



1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Modelado matemático, estimación y control de sistemas dinámicos

**Carlos Mario Vélez S., Dr.**

Ingeniería Matemática  
Maestría en Matemáticas Aplicadas  
(\* ) Doctorado en Ingeniería Matemática

Versión 03/11/2014



## 1. Introducción

2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

## Objetivos de la presentación

- Indicar las áreas y oportunidades de aplicación de los sistemas dinámicos en diferentes áreas de la ciencia y la ingeniería
- Dar ejemplos de los desarrollos del grupo con miras a aplicar los métodos, resultados y preguntas en otras áreas y sectores
- Ilustrar la pertinencia de los intereses del grupo en los programas de pregrado y posgrado del Departamento de Ciencias Básicas
- Presentar algunos temas y preguntas de investigación

**Creación de sinergia con áreas e investigadores**

**Énfasis en los métodos matemáticos y su aplicación**



## 1. Introducción

2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Intereses de investigación y su relación

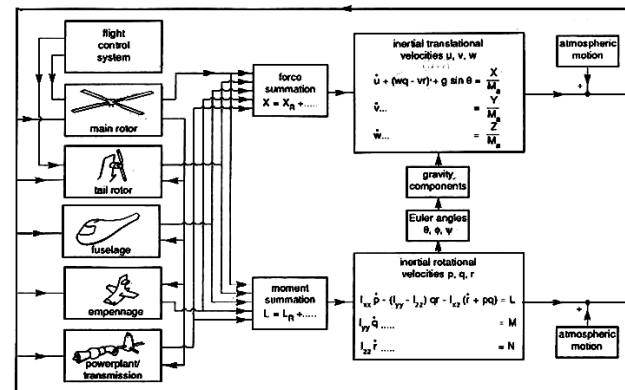
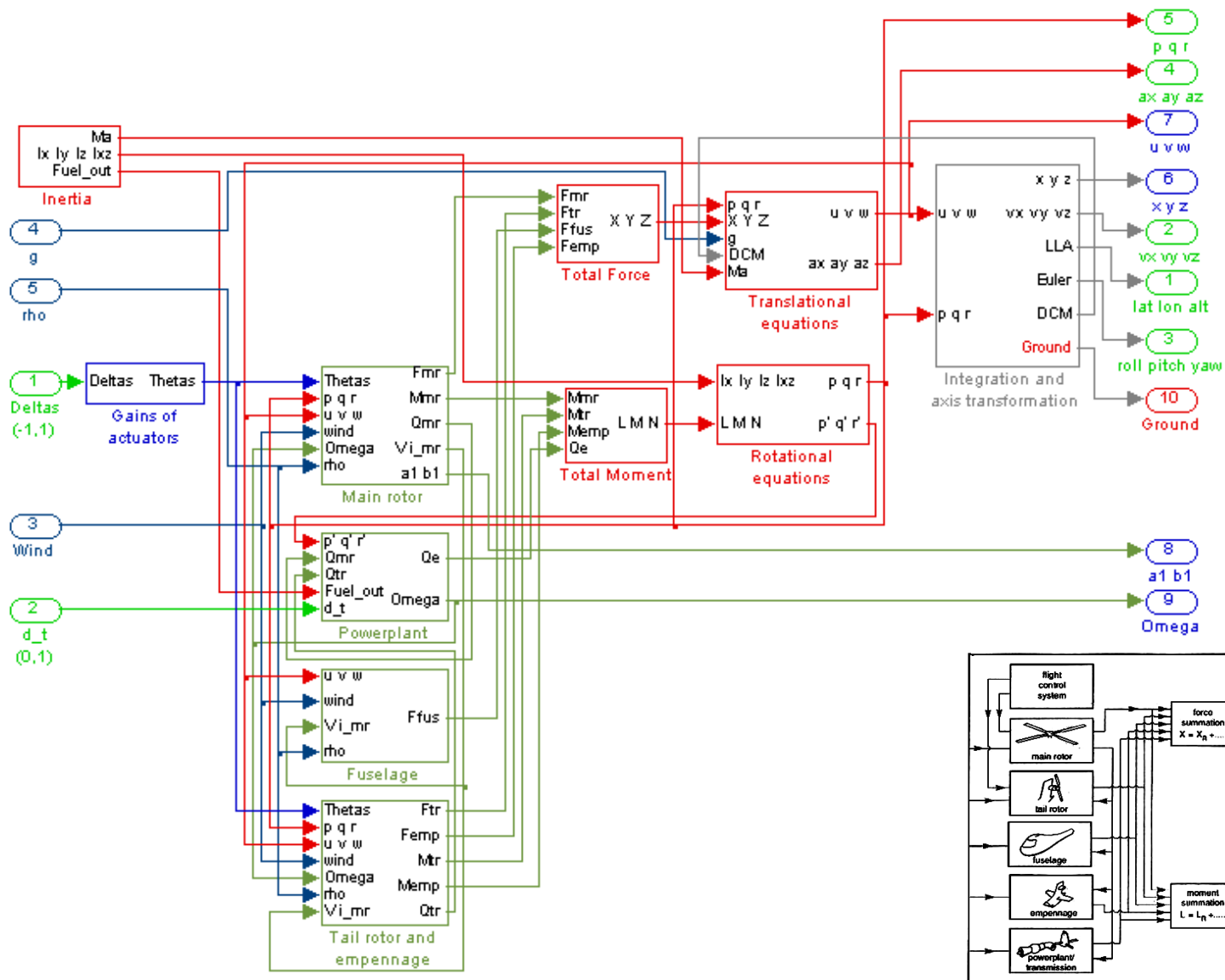




# 1. Introducción

2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Visión sistémica

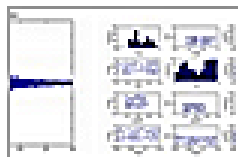




# 1. Introducción

2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Aportes hechos en Matlab



updated 29 days ago

## Sensitivity analysis in Simulink models with Monte Carlo method

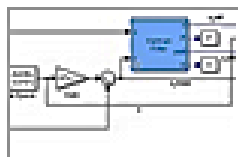
by Carlos M. Vélez S.

Monte Carlo method for sensitivity analysis of Simulink models (monte carlo, sensitivity analysis, simulink)

`fx` [sensa\\_monteclarlo\(model,cell\\_par,N\)](#)

`fx` [PID\\_monteclarlo.m](#)

`fx` [pendulum\\_monteclarlo.m](#)



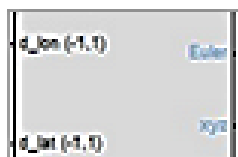
updated 5 months ago

## Linear Kalman Filter in Simulink

by Carlos M. Vélez S.

Linear Kalman Filter implemented with Simulink blocks (kalman filter, state estimator)

`fx` [kalman\\_filter\\_linear.slx](#)



updated 1 year ago

## Mathematical model of a mini-helicopter robot ("Colibri")

by Carlos M. Vélez S.

Mathematical model of a mini-helicopter robot (aerospce, control design, simulation)

`fx` [colibri\\_simple.mdl](#)

s1	s4	s7
0	0.0078449	0.04509
0	0.0019627	0.004871
1	0.0001127	0.0001544
0	0	1
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0

updated almost 3 years ago

## o2ddelay

by Carlos M. Vélez S.

Convert from continuous with delay to discrete-time models with extra state variables (control design, sampling)

`fx` [c2ddelay.m](#)

$$\begin{matrix} 1, \\ b, d \\ d + K^*a, \\ d + K^*a, \end{matrix}$$

updated almost 3 years ago

## Routh's array in symbolic way

by Carlos M. Vélez S.

Routh's array of symbolic polynomials. It is different for similar functions in Matlab Central. (routh, hurwitz, stability)

`fx` [routh\\_hurwitz.m](#)

$$\begin{matrix} 1.0 - 0. \\ 0 \\ 0.002^*a^2 - 0.0002^*a + 0.00 \\ 0.001^*a^2 + 0.202^*a - 0.0 \\ 0.001^*a^2 - 0.202^*a + 0.02 \\ 0.001^*a^2 - 0.202^*a + 0.02 \end{matrix}$$

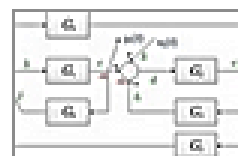
updated almost 3 years ago

## Jury's array in symbolic way

by Carlos M. Vélez S.

The function gives the Jury's array from a numerical or SYMBOLIC polynomial (includes special cases) (control design, mathematics, stability)

`fx` [jury.m](#)



updated almost 3 years ago

## Symbolic reduction of block diagrams and signal flow graphs

by Carlos M. Vélez S.

Symbolic reduction of block diagrams and signal flow graphs using Symbolic Math Toolbox. (block diagram, signal flow graphs, control)

`fx` [Block\\_diagram\\_reduction.m](#)



updated 10 years ago

## Multirate Control Toolbox 5.1

by Carlos M. Vélez S.

