

Optimización de trayectorias bajo incertidumbre con Python

Daniel González Arribas

Department of Bioengineering and Aerospace Engineering
Universidad Carlos III de Madrid

Python Madrid Meetup - Junio 2016

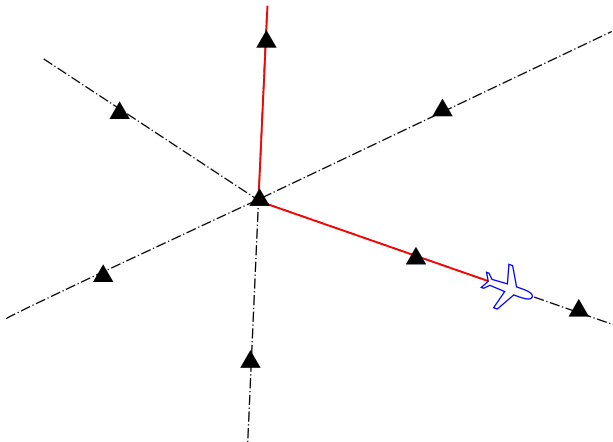
Índice

- 1 **Introducción**
 - ATM: pasado y futuro
 - Incertidumbre en TBO
- 2 **Metodología**
 - Control óptimo
 - EPS
 - Optimización miembro a miembro
 - Optimización robusta
- 3 **Python**
 - Librerías
- 4 **Conclusiones**
 - Comentarios finales

Table of contents

- 1 **Introducción**
 - ATM: pasado y futuro
 - Incertidumbre en TBO
- 2 Metodología
 - Control óptimo
 - EPS
 - Optimización miembro a miembro
 - Optimización robusta
- 3 Python
 - Librerías
- 4 Conclusiones
 - Comentarios finales

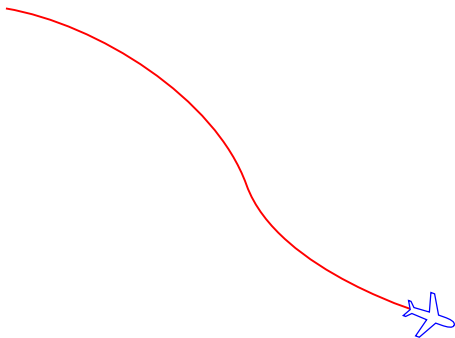
Navegación aérea hasta hoy



SESAR / NextGEN

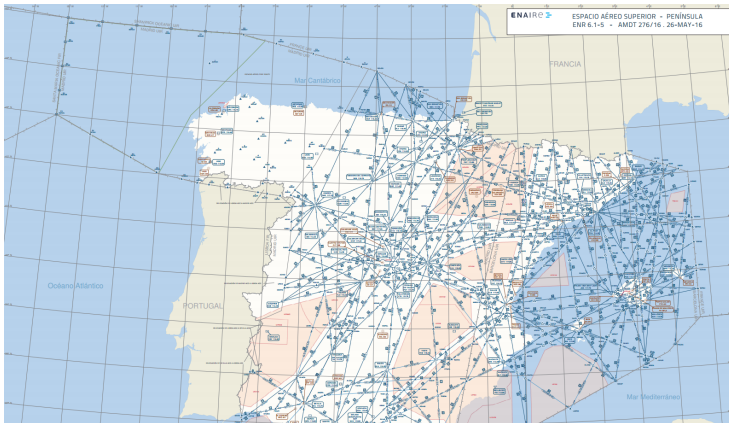
- 1999: SES (Single European Sky)
- 2004: NextGen
- 2008: SES II
- 2008: SESAR

Trajectory-Based Operations

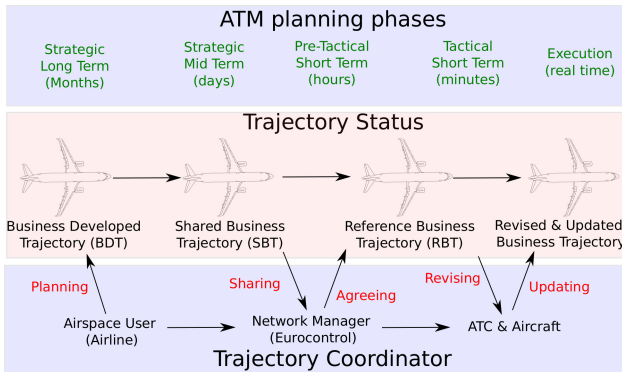


ATM: pasado y futuro

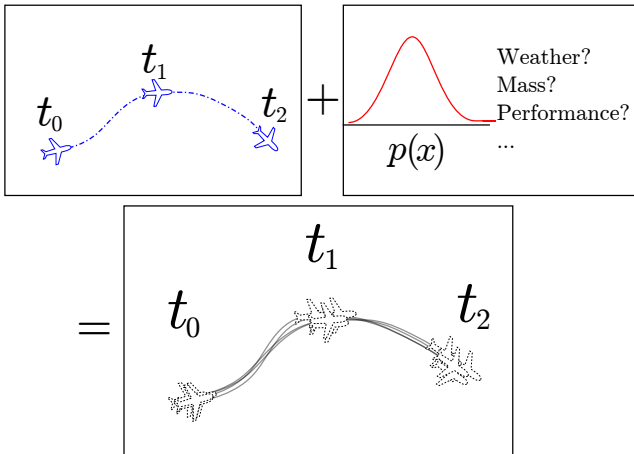
De espacio aéreo fijo a free routing



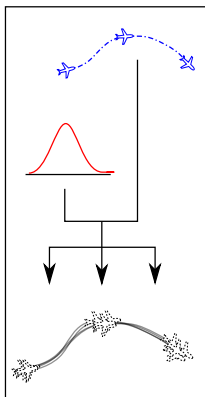
Proceso colaborativo en TBO



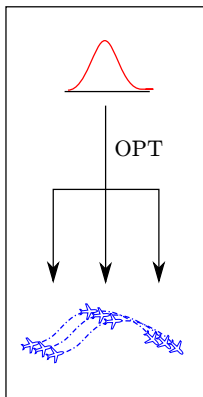
Impacto de la incertidumbre



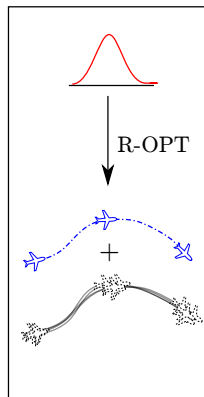
Hacia la planificación robusta



Step 1



Step 2



Step 3

Table of contents

- 1 Introducción
 - ATM: pasado y futuro
 - Incertidumbre en TBO
- 2 Metodología
 - Control óptimo
 - EPS
 - Optimización miembro a miembro
 - Optimización robusta
- 3 Python
 - Librerías
- 4 Conclusiones
 - Comentarios finales

Control óptimo: el problema

- Ec. diferenciales: $\dot{x} = f(x, u, t)$
- Restricciones: $g_L \leq g(x, u, t) \leq g_U$
- Objetivo: $\min J = \Phi(x_f, t_f) + \int_{t_0}^{t_f} \mathcal{L}(x, u, t) dt$
- Condiciones de frontera: $\Psi(x_0, t_0, x_f, t_f) = 0$

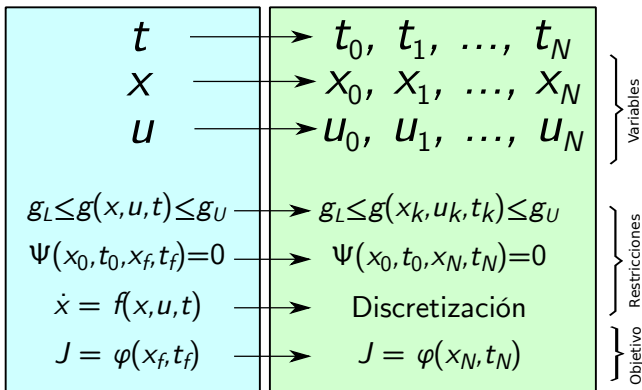
Control óptimo: métodos numéricos

- Programación dinámica: solucionar una EDP complicada (Hamilton-Jacobi-Bellman)
- Métodos indirectos: solucionar un problema de valores de frontera (condiciones necesarias: Pontryagin)
- Métodos directos: solucionar un problema de optimización no-lineal

Control óptimo: métodos directos

OCP

NLP



¿Por qué usar pronósticos no-deterministas?

