

Modelado y Simulación de aterrizajes en AEP



Trabajo Práctico 1
Aplicaciones Computacionales en Negocios

Andrade, Puyol, Rodríguez, Tejera

Datos a saber

Horario

- 6:00 a 00:00 (18 horas)

Buffer

- Distancia de seguridad: 4 minutos.
- Distancia en caso de reajuste: 5 minutos.
- Si $<4'$ → baja la velocidad (-20 kt vs adelante).
- Si $<v_{\min}$ → holding a 200 kt → buscar hueco.
- Reinserción: gap ≥ 10 minutos y >5 mn de la pista.

Velocidad según tramo

- 100 mn: 500–300 kt
- 100–50 mn: 300–250 kt
- 50–15 mn: 250–200 kt
- 15–5 mn: 200–150 kt
- 5–0 mn: 150–120 kt

Velocidad de reinserción

- 200 - 150 kt

1 milla náutica (mn) = 1.852 km.

1 nudo (kt) = 1.852 km/h.

Presentación del problema y elecciones de modelado

Promedio de aterrizajes diarios en AEP: 175 \rightarrow ~ 7 por hora

Simulación generada como proceso de Poisson con tasa λ , y $\Delta t = 1/60$

Velocidad modelada según rangos establecidos y restricciones de distancia entre aviones

Reposición en la cola de aviones respetando buffer de 5 minutos el avión delante y detrás

Objetivos

Estimar métricas: delay promedio, proporción de desvíos a MVD, y congestión promedio

Analizar el cambio en las métricas frente a distintas tasas de arribo.

Analizar el cambio en las métricas frente a eventos inesperados (cierre de AEP, rebote de aviones).

Proponer cambios que mejoren las métricas de performance de AEP.

Pseudocódigos

Algorithm 1 Simulación

```
1: function SIMULATE
2:   Set results  $\leftarrow \{ \}$ 
3:   for  $i = 1 \rightarrow N\_ITERS$  do
4:     Set now  $\leftarrow 6 : 00$  AM
5:     Set  $t \leftarrow 0$ 
6:     Set all_planes, incoming, repositioning  $\leftarrow [ ], [ ], [ ]$ 
7:     while  $t < \text{SIMULATION\_TIME}$  do
8:        $u \sim U[0, 1]$ 
9:       if  $u < \lambda$  then
10:        Create Plane  $p$ 
11:        Agregar  $p$  a all_planes e incoming
12:       end if
13:       for Plane  $p$  in all_planes do
14:         if  $p.\text{status}$  no es landed ni diverted then
15:            $p.\text{tick}()$ 
16:            $p.\text{update}()$ 
17:         end if
18:       end for
19:        $t \leftarrow t + 1$  minuto
20:     end while
21:     Actualizar results
22:   end for
23:   return results
24: end function
```

Pseudocódigos

Algorithm 2 Plane.tick()

```
1: function TICK(now, airport_open)
2:   Avanzar posición según velocidad y dirección
3:   if posición  $\leq 0$  then
4:     if AEP cerrado then
5:       Desviar el avión (diverted)
6:     else if Interrupción de aterrizaje then
7:       Entrar en cola de reposicionamiento (bounced)
8:     else
9:       Aterrizaje satisfactorio (landed)
10:    end if
11:    Actualizar historial del avión return
12:  end if
13:  if Moviéndose hacia AEP then
14:    Actualizar rango de velocidad
15:  end if
16:  Actualizar estado (on-time / delayed)
17:  Actualizar historial del avión
18: end function
```

Algorithm 3 Plane.update()

```
1: function UPDATE(incoming, repositioning, idx)
2:   if status = diverted then
3:     return action: divert
4:   else if status = bounced then
5:     Cambiar a repositioning, return
6:   else if landed then
7:     return action: none
8:   end if
9:   if avión reposicionándose then ▷ Alejándose de AEP
10:    if posición > 100 mn then return action. divert
11:    end if
12:    Buscar hueco en incoming
13:    if no hay hueco then
14:      Mantener en reposición (posible desvío)
15:    else
16:      Reintegrar avión en incoming
17:    end if
18:  else ▷ Moviéndose hacia AEP
19:    Calcular buffer con el siguiente avión
20:    if buffer < MIN.THRESHOLD then
21:      Reducir velocidad
22:      if nueva velocidad < mínima then
23:        Pasar a reposición
24:      end if
25:    else
26:      Mantener velocidad máxima permitida
27:    end if
28:  end if
29:  return action y status actual
30: end function
```

Probabilidad de +5 aviones en una hora*

Parámetros de la simulación:

- Número de simulaciones: 20,000
- Lambda (λ): $1/60 \approx 0.016$
- Parámetros default respecto a velocidades, buffers, rangos de distancia, etc.

Estimación mediante simulación de Monte Carlo:

p = Probabilidad de que lleguen 5 o más aviones en 1 hora

$S_{i,j}$ = Cantidad de aviones que llegan en la j -ésima hora de la i -ésima simulación

$$\hat{p} = \frac{1}{20,000} \sum_{i=1}^{20,000} \sum_{j=1}^{18} \mathbb{1}_{\{S_{i,j} \geq 5\}}$$

Probabilidad de +5 aviones en una hora (Ejercicio 3)

Resultados:

- P estimado: 0.00336
- Error de estimación: 0.013

Resultado analítico

$$X = \begin{cases} 1 & \text{si arribó un avión en un minuto} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$$X \sim \text{Be}\left(\frac{1}{60}\right)$$

S = "cantidad de aviones que llegan en una hora"

$$S = \sum_{i=1}^{60} X_i \sim \text{Bin}\left(60, \frac{1}{60}\right)$$

$$P(S \geq 5) = 1 - P(S < 5) = 0.003283$$

Experimentación*

Parámetros generales para los experimentos 1, 2, y 3:

- Número de simulaciones: 20,000
- Lambdas (λ): [0.02, 0.1, 0.2, 0.5, 1]
- Parámetros default respecto a velocidades, buffers, rangos de distancia, etc.

Parámetros extra para el experimento 2:

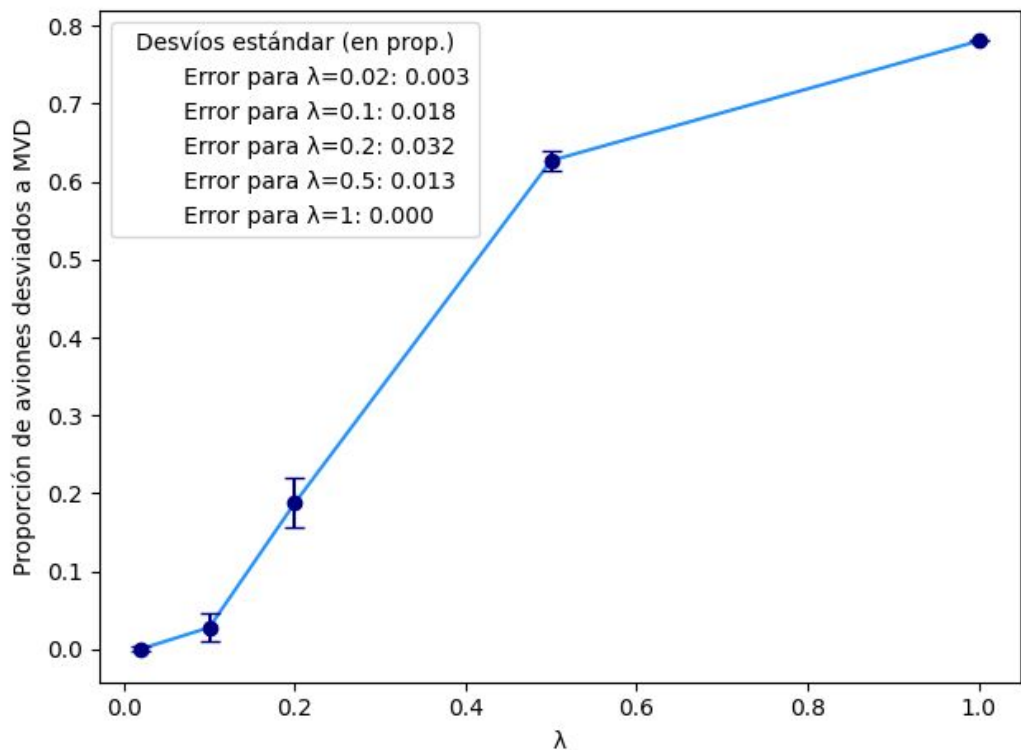
- Probabilidad de rebote: $1/10 \approx 0.1$

Parámetros extra para el experimento 3:

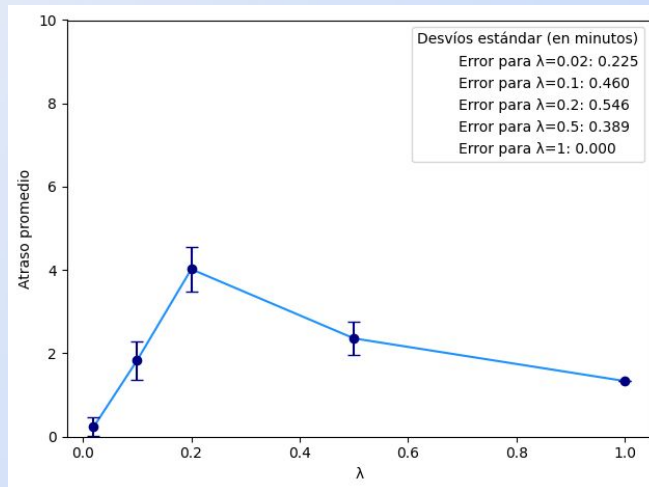
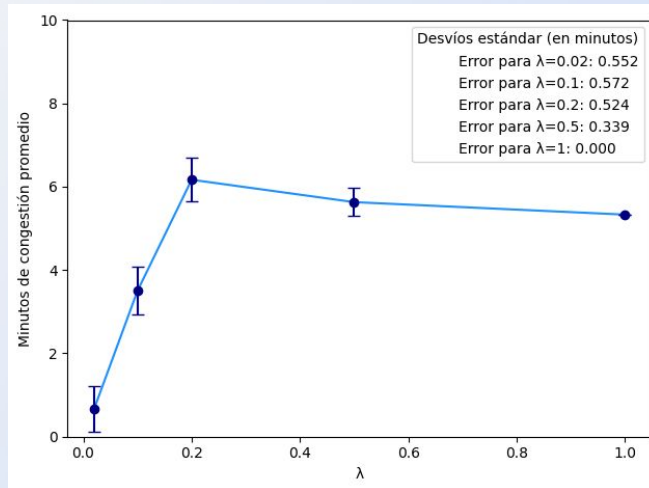
- Horario de cierre: Minuto sampleado al azar de los 1080 minutos de la simulación

* (Ejercicios 4, 5 y 6)

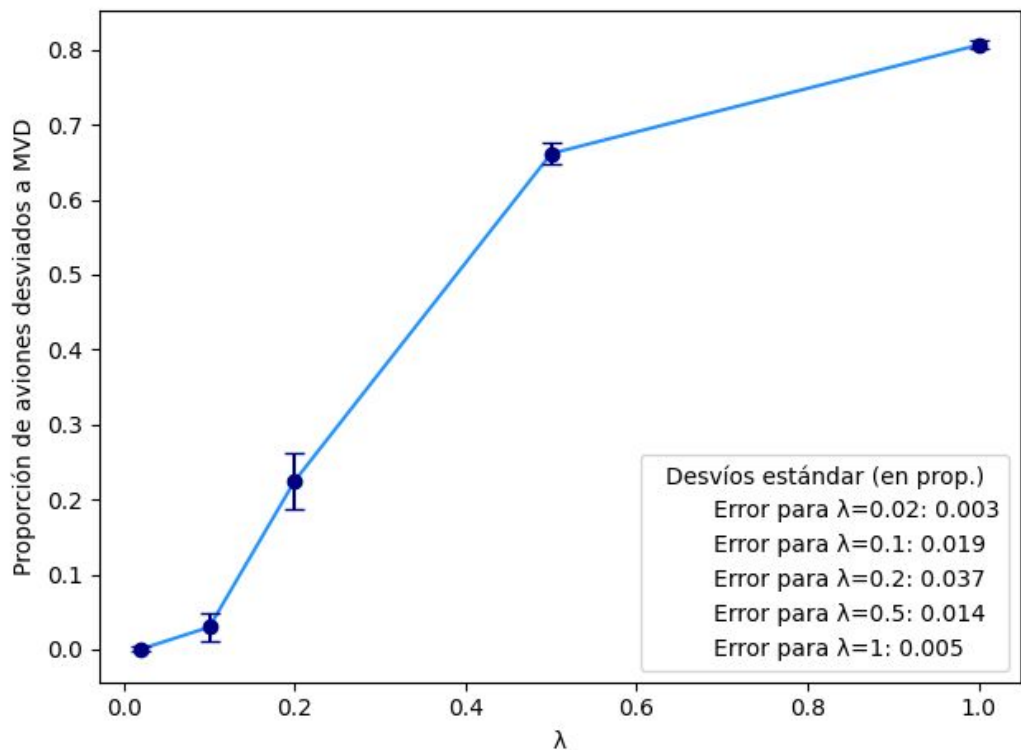
Experimento 1*



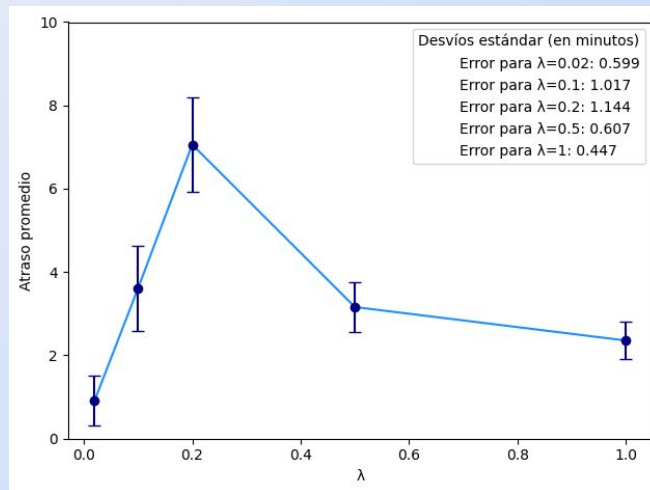
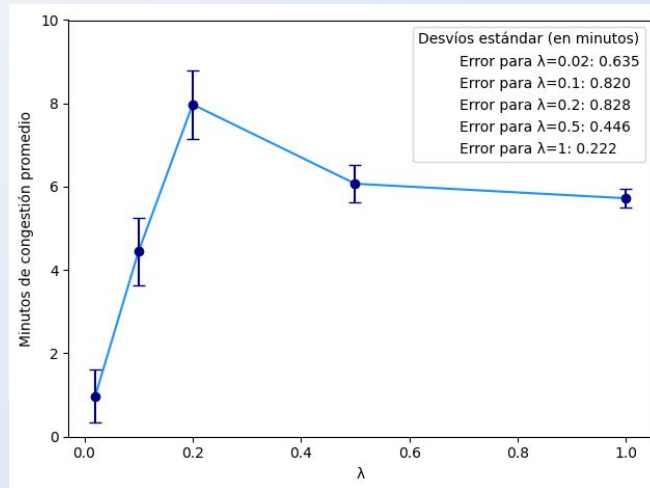
*(Ejercicio 4: Simulación del sistema de arribos con λ variado)



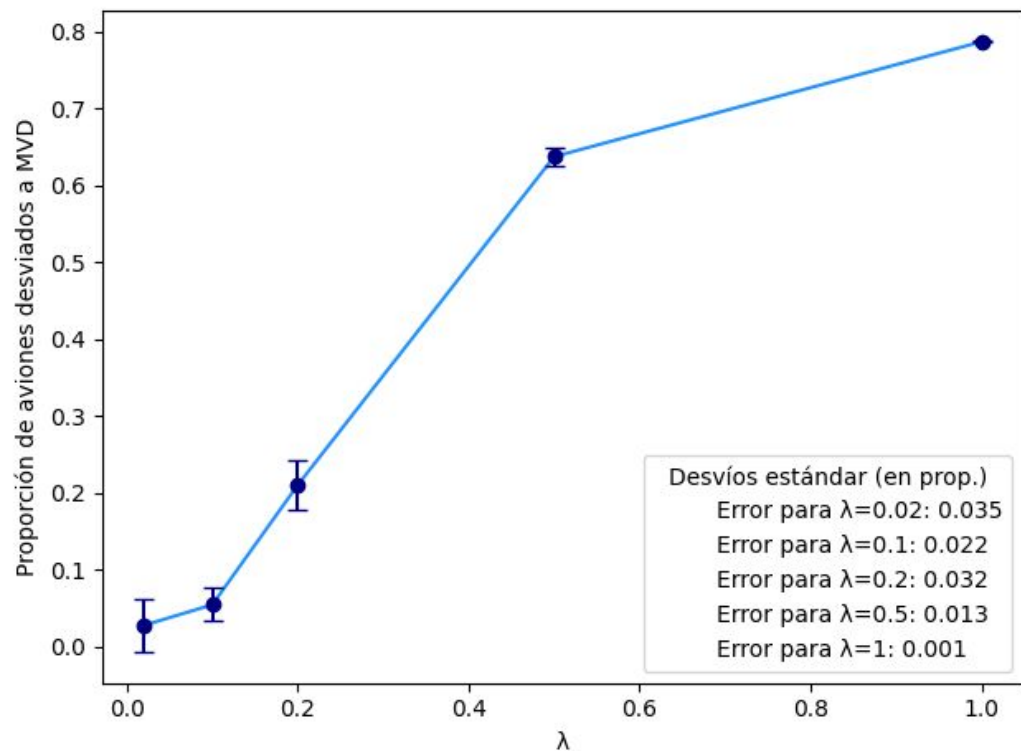
Experimento 2*



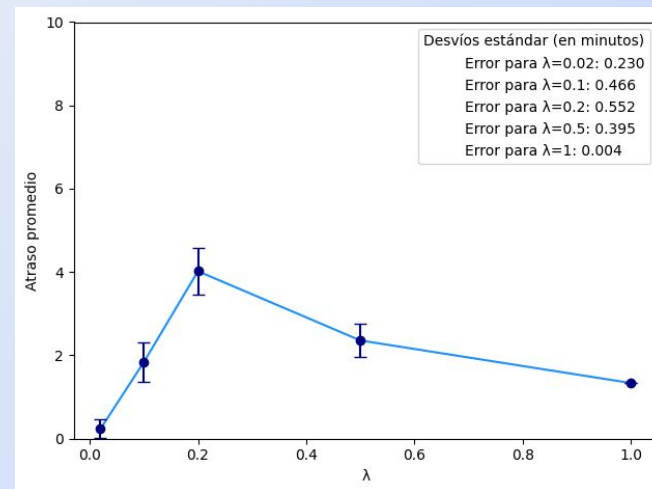
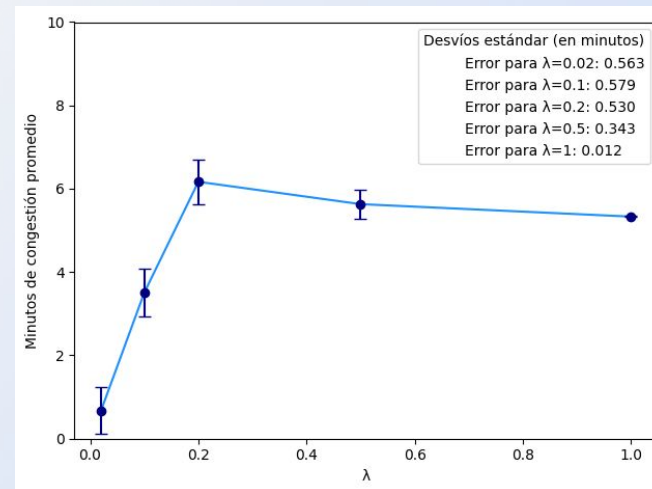
*(Ejercicio 5: El avión interrumpe su aterrizaje con $p = 1/10$)



Experimento 3*



*(Ejercicio 6: Tormenta sorpresiva cierra AEP por 30min)



Cambios en las políticas*

Baseline: Modelo con los parámetros por defecto establecidos por el enunciado

Modelo A: Disminución en los buffers de separación de 4 a 3 y de 5 a 4 minutos

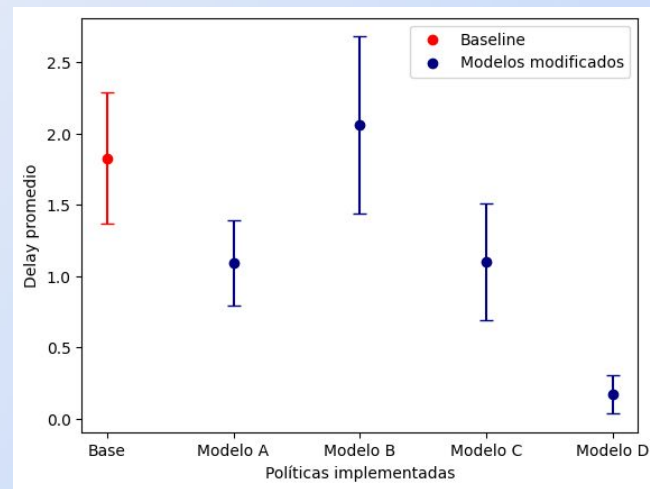
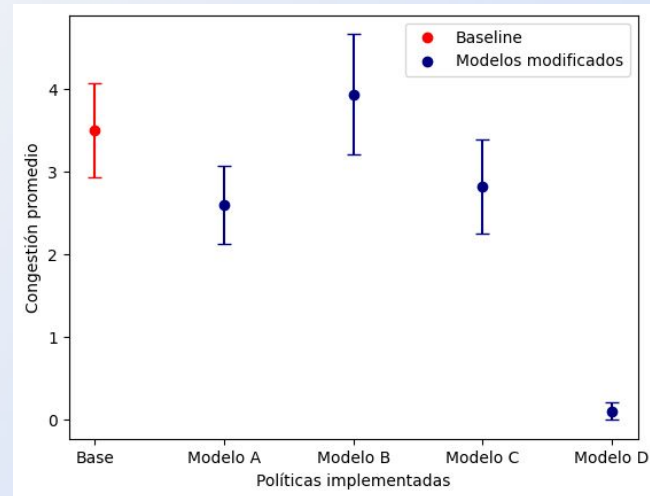
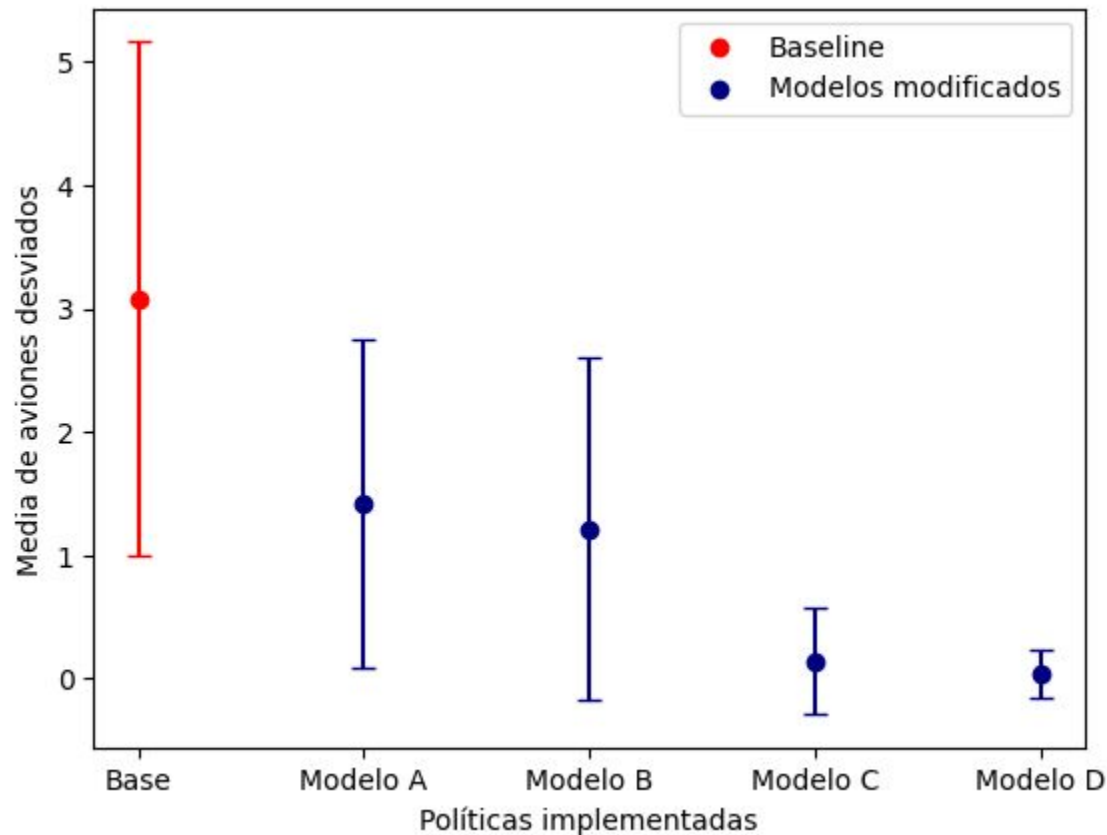
Modelo B: Disminución de la velocidad de ajuste de 20 nudos a 10 nudos

Modelo C: Combinación de políticas del modelo A y modelo B

Modelo D: Cambio en la forma de medir los buffers de separación según normas de la ICAO

*(Ejercicio 7 y Bonus)

Resultados





Conclusiones.