The toolbox allows the modeling, simulation and real-time implementation of multirate control system (multirate, nonconventional, real-time)

Rank: 238

based on

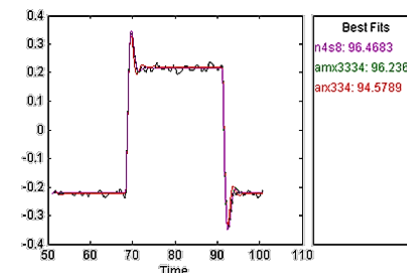
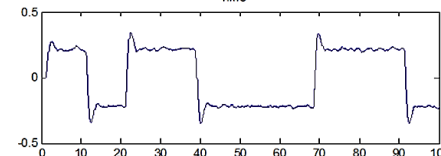
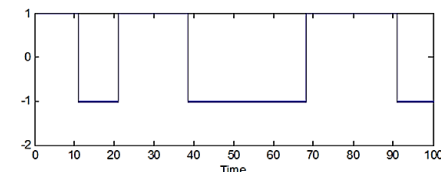
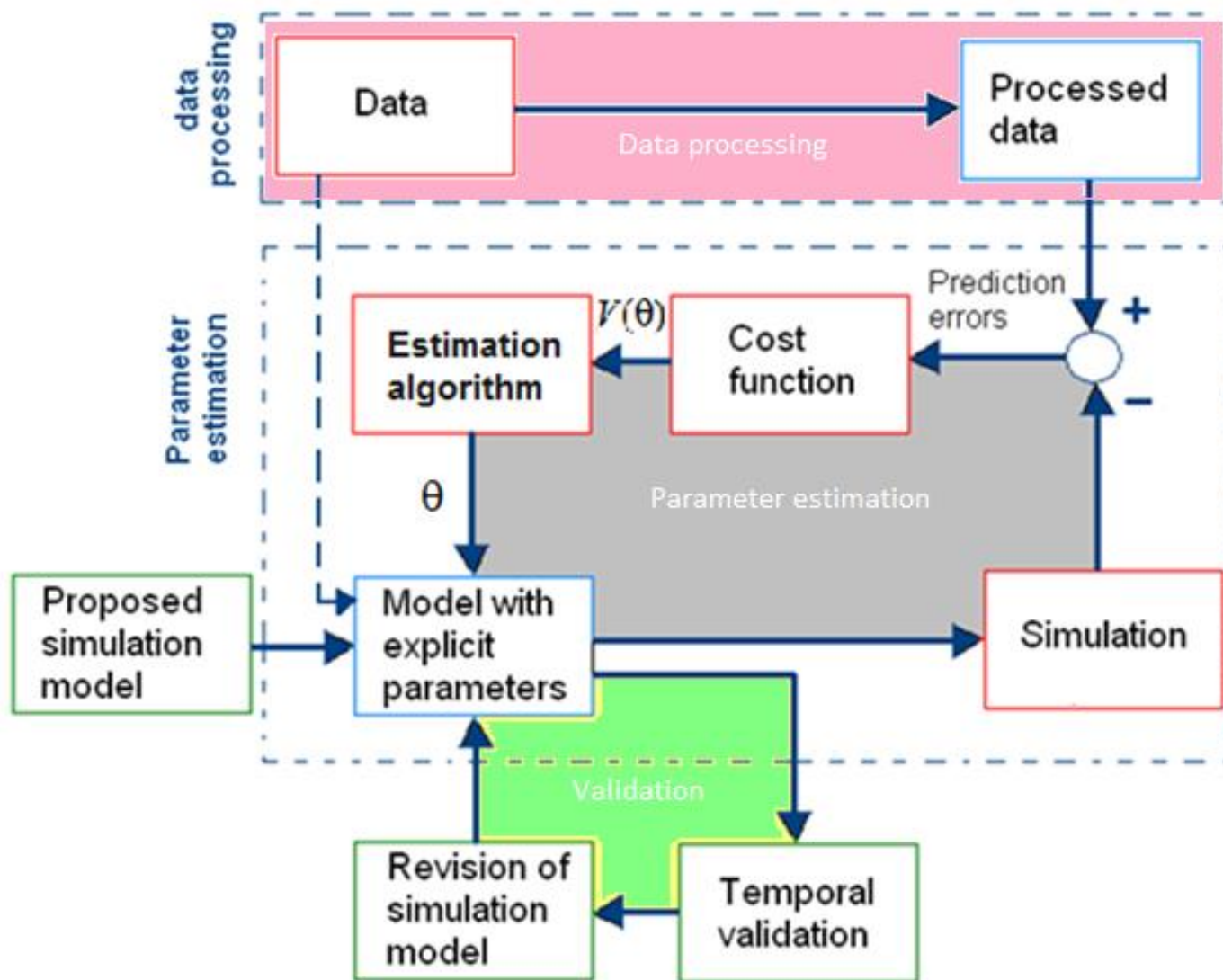
376 downloads (last 30 days)

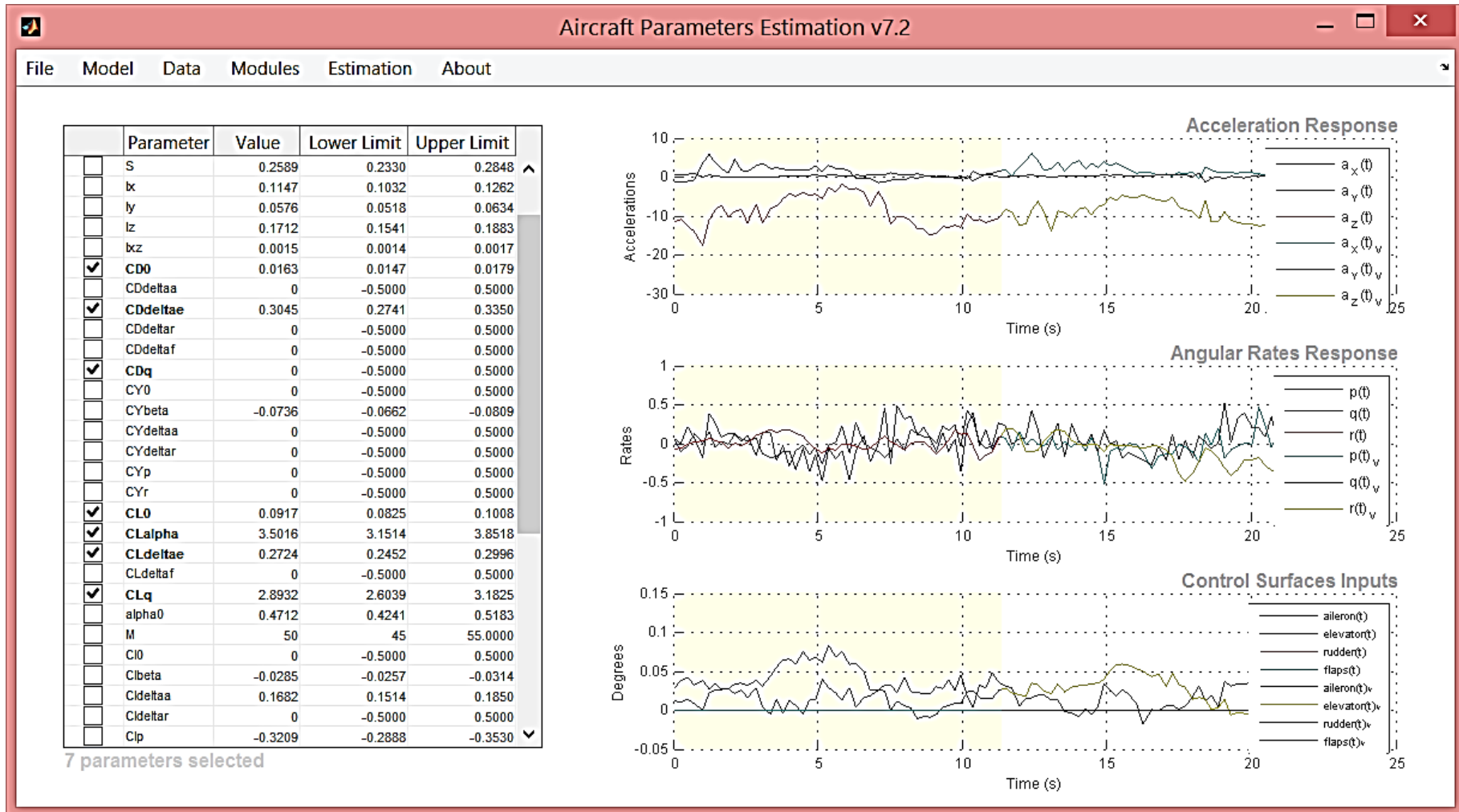
and 8 files submitted



1. Introducción
- 2. Estimación de parámetros y del estado**
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Procedimiento general de estimación de parámetros







1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Toolbox de estimación de parámetros utilizando métodos metaheurísticos

## Genetic Algorithm

Total parameters: 11

Remaining time

Unknown

Fitness time

Unknown

Parallel

Population size

1000

Chromosome resolution (bits)

16

Number of generations

100

Survival rate (%)

10

Natural selection algorithm

Roulette-Wheel

Crossover type

Two-Point

Mutation type

All Genes

Mutation rate (%)

10

Mutation points

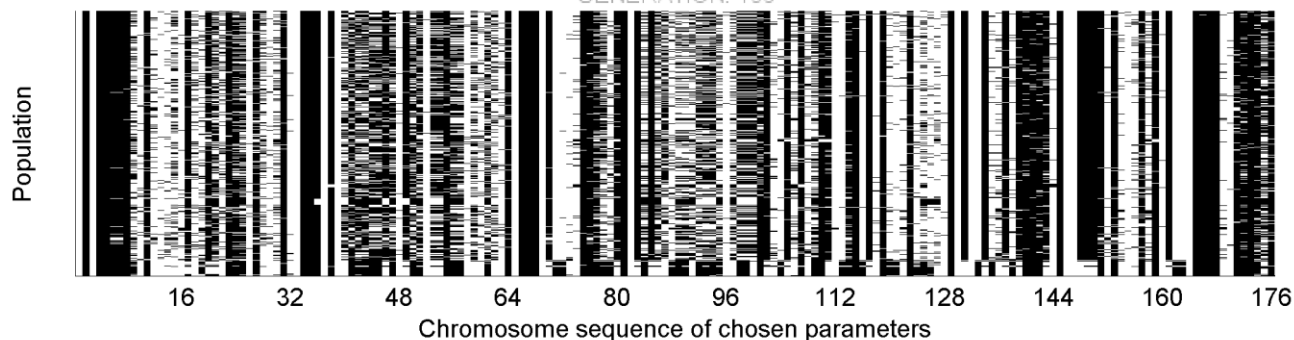
1

Start

## Chromosome Representation

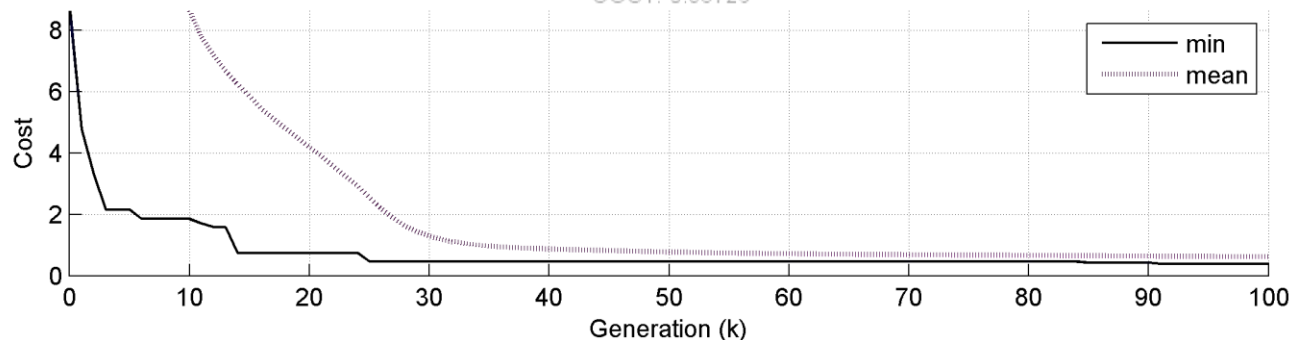
100

GENERATION: 100



## Best Solution History

COST: 0.38726

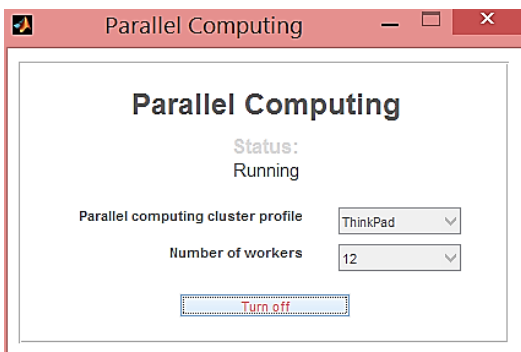




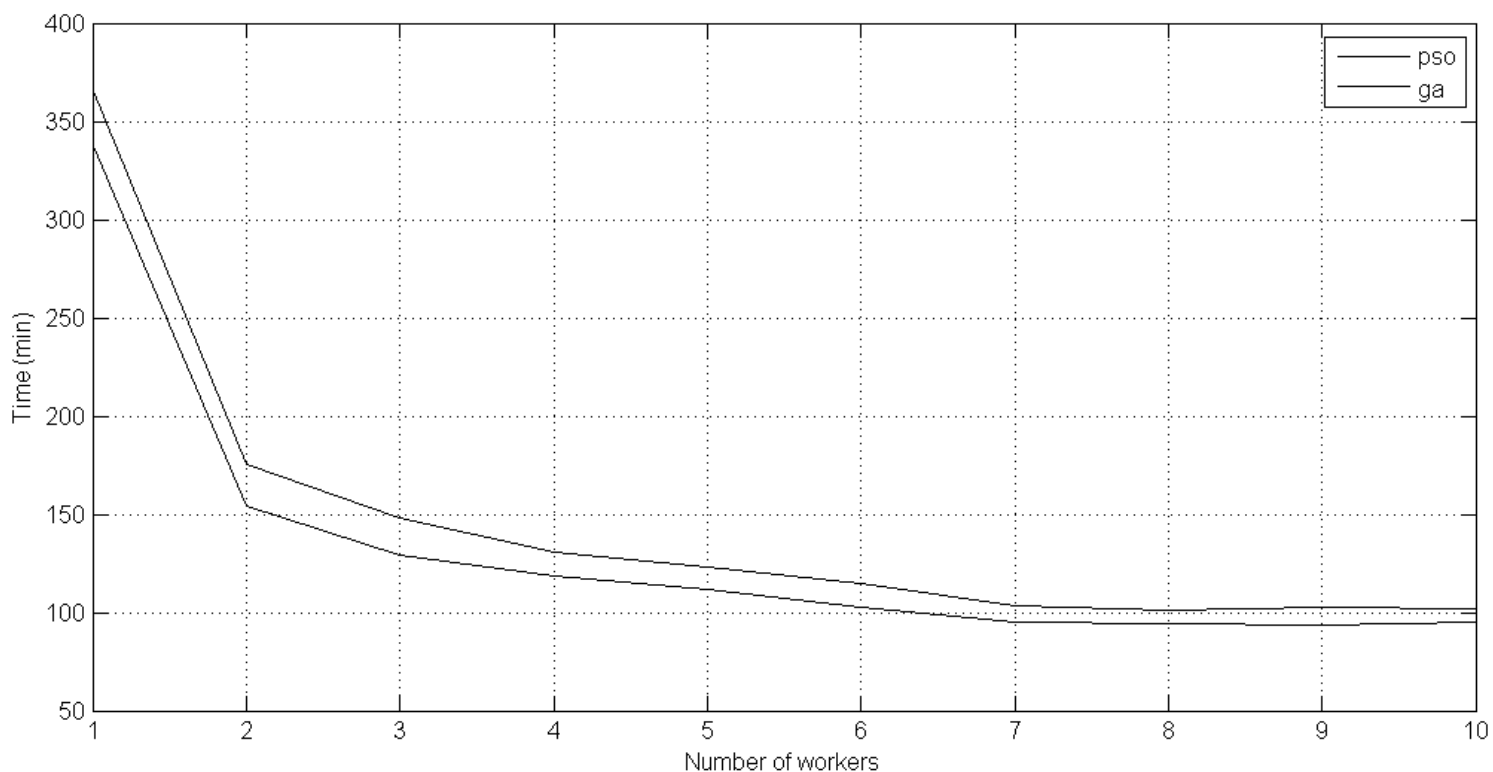


1. Introducción
- 2. Estimación de parámetros y del estado**
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Toolbox de estimación de parámetros con computación en paralelo



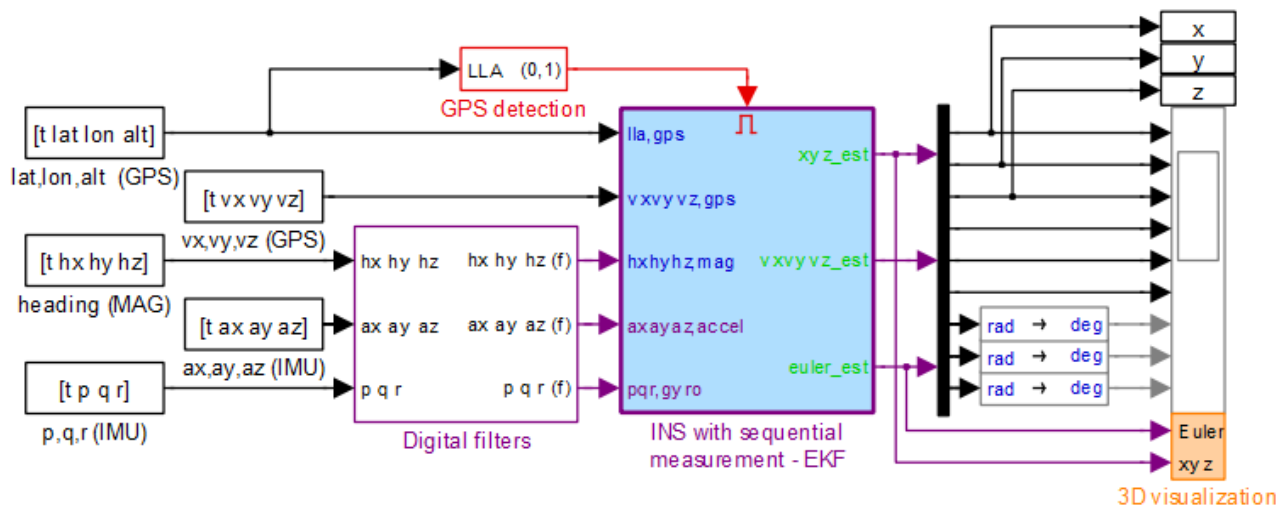
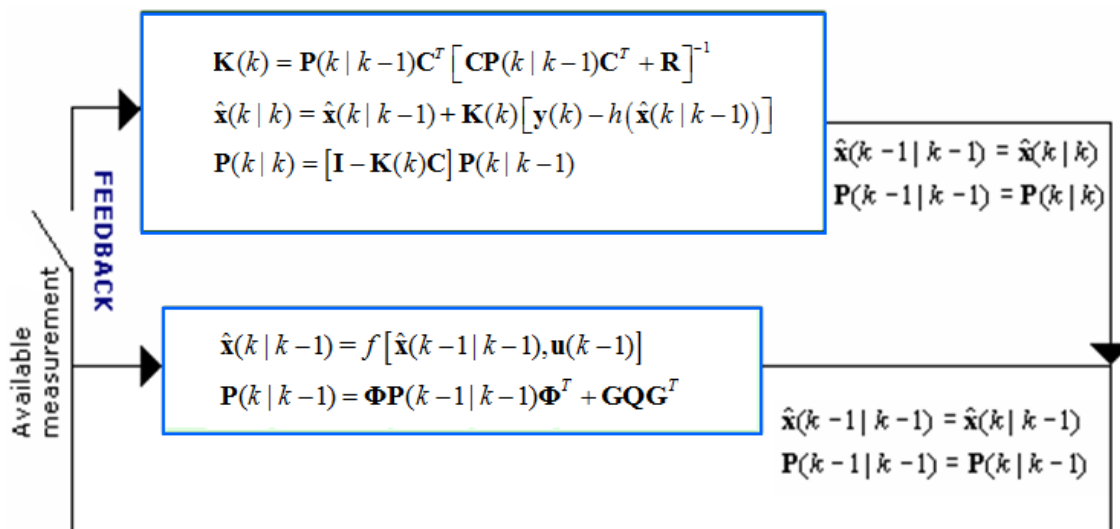
Time performance  
by number of workers





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Estimación del estado – Filtro de Kalman





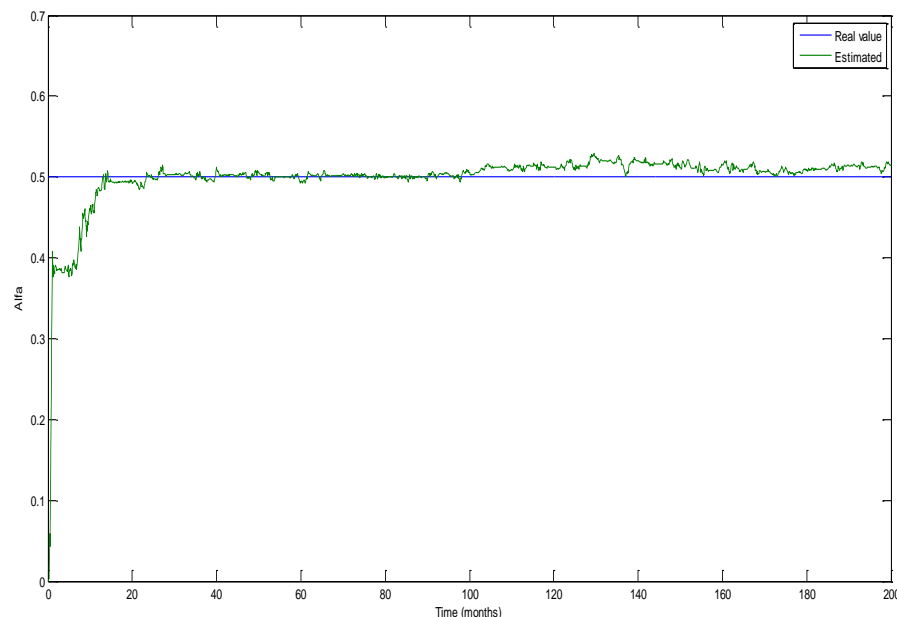
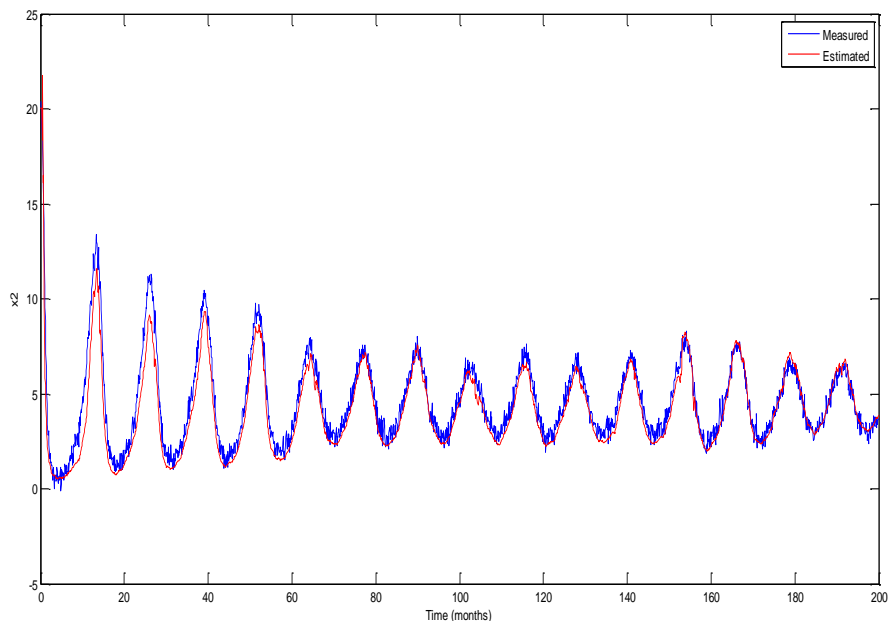
1. Introducción
- 2. Estimación de parámetros y del estado**
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Estimación del estado – Filtro de Kalman dual

## Modelo de pesca industrial

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \delta x_1 x_2 - \gamma x_1 + u_1 \\ \dot{x}_2 &= \alpha x_2 \left(1 - \frac{x_2}{K}\right) - \beta x_1 x_2 + u_2 \end{aligned}$$

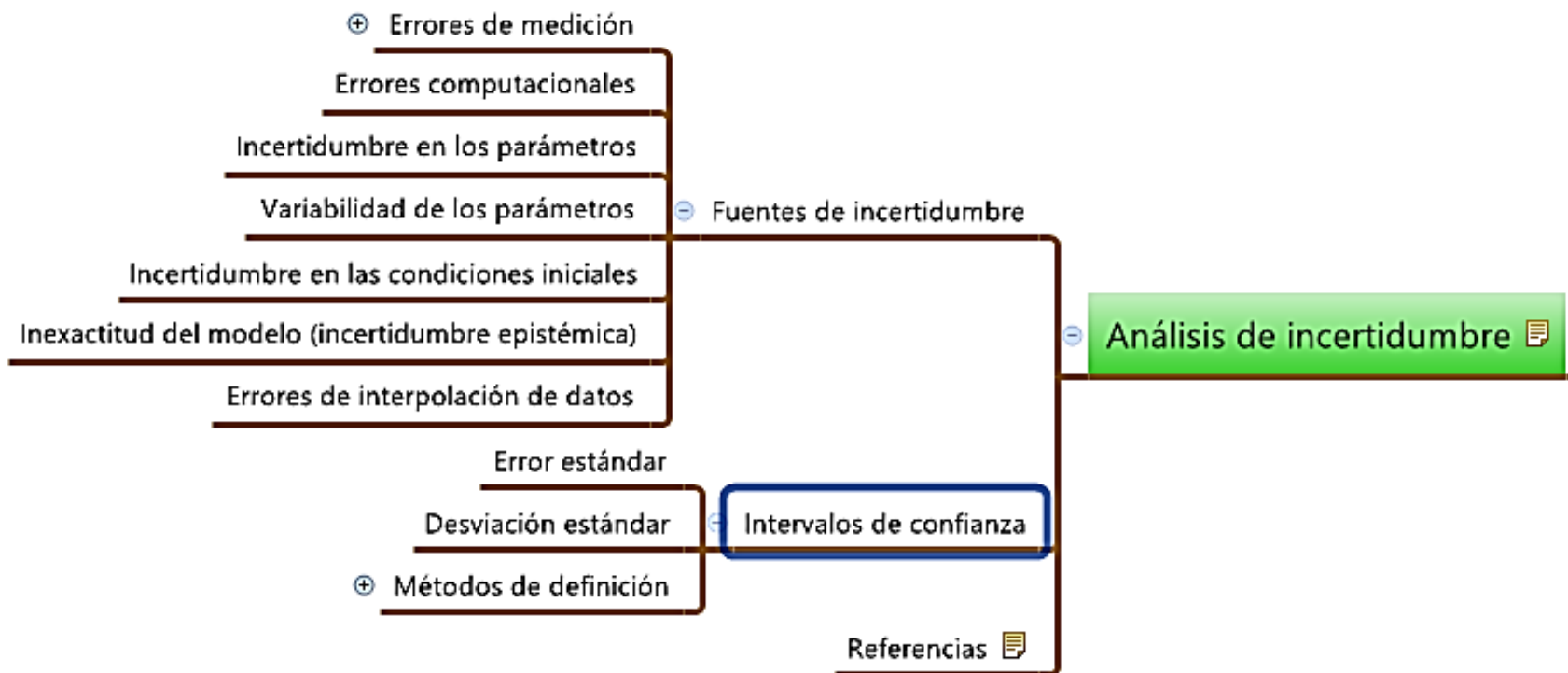
$$\left\{ \begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + T_s [x_1(k)x_2(k)x_3(k) - x_1(k)x_4(k) + u_1(k)] \\ x_2(k+1) &= x_2(k) + T_s [x_2(k)x_5(k) \left(1 - \frac{x_2(k)}{K}\right) - x_1(k)x_2(k)x_6(k) + u_2(k)] \\ x_3(k+1) &= x_3(k) \\ x_4(k+1) &= x_4(k) \\ x_5(k+1) &= x_5(k) \\ x_6(k+1) &= x_6(k) \end{aligned} \right.$$





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
- 3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