Las previsiones meteorológicas tienen incertidumbre:

- 1 Incertidumbre en las condiciones iniciales
- 2 Parametrizaciones / modelización
- 3 Error numérico y limitaciones computacionales

Amplificado por una dinámica compleja y caótica

Una predicción determinista única contiene información limitada

¿Por qué usar pronósticos no-deterministas?

Las previsiones meteorológicas tienen incertidumbre:

- 1 Incertidumbre en las condiciones iniciales
- 2 Parametrizaciones / modelización
- 3 Error numérico y limitaciones computacionales

Amplificado por una dinámica compleja y caótica

Una predicción determinista única contiene información limitada

¿Por qué usar pronósticos no-deterministas?

Las previsiones meteorológicas tienen incertidumbre:

- 1 Incertidumbre en las condiciones iniciales
- 2 Parametrizaciones / modelización
- 3 Error numérico y limitaciones computacionales

Amplificado por una dinámica compleja y caótica

Una predicción determinista única contiene información limitada

Ensemble Prediction Systems (EPS)

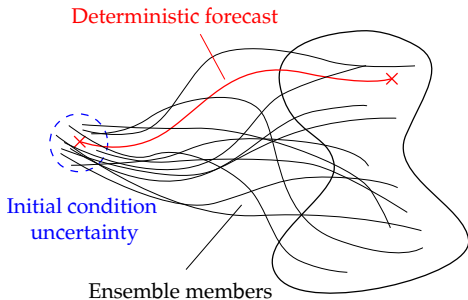


Figura: Propagación de la incertidumbre

Ejemplo

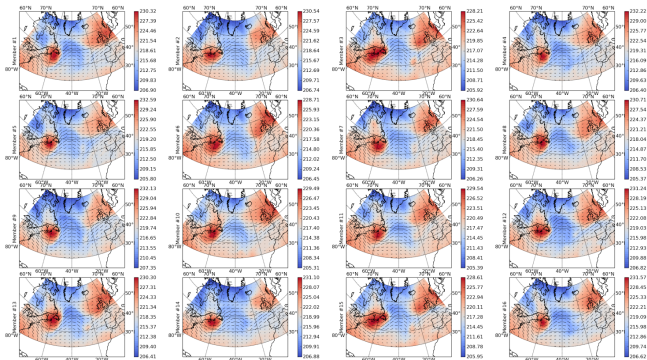
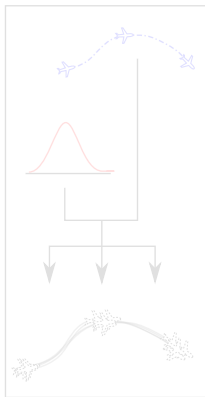
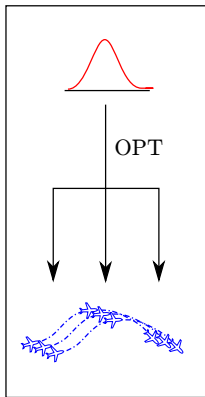


Figura: PEARP ensemble a 250 hPa

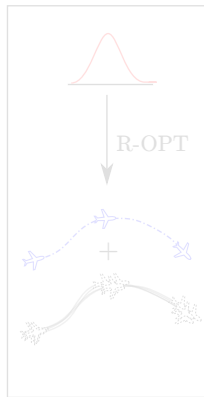
Optimización por miembro



Step 1



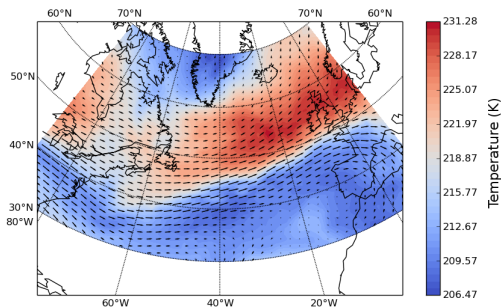
Step 2



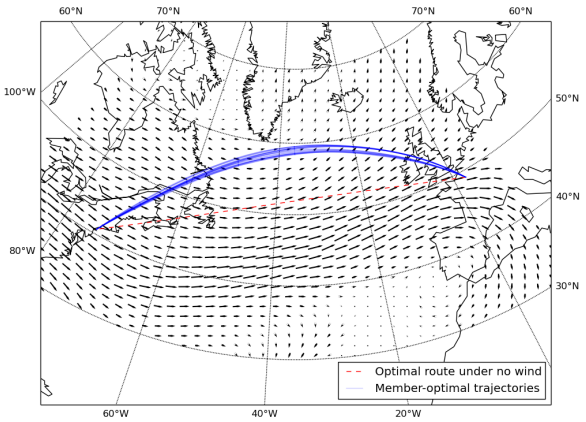
Step 3

Optimización por miembro

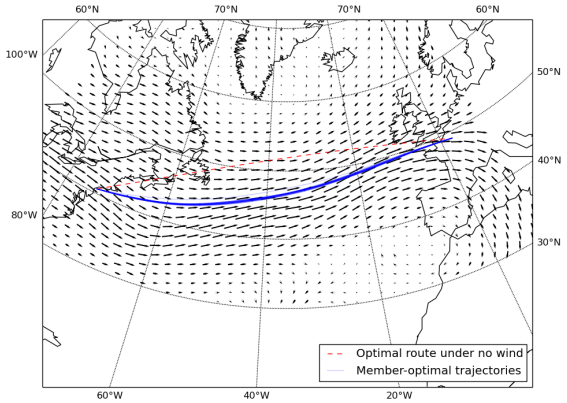
- A330 entre París y Nueva York a FL360
- 1 de marzo, 2015, 6 horas de lead time, ensemble PEARP
- Fase de crucero



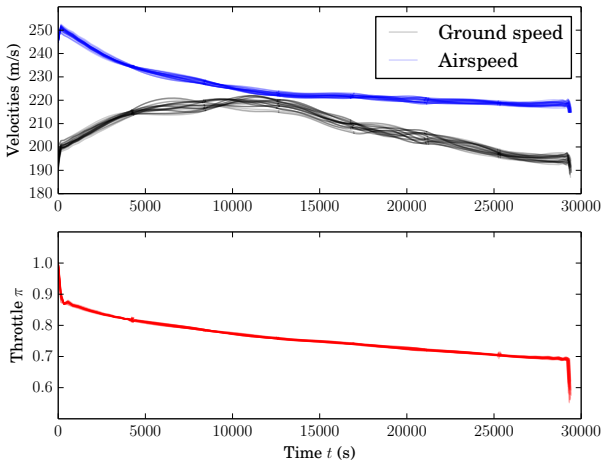
París - NY



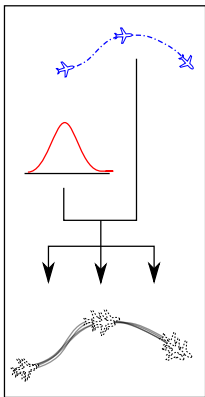
NY - París



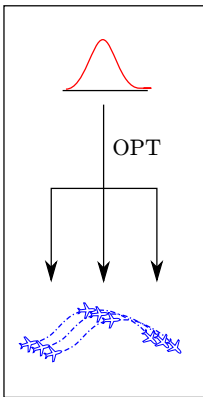
Evolución de los estados



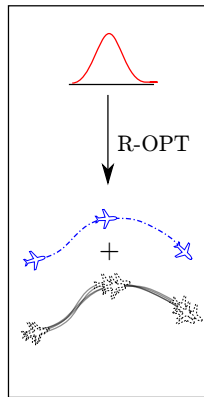
Planificación robusta



Step 1

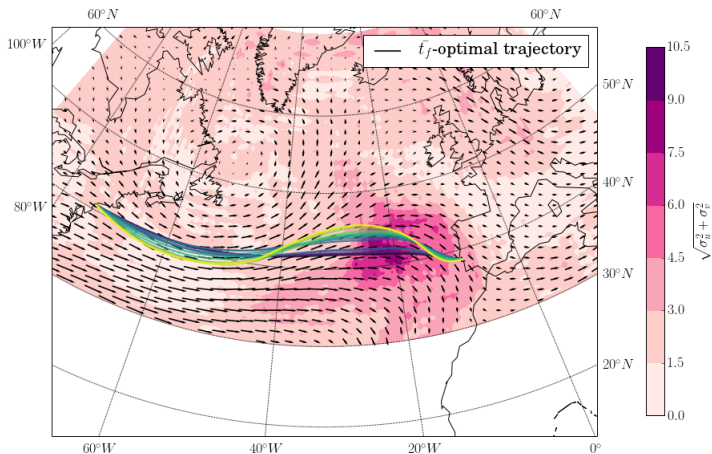


Step 2

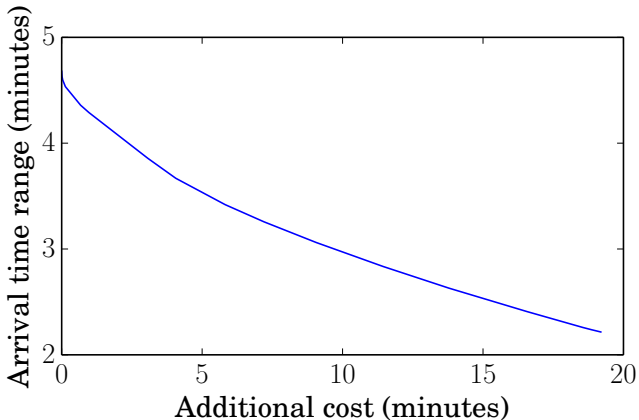


Step 3

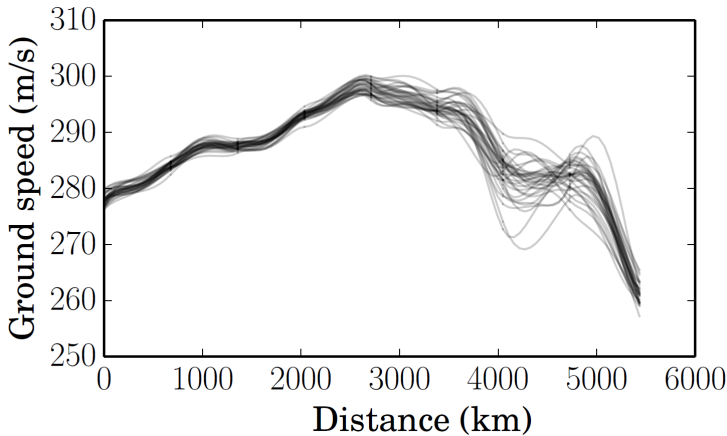
Planificación robusta



Trade-off predictabilidad - eficiencia



Velocidad respecto al suelo



Retraso o adelanto temporal

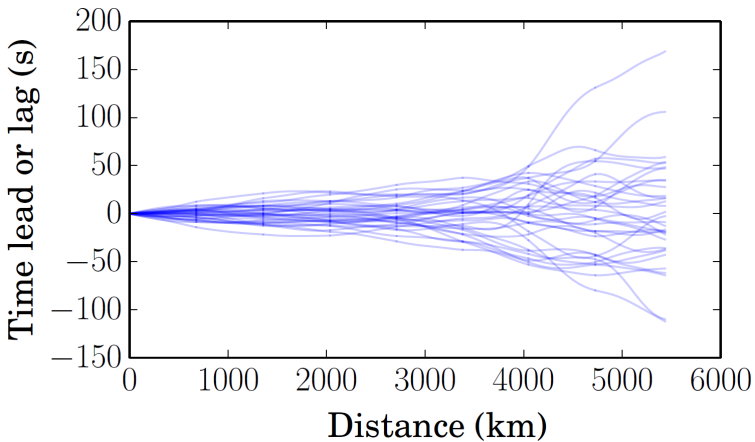


Table of contents

- 1 **Introducción**
 - ATM: pasado y futuro
 - Incertidumbre en TBO
- 2 **Metodología**
 - Control óptimo
 - EPS
 - Optimización miembro a miembro
 - Optimización robusta
- 3 **Python**
 - **Librerías**
- 4 **Conclusiones**
 - Comentarios finales

Lectura y procesado de datos

- `import numpy`
- `import scipy`
- `import xml.etree.ElementTree`
- `import pygrib`
- `import ecmwfapi`

Lectura y procesado de datos

- `import numpy`
- `import scipy`
- `import xml.etree.ElementTree`
- `import pygrib`
- `import ecmwfapi`

Lectura y procesado de datos

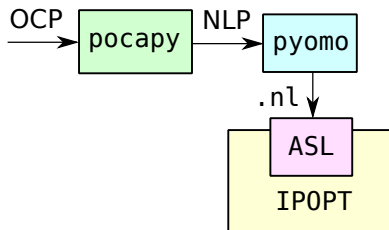
- `import numpy`
- `import scipy`
- `import xml.etree.ElementTree`
- `import pygrib`
- `import ecmwfapi`

Lectura y procesado de datos

- `import numpy`
- `import scipy`
- `import xml.etree.ElementTree`
- `import pygrib`
- `import ecmwfapi`

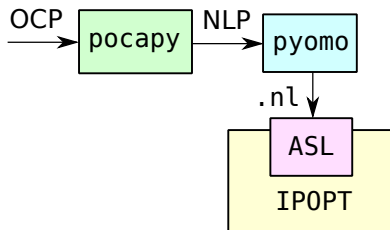
Optimización

- `ipopt`
- `import pyomo`
- `import pocapy`



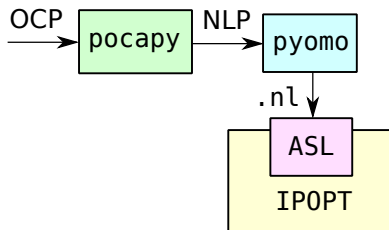
Optimización

- `ipopt`
- `import pyomo`
- `import pocapy`



Optimización

- `ipopt`
- `import pyomo`
- `import pocapy`



Visualización

- `import matplotlib.pyplot`
- `from mpl_toolkits.basemap import Basemap`
- `import seaborn`

Visualización

- `import matplotlib.pyplot`
- `from mpl_toolkits.basemap import Basemap`
- `import seaborn`

Visualización

- `import matplotlib.pyplot`
- `from mpl_toolkits.basemap import Basemap`
- `import seaborn`

Table of contents

- 1 **Introducción**
 - ATM: pasado y futuro
 - Incertidumbre en TBO
- 2 **Metodología**
 - Control óptimo
 - EPS
 - Optimización miembro a miembro
 - Optimización robusta
- 3 **Python**
 - Librerías
- 4 **Conclusiones**
 - Comentarios finales

Conclusiones

- Python: experiencia muy positiva
- Versatilidad para tratar con todo tipo de datos y problemas matemáticos
- ¡Notebooks!
- ¿Rendimiento?

Proyectos futuros

- Estudio sistemático de beneficios
- Comparar Pyomo con CasADi y Theano
- ¿Algoritmos genéticos + PyCUDA?

Proyectos futuros

- Estudio sistemático de beneficios
- Comparar Pyomo con CasADi y Theano
- ¿Algoritmos genéticos + PyCUDA?

Proyectos futuros

- Estudio sistemático de beneficios
- Comparar Pyomo con CasADi y Theano
- ¿Algoritmos genéticos + PyCUDA?

Para saber más

- **OptMet: Analysis and optimization of aircraft trajectories under the effects of meteorological uncertainties.**

<https://optmet.wordpress.com/>

- **TBO-Met: Meteorological Uncertainty Management for Trajectory-Based Operations.**

<https://tbomet-sesar2020.com/>

Optimización de trayectorias bajo incertidumbre con Python

Daniel González Arribas

Department of Bioengineering and Aerospace Engineering
Universidad Carlos III de Madrid

Python Madrid Meetup - Junio 2016