

# CONTROL AUTOMÁTICO: TECNOLOGÍA FANTASMA

Ricardo S. Sánchez Peña, PhD

Investigador Principal, CONICET

Director Doctorado en Ingeniería, ITBA



**ANCEFN**

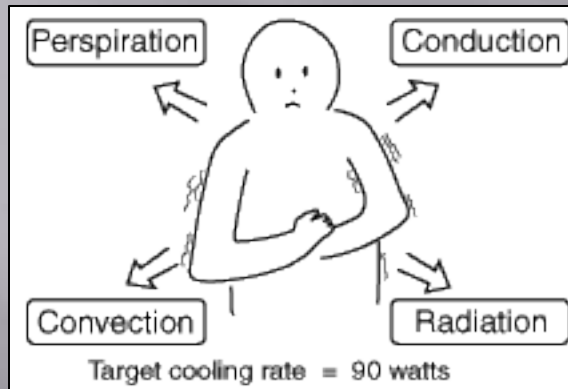
Academia Nacional de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales



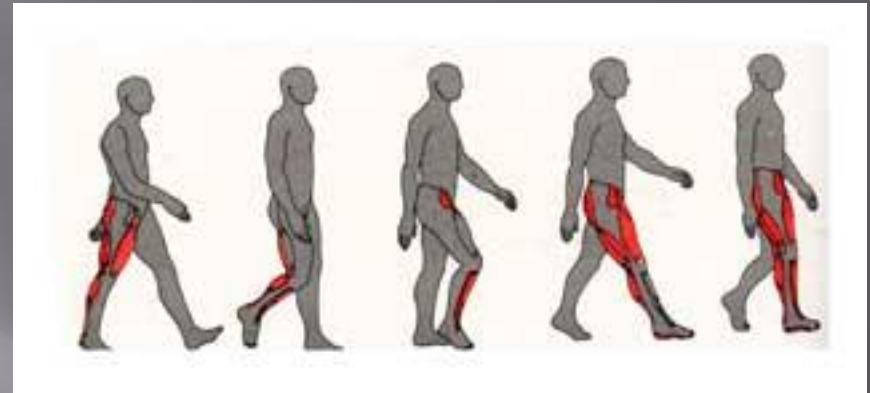
**CONICET**



# Sistemas de control “naturales”



Regulación de temperatura



Caminar

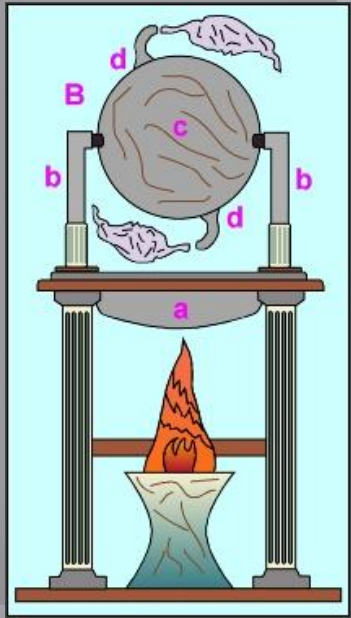


Andar en bicicleta

# Sistemas de control “naturales”



# Sistemas de control “artificiales”

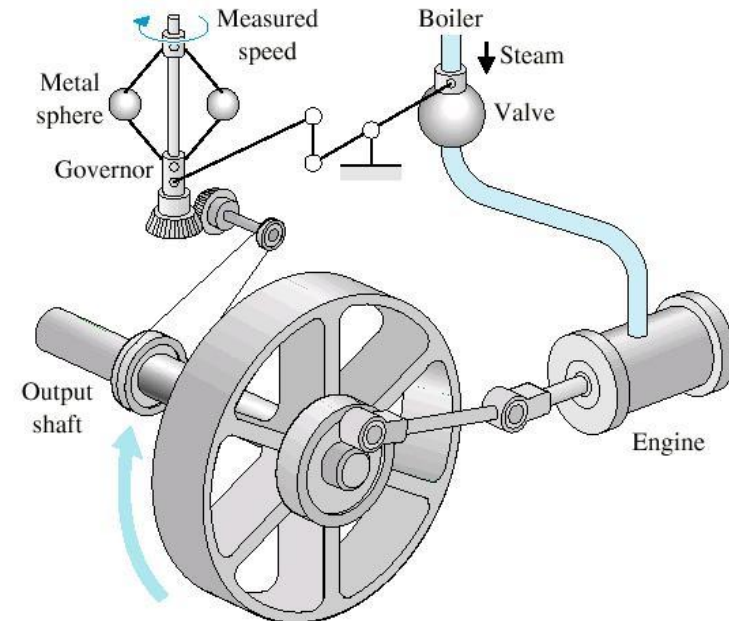


Se comenzó a construir máquinas de vapor hace más de 2000 años,....

