutar en los dispositivos que emplea el DTE (ordenador, tablet,...), que ayude en su trabajo y en la planificación eficiente de los medios aéreos requeridos en la extinción de un incendio forestal.**



## TECNOLOGÍAS



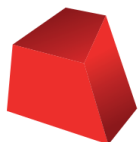
**R** es un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico. Es uno de los lenguajes más utilizados en investigación por la comunidad estadística. A esto contribuye la posibilidad de cargar bibliotecas o paquetes con numerosas funcionalidades.

## ENTORNO DE DESARROLLO INTEGRADO (IDE)



**Rstudio** es un entorno de desarrollo integrado para R donde se creará la aplicación. Ofrece un gran potencial para el manejo de datos y permite crear aplicaciones web con facilidad.

## SOLVER



**GUROBI**  
OPTIMIZATION

**Gurobi** es un solver de optimización.

## APLICACIÓN WEB SHINY/R



Para el desarrollo de la aplicación web se hará uso de **Shiny**, un paquete de R para crear aplicaciones web interactivas que permiten al usuario utilizar sus datos sin cambiar código.



## Datos de entrada: Relativos a los recursos

|   | A  | B         | C     | D    | E    | F       | G       | H       | I       | J       | K       | L |
|---|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|
| 1 | ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |   |
| 2 | 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 3 | 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 4 | 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 5 | 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 6 | 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 7 | 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 8 | 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |   |
| 9 |    |           |       |      |      |         |         |         |         |         |         |   |

|               |   |
|---------------|---|
| <b>ID</b>     | Identificador de la aeronave.   |
| <b>MODELO</b> | Modelo de la aeronave.  |
| <b>ALIAS</b>  | Alias de la aeronave.   |
| <b>BASE</b>   | Identificación de la base asociada a la aeronave.                         |
| <b>CAP</b>    | Capacidad (en litros) de la aeronave.                                     |
| <b>TV</b>     | Tiempo de vuelo que puede realizar la aeronave en un día.                 |
| <b>TA</b>     | Tiempo que lleva volando la aeronave desde su último descanso.            |
| <b>TD</b>     | Tiempo de descanso que debe realizar la aeronave.                         |
| <b>TSD</b>    | Tiempo que puede trabajar de forma consecutiva la aeronave sin descansar. |
| <b>TCD</b>    | Tiempo que lleva descansando la aeronave, en caso de estar descansando.   |
| <b>TVT</b>    | Tiempo de vuelo que lleva la aeronave ese día.                            |

## Datos de entrada: Relativos a las bases

|   | A  | B       | C        | D |
|---|----|---------|----------|---|
| 1 | ID | HA      | HC       |   |
| 2 | 1  | 8:00:00 | 20:00:00 |   |
| 3 |    |         |          |   |

ID      Identificador de la base.  
HA      Hora de apertura de la base.  
HC      Hora de cierre de la base.

## Datos de entrada: Relativos a las franjas horarias

|   | A        | B        | C   | D          | E |
|---|----------|----------|-----|------------|---|
| 1 | INICIO   | FIN      | NRF | PREF_ALIAS |   |
| 2 | 8:00:00  | 12:00:00 | 3   | 1          |   |
| 3 | 12:00:00 | 16:00:00 | 2   | 2          |   |
| 4 | 16:00:00 | 18:00:00 | 1   | 3          |   |
| 5 |          |          |     |            |   |

**INICIO** Hora de inicio de la franja.  
**FIN** Hora de finalización de la franja.  
**NRF** Nivel de refuerzo n la franja.  
**PREF\_ALIAS** Identificador de las aeronaves con preferencia en la franja.



## TEST 1 - Entrada

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

## TEST 1 - Salida

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

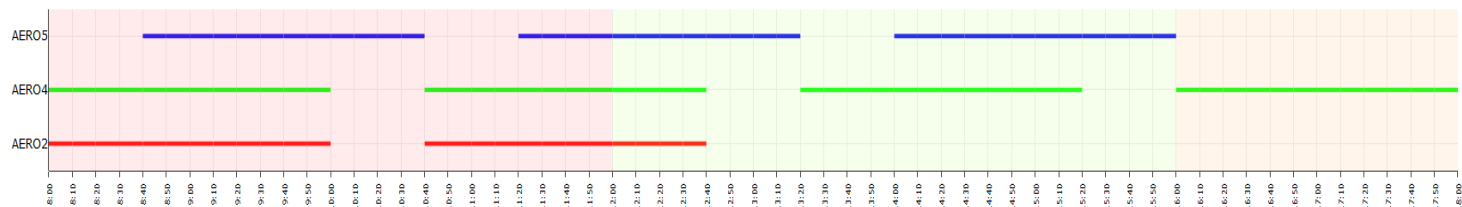
| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

Ejecutar

#### Planificación medios aéreos



16:00-18:00  
12:00-16:00  
8:00-12:00

## TEST 2 - Entrada

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

## TEST 2 - Salida

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

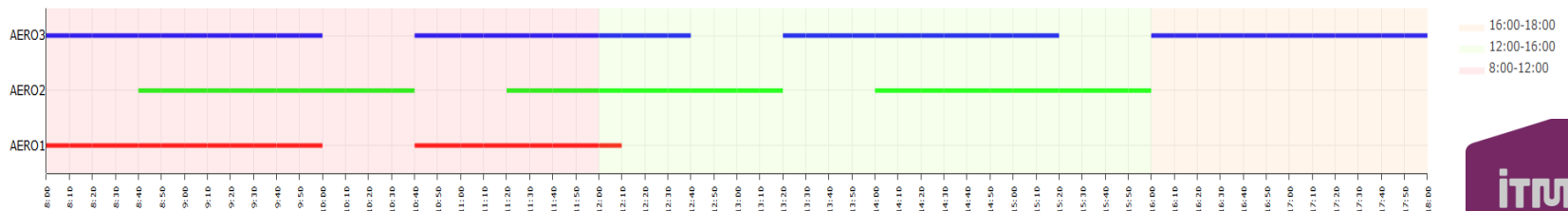
| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

Ejecutar

#### Planificación medios aéreos



## TEST 3 - Entrada

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

## TEST 3 - Salida

### Optimización de medios aéreos

#### Recursos

Show  entries

Search:

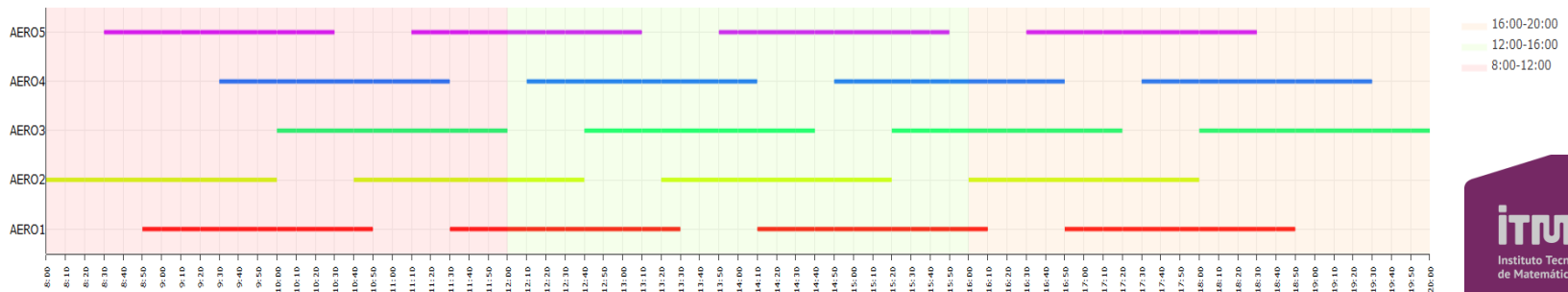
| ID | MODELO    | ALIAS | BASE | CAP  | TV      | TA      | TD      | TSD     | TCD     | TVT     |
|----|-----------|-------|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | B-412     | AERO1 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 2  | B-412     | AERO2 | 1    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 3  | AS-350-B3 | AERO3 | 1    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 4  | B-412     | AERO4 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 5  | AS-350-B3 | AERO5 | 2    | 910  | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 6  | AB-412    | AERO6 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |
| 7  | AS-355N   | AERO7 | 2    | 1200 | 8:00:00 | 0:00:00 | 0:40:00 | 2:00:00 | 0:00:00 | 0:00:00 |

Showing 1 to 7 of 7 entries

Previous  Next

Ejecutar

Planificación medios aéreos



---

## Líneas futuras

---

- Contemplar en la lógica del algoritmo los **litros de agua por descarga**.
- Añadir más restricciones al problema.
- Continuar con el desarrollo de la aplicación.
- ...