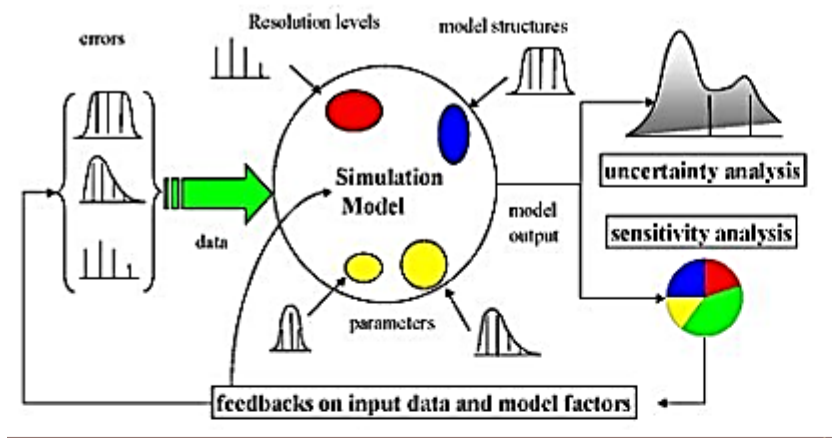
# Ideas generales





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
- 3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Ideas generales



- Introducción
- ⊕ Análisis de sensibilidad local
- ⊖ Análisis de sensibilidad global
- ⊕ Métodos estadísticos
- ⊕ Métodos deterministas
- ⊕ Métodos basados en el muestreo (simulación)
- ⊖ Métodos
- ⊕ Opciones de visualización de la sensibilidad
- ⊕ Problemas
- Referencias

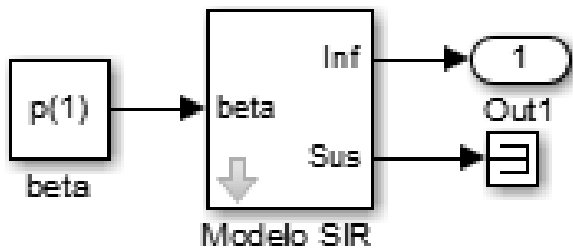
## Análisis de sensibilidad

## Caso 1

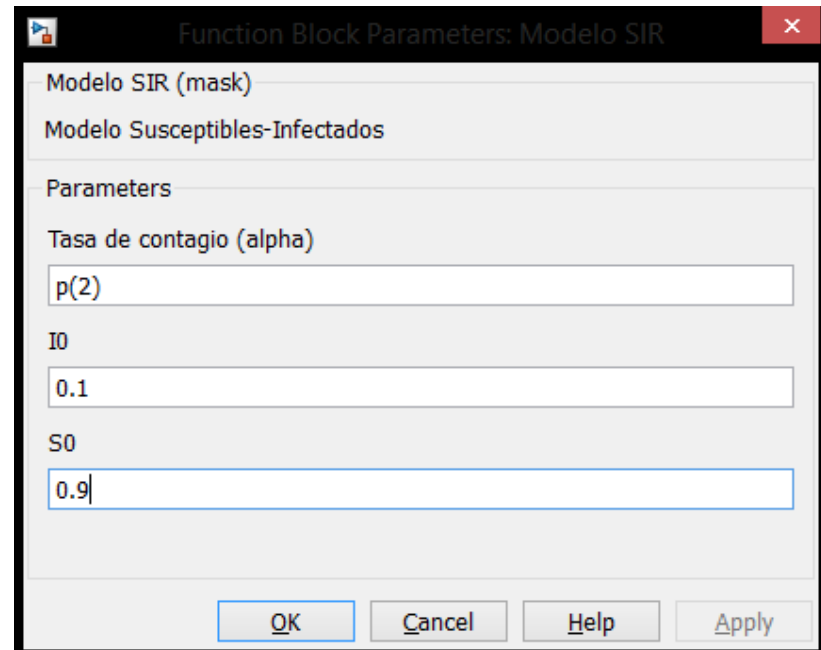
```
Par={'beta','range',[0.1 0.9];
    'alpha','range',[0.1,0.9]};
N = 100; % Number of parameter sets to test
M = sens_parameter_set(Par,N);
[S,Y,t] = sens_variance_bruteforce('example_sir',M);
figure(1), sens_scatterplot_param(M,Par)
figure(2), sens_plot_montecarlo(t,Y,Par)
figure(3), sens_plot_sensitivity(t,S,Par)
```

## Caso 2

```
Par={'beta','percent',[0.15 30];
    'alpha','percent',[0.45 30]};
N = 50; % Number of parameter sets to test
M = sens_parameter_set(Par,N);
[S,Y,t] = sens_variance_bruteforce('example_sir',M);
figure(1), sens_scatterplot_param(M,Par)
figure(2), sens_plot_montecarlo(t,Y,Par)
figure(3), sens_plot_sensitivity(t,S,Par)
```



$$\begin{cases} \dot{S} = -\alpha SI \\ \dot{I} = \alpha SI - \beta I \end{cases}$$

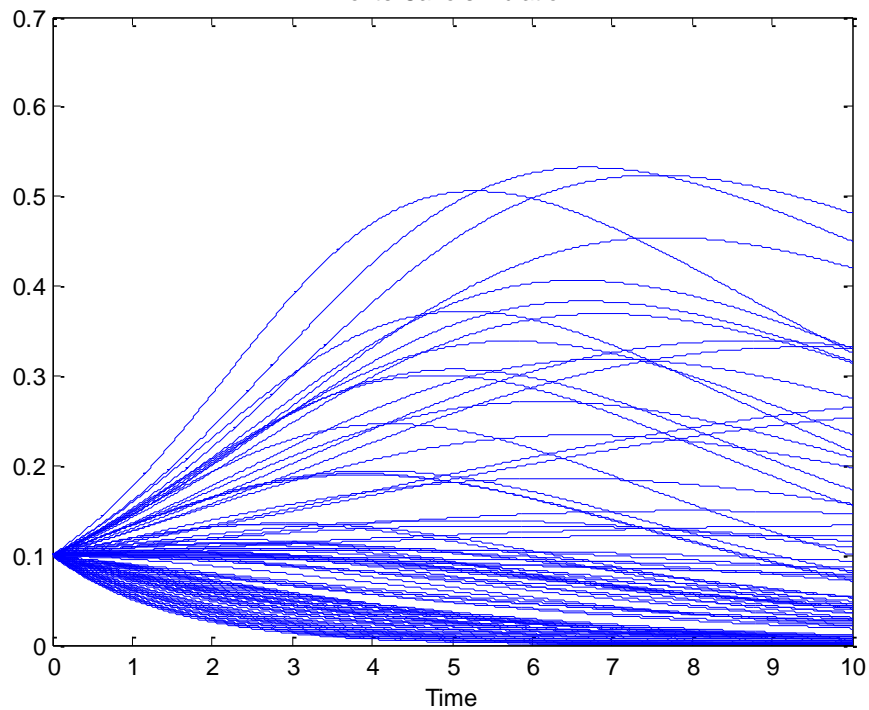




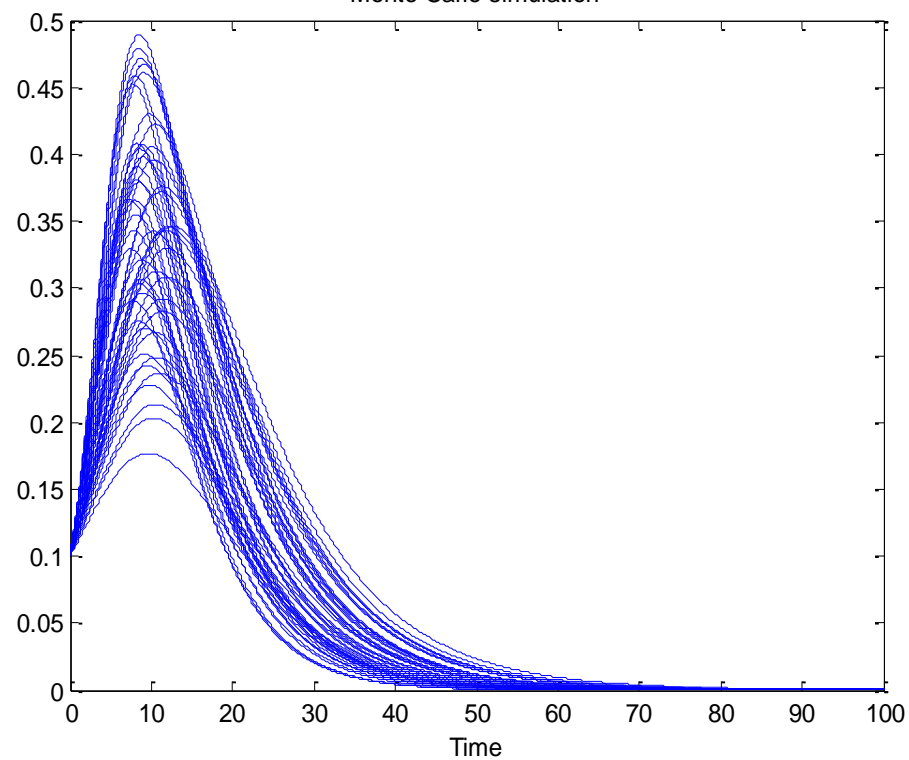
1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
- 3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Análisis de incertidumbre

Monte Carlo simulation



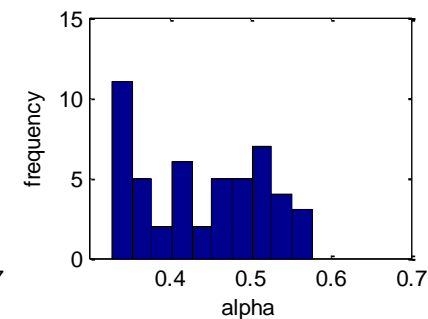
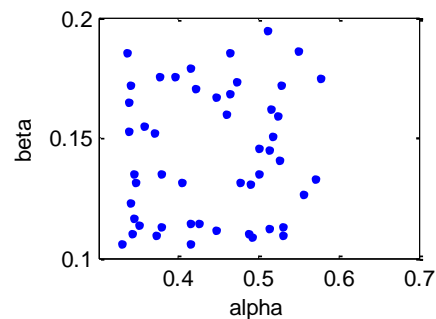
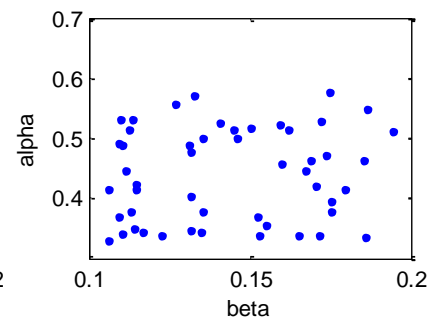
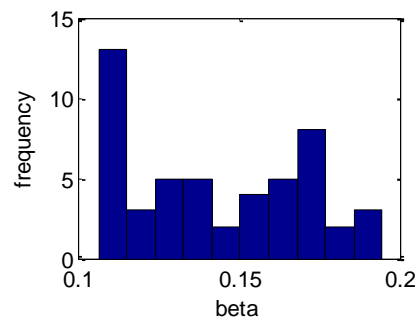
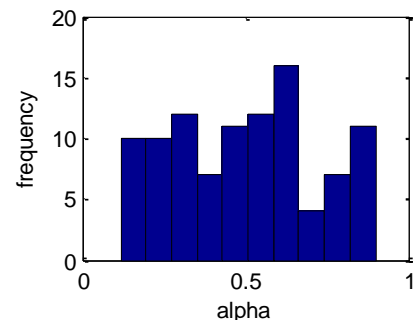
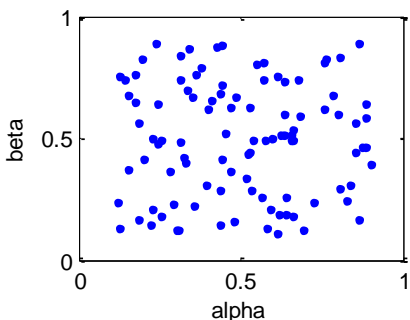
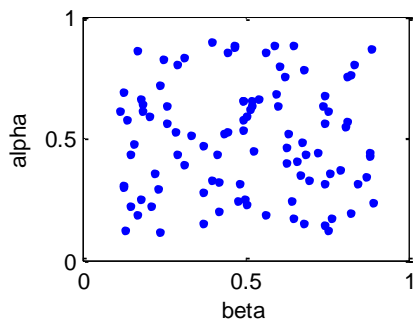
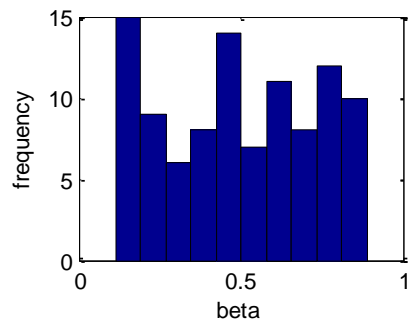
Monte Carlo simulation



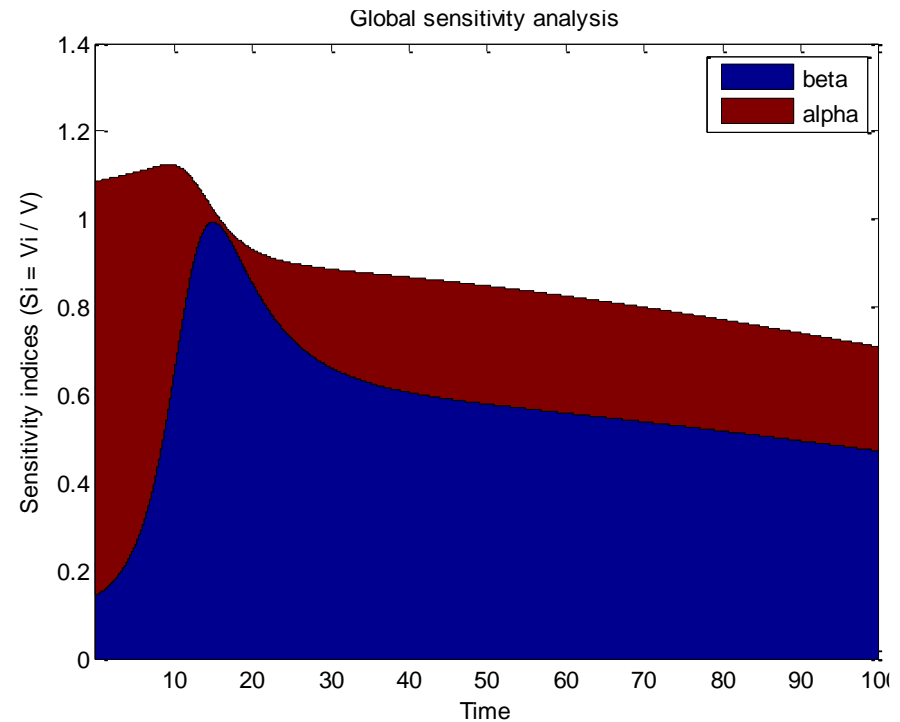
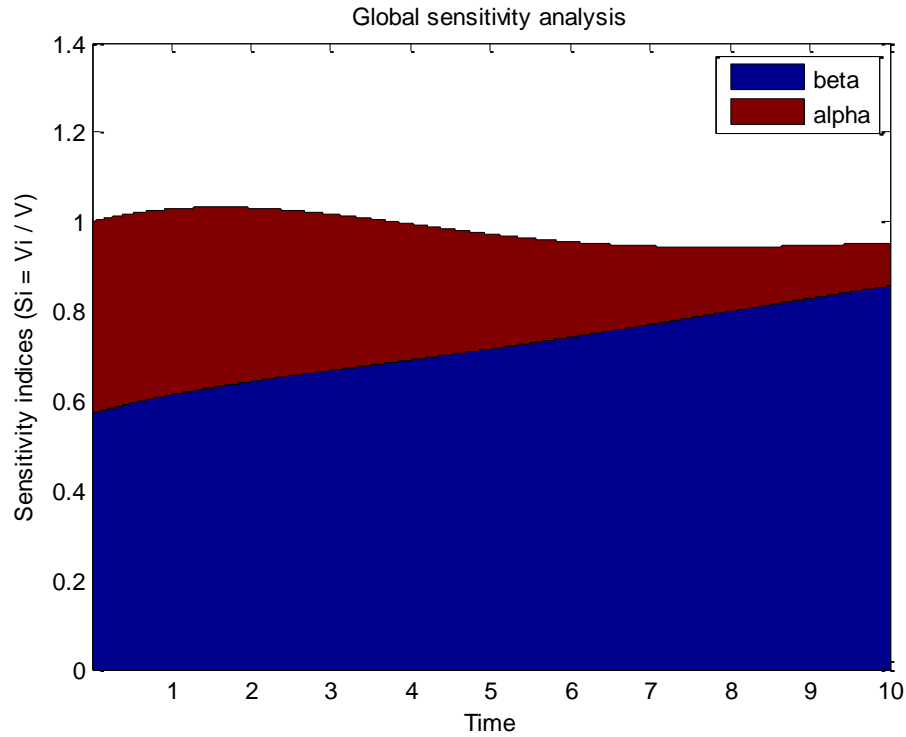


1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
- 3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad**
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

# Dispersión de los parámetros



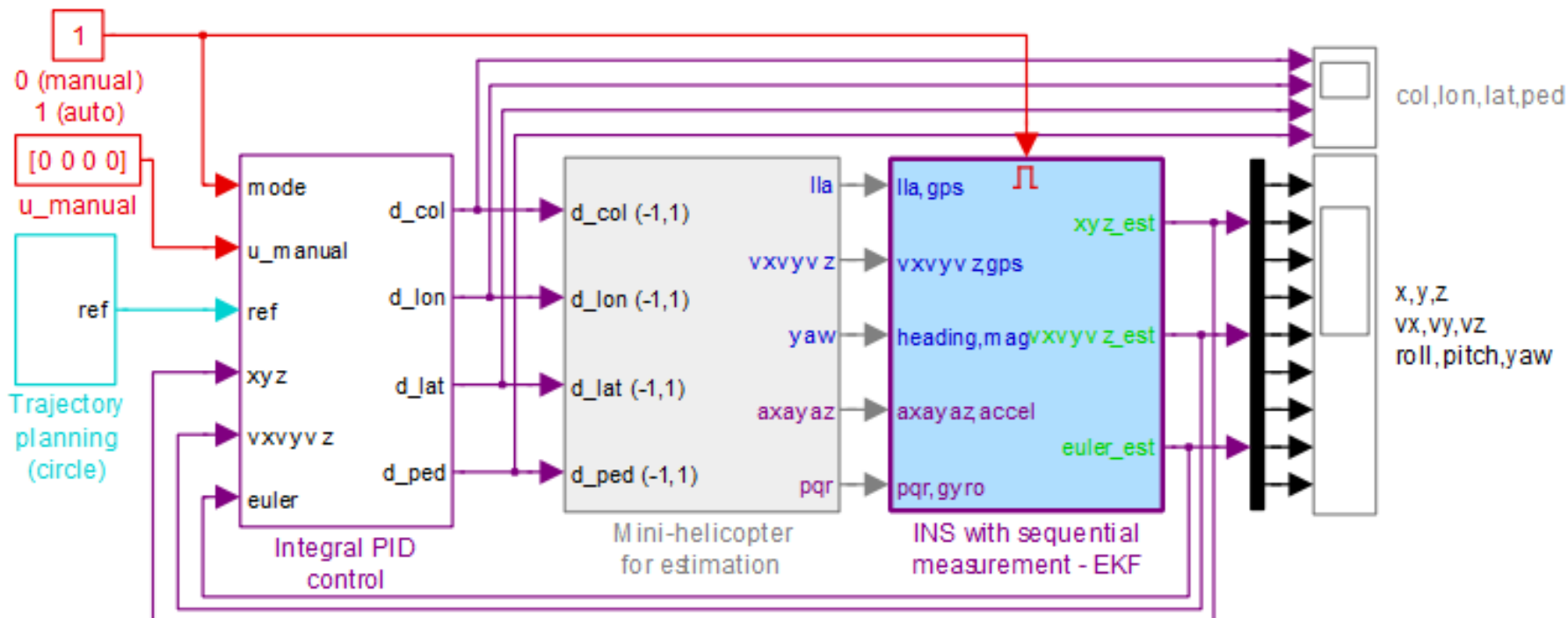






1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
- 4. Sistemas de control**
5. Intereses de investigación

# Control y estimación de UAV





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
- 4. Sistemas de control**
5. Intereses de investigación

## ÁREAS TECNOLÓGICAS





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
- 4. Sistemas de control**
5. Intereses de investigación

# Control y estimación de UAV





## Modelo de pesca

$$\dot{x}_1 = rx_1 \left(1 - \frac{x_1}{K}\right) - qx_2x_1$$

$$\dot{x}_2 = kqx_2[(p - \tau)x_1 - c]$$

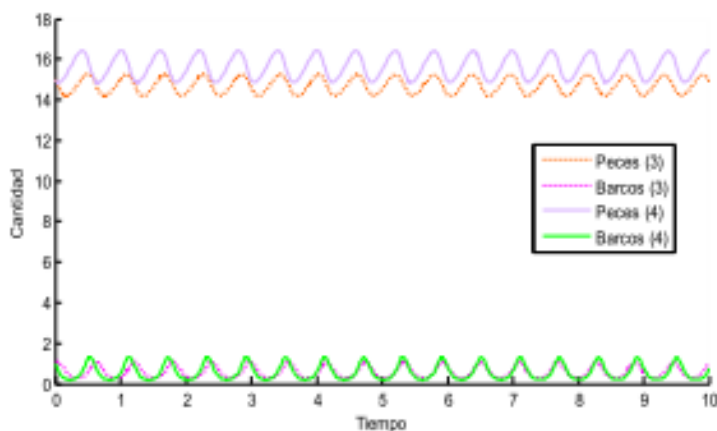
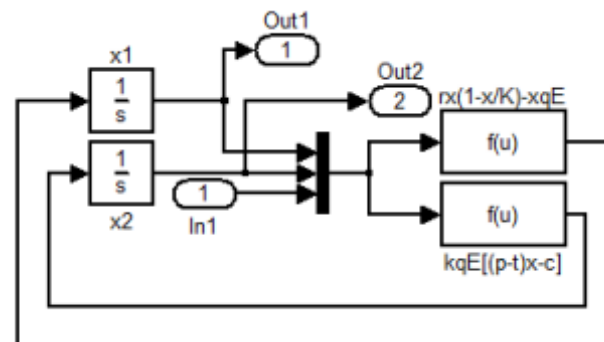


Fig. 7. Solución con el diagrama de simulación implementado en Simulink para una entrada  $\tau=3$  y  $\tau=4$ .

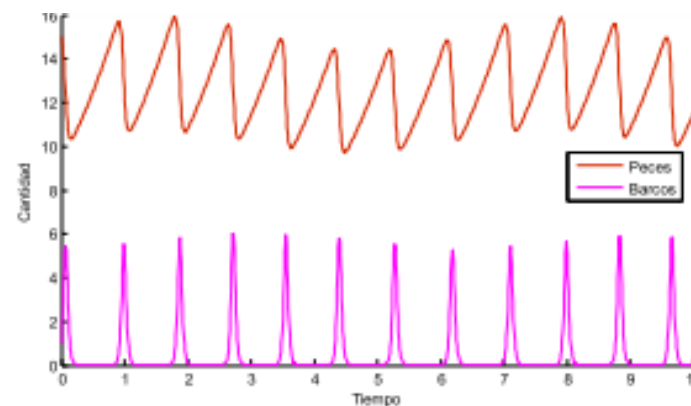
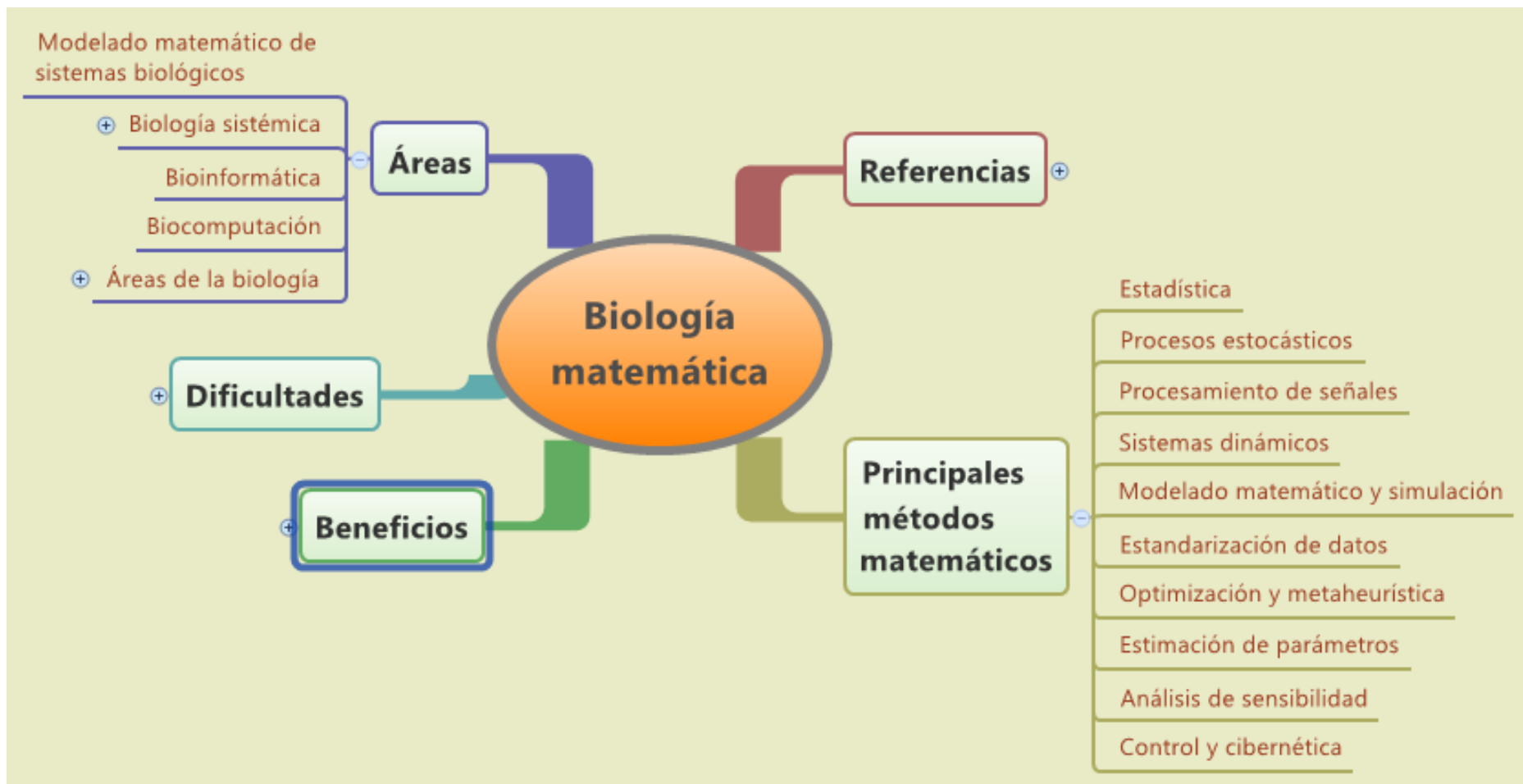


Fig. 9. Solución con el diagrama de simulación implementado en Simulink para una entrada  $\tau=\sin(t)$

- Modelado, análisis y simulación de sistemas dinámicos (teoría de sistemas)
- Estimación de parámetros con pocos datos y datos poco confiables
- Comparación de métodos de análisis de sensibilidad aplicados a sistemas dinámicos
- Principios de control aplicados a la regulación de sistemas no físicos (transmisión de enfermedades, economía): control óptimo, control robusto, control predictivo
- Implementación del análisis de incertidumbre y sensibilidad utilizando computación en paralelo
- Control multifrecuencia
- Programación y simulación en Scilab
- Análisis de incertidumbre y sensibilidad en biología
- Estimación y control de aeronaves no tripuladas (UAS)

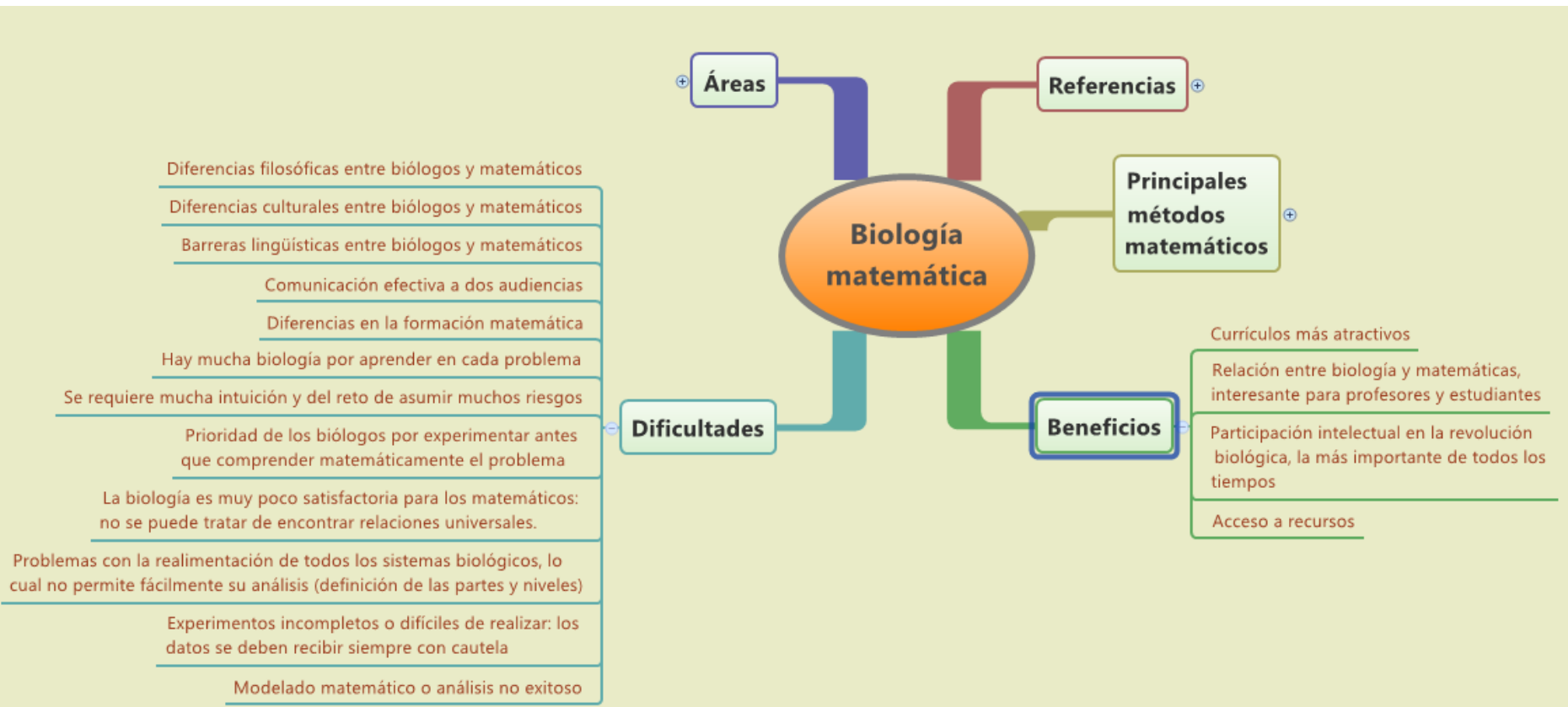


1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
- 5. Intereses de investigación**





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
- 5. Intereses de investigación**



**Creación de sinergia entre áreas e investigadores  
Énfasis en los métodos matemáticos y su aplicación**





1. Introducción
2. Estimación de parámetros y del estado
3. Análisis de incertidumbre y sensibilidad
4. Sistemas de control
5. Intereses de investigación

- Acercamiento a problemas reales
- Desarrollo de competencias genéricas
- Evaluación orientada a proyectos (con rúbrica)

Rúbrica de evaluación de artículos e informes de investigación		
Fecha		Nota
Autores		100%
Trabajo		<b>3.0</b>
Objetivos		

% Aspecto		Desempeño	Excelente (5)	Bueno (4)	Regular (3)	Pobre (2)	Nulo (0)	Observaciones
5%	<b>Introducción y resumen</b> 0. Resumen: planteamiento del problema, objetivos, metodología y principales resultados 1. Antecedentes (estado del arte): diferenciación y comparación, incoherencias o resultados no explicados en estudios previos propios o ajenos (cuál) 2. Identificación, preguntas de investigación, hipótesis (qué) 3. Delimitación del problema, limitaciones, tiempo, espacio, tipo de investigación, área del conocimiento (cuándo y dónde) 4. Plan, pasos de la solución (cómo) 5. Justificación (por qué) 6. Objetivo general y objetivos específicos 7. Principales conclusiones y contribuciones 8. Hoja de ruta (organización) del trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara y ordenada</li> <li>- El estado del arte es claro, resumido y pertinente</li> <li>- Hay preguntas de investigación e hipótesis claramente identificables</li> <li>- Se delimita bien el problema</li> <li>- Se resume adecuadamente el plan (secuenciación)</li> <li>- Se justifica la elección del problema y los métodos</li> <li>- Los objetivos son claros y evaluables</li> <li>- Se mencionan los principales resultados</li> <li>- Hay una ruta clara que muestra el desarrollo del trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara y ordenada</li> <li>- El estado del arte es claro y pertinente</li> <li>- Hay preguntas de investigación e hipótesis identificables</li> <li>- Se delimita bien el problema</li> <li>- Se resume adecuadamente el plan (secuenciación)</li> <li>- Los objetivos son claros y evaluables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara y ordenada</li> <li>- Se presenta un mínimo estado del arte</li> <li>- Hay preguntas de investigación e hipótesis identificables</li> <li>- Se delimita bien el problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información está desordenada</li> <li>- Se presenta un mínimo estado del arte</li> <li>- Hay un planteamiento del problema, pero sin seguir parámetros formales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información está desordenada</li> <li>- Faltan muchos aspectos del planteamiento del problema</li> </ul>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <span>5</span> <span>4</span> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">3</span> <span>2</span> <span>0</span> </div>	
	3.0	<b>Metodología</b> (Subtítulo por método, redacción en tiempo pasado) 1. Instrumentos y métodos con sus referencias bibliográficas, explicación, sustentación y relación con los objetivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara, concisa, objetiva y ordenada</li> <li>- Se identifican claramente los instrumentos y métodos</li> <li>- Hay una secuenciación clara de reconstrucción y procesamiento de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara y ordenada</li> <li>- Se identifican los instrumentos y métodos</li> <li>- Hay una secuenciación clara de reconstrucción y procesamiento de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es clara y ordenada</li> <li>- Se identifican algunos instrumentos y métodos</li> <li>- Hay una secuenciación de reconstrucción y procesamiento de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es poco clara y desordenada</li> <li>- Se identifican algunos instrumentos y métodos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La información es poco clara y muy desordenada</li> <li>- No se identifican los principales instrumentos y métodos</li> </ul>	

## ■ Construcción de objetos de aprendizaje

EL ENFOQUE DE SISTEMAS				Descripción
<p><b>Resultados del aprendizaje</b></p> <p>Objetivos (cognitivos, actitudinales, destrezas, competencias), relación con la misión el programa, pensamiento crítico, visión sistémica, centrado en el estudiante, saber-ser-hacer, medibles/observables, qué-condiciones-nivel, taxonomía de Bloom y sus verbos, corto tiempo,</p>	<p><b>Palabras claves</b></p>	<p><b>Texto</b></p> <p><b>Diapositivas</b></p> <p><b>Video (pendiente)</b></p>	<p><b>Recursos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <a href="#">Glosario de términos</a></li> <li>- Referencias disponibles libremente (Mendeley)</li> <li>- Lecturas,</li> <li>- Software,</li> <li>- Enlaces</li> <li>- Historia,</li> <li>- Prácticas pasadas</li> <li>- Metodología (taxonomía de Bloom, investigación, estudio)</li> <li>- Videos (Youtube, TED)</li> <li>- Contextualización</li> </ul>	<p><b>Actividades de aprendizaje</b></p> <p><b>Ejercicios resueltos</b></p> <p>1, 2, 3, 4, ,5 6, 7 8,9</p> <p><b>Ejercicios propuestos</b></p> <p>1, 2, 3, 4, ,5 6, 7 8,9</p> <p><b>Laboratorios virtuales</b></p> <p>1, 2, 3, 4, ,5 6, 7 8,9</p> <p><b>Cuestionario</b></p> <p>1, 2, 3, 4, ,5 6, 7 8,9</p> <p><b>Prácticas</b></p> <p>1, 2, 3, 4, ,5 6, 7 8,9</p>
<p><b>Recurso de uso educativo</b> Tipo: material de referencia Autor: <i>Carlos M. Vélez S.</i> (copyright) Creación: 14/11/2014 Actualización: 14/11/2014 Formato: HTML/Text Idioma: español Costo: ninguno Requerimientos: navegador web, PDF</p>	<p><b>Relación con otros objetos</b></p> <p>Modelado matemático, simulación, la ingeniería de control, diagramas de bloques, gráficos de flujo de señal, estructura del modelo de identificación</p>	<p><b>Foro</b></p> <p><b>Encuesta</b></p>		



**GRACIAS**