Herón de Alejandría (siglo I AC)

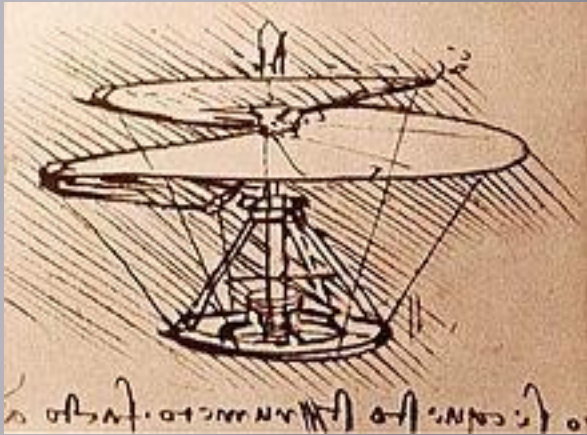
...pero hasta que no se le incorporó un controlador, no se ingresó en la era industrial.

Regulador de Watt (1788)





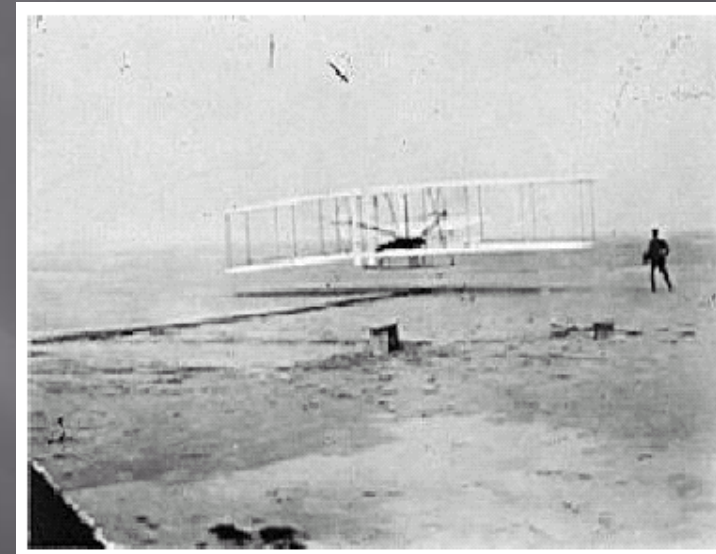
# Sistemas de control “artificiales”



Da Vinci, 1496



Montgolfier, 1786

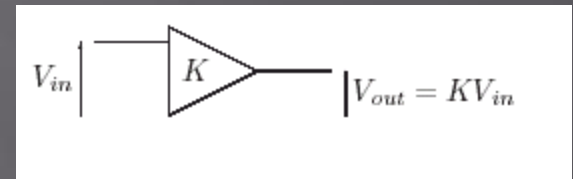


Los hermanos Wright resolvieron el problema de equilibrar y maniobrar (Controlar) el *Kitty Hawk* el 17 de diciembre de 1903

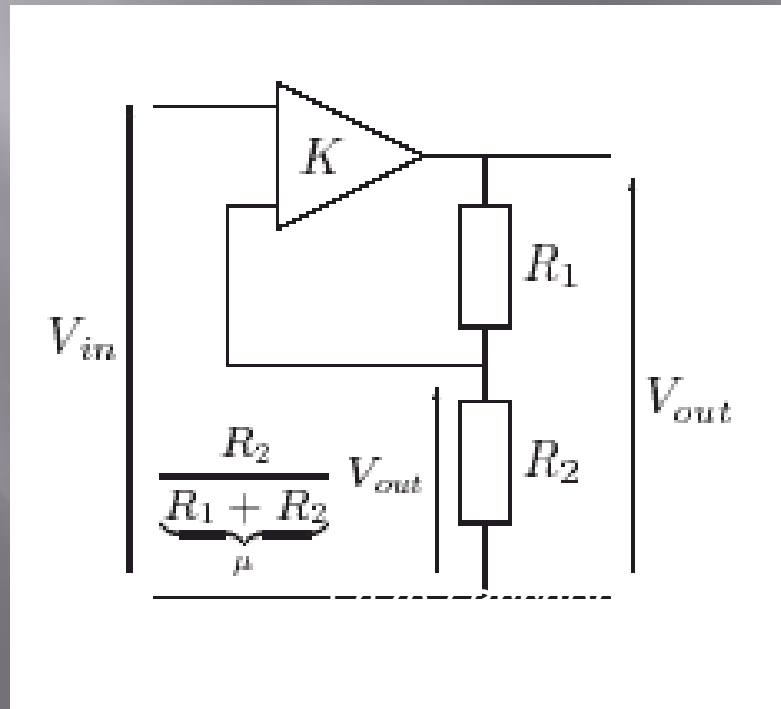
... así comenzó la aviación.

# Sistemas de control “artificiales”

El amplificador realimentado (Black, 1928) es el que impulsa las comunicaciones de larga distancia.



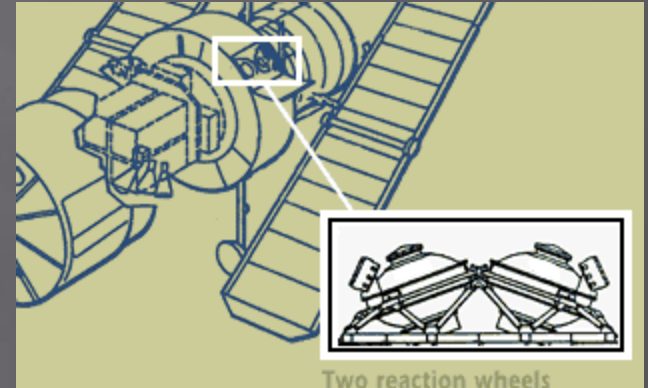
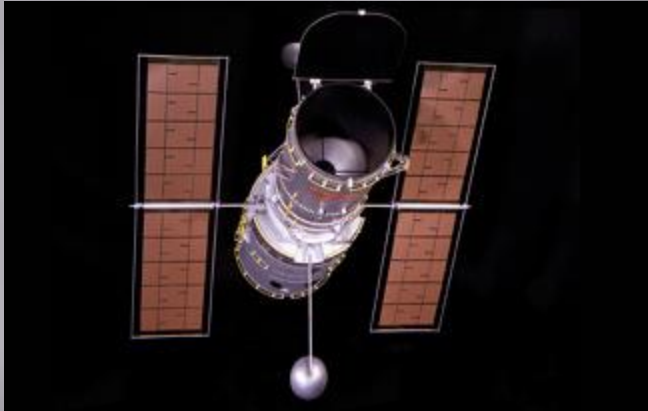
Lazo abierto



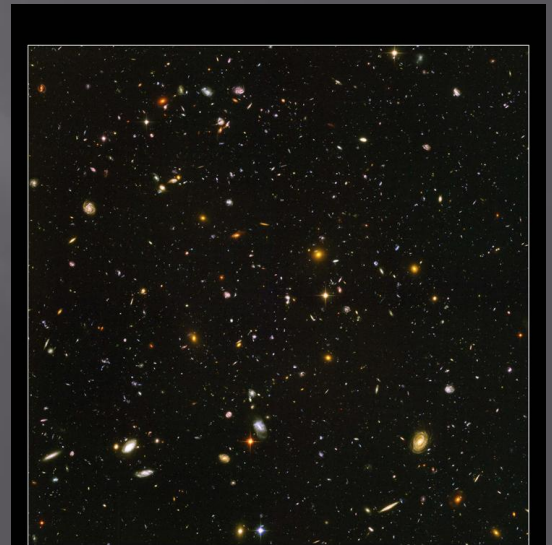
$$V_{out} = \frac{1}{\mu + K} V_{in}$$

# Sistemas de control “artificiales”

## Telescopio Hubble



El Hubble tiene la capacidad de permanecer apuntando al objetivo con no más de 0,007 segundos de arco de desviación durante largos períodos de tiempo. (esto equivale al ancho de un cabello visto desde 1 milla de distancia). Esto revolucionó la cosmología.



Hubble Ultra Deep Field  
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys



# Esta tecnología está presente en muchas aplicaciones ...

## Pero se la “ve” sólo cuando falla ...



4 June 1996

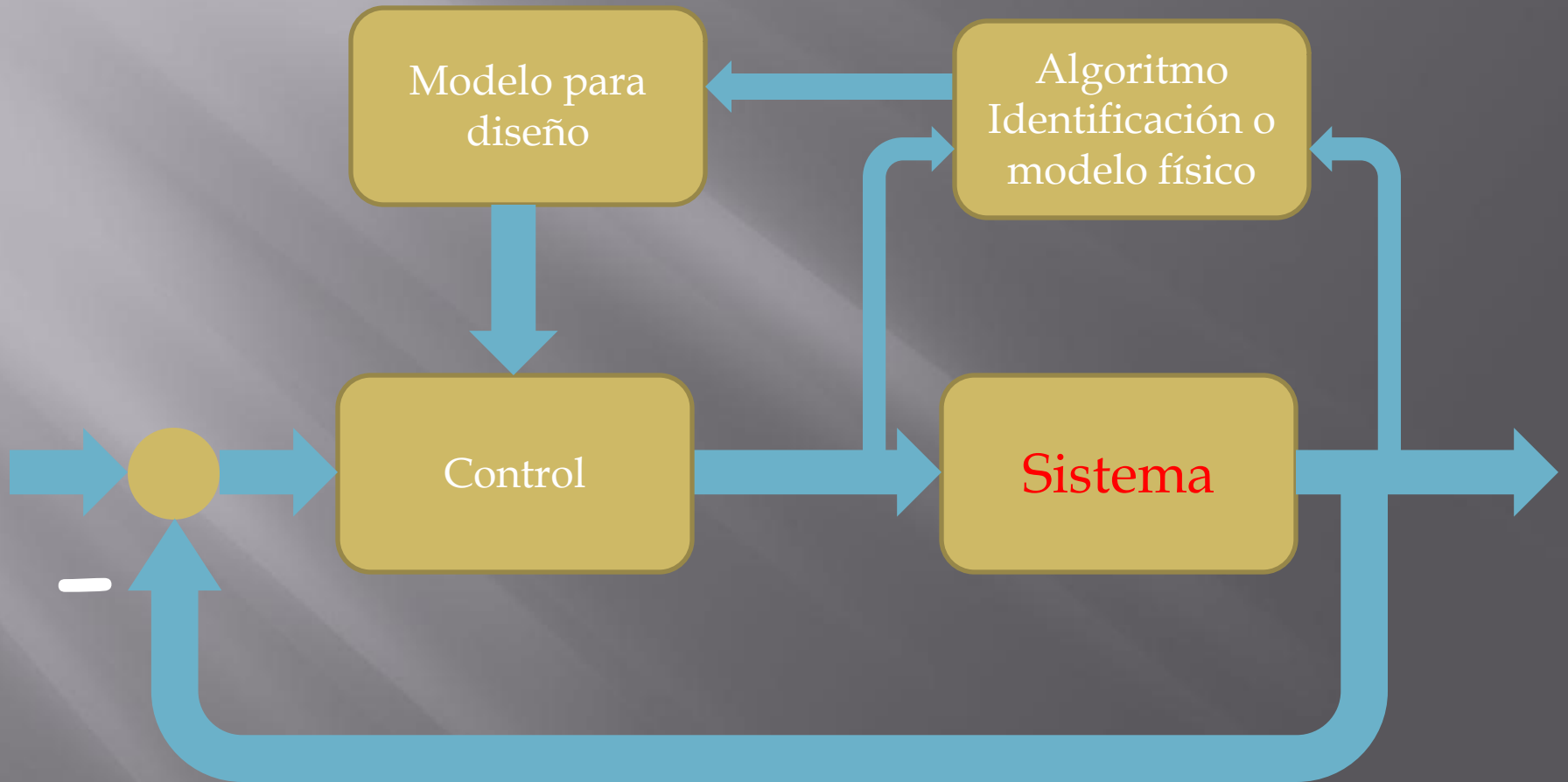
- Nominal behavior up to  $H_0 + 36$  seconds;
- Failure of the back-up Inertial Reference System and immediately of the active one
- Swivelling into the extreme position of the nozzles of the two solid boosters and, slightly later, of the Vulcain engine, causing the launcher to veer abruptly;
- Self-destruction of the launcher

The origin of the failure was rapidly narrowed down to the **flight control system** and more particularly to the Inertial Reference Systems, which obviously ceased to function almost simultaneously at around  $H_0 + 36.7$  s.

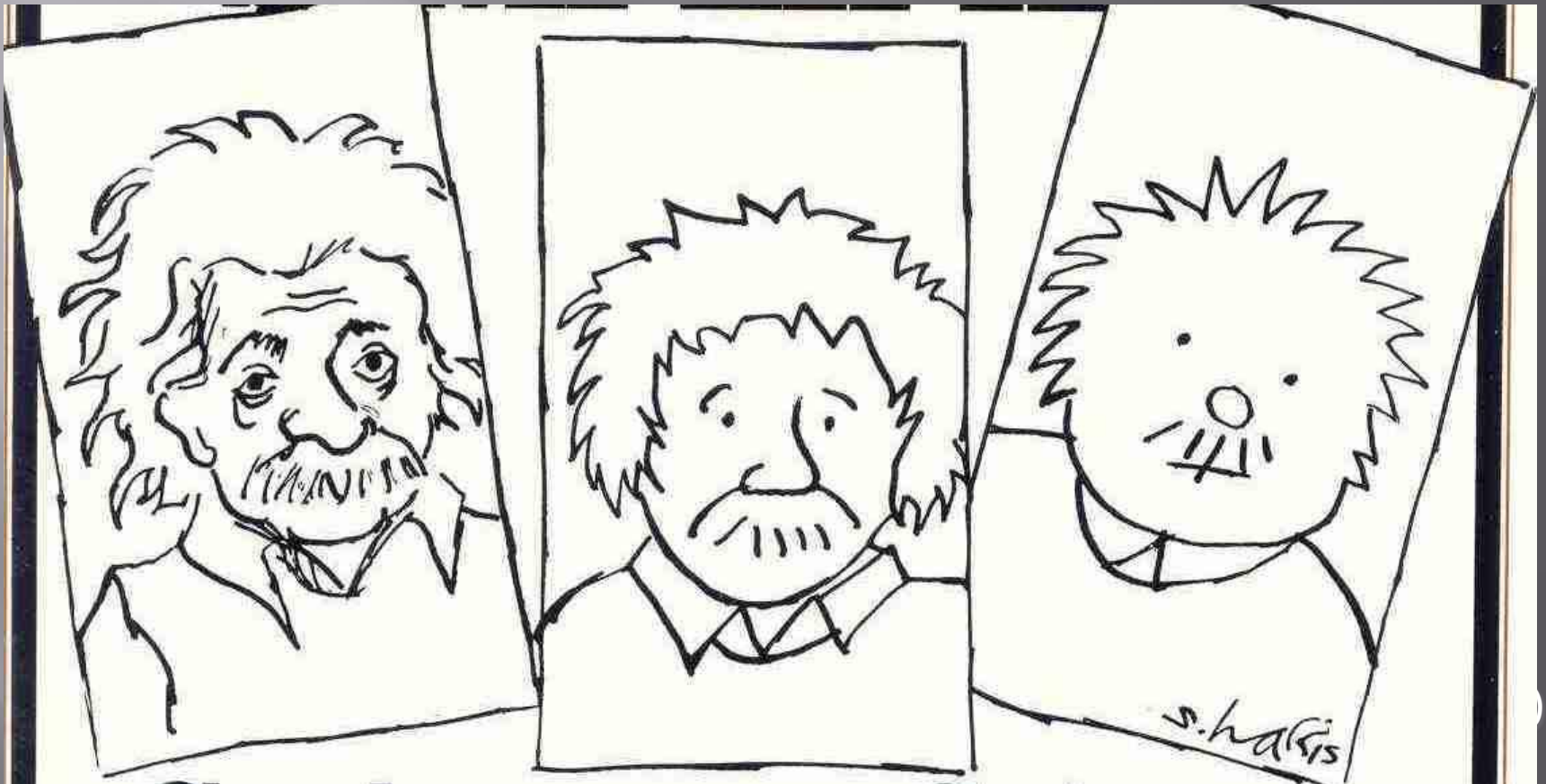




# ¿Qué es el Control Automático?



# 3 fases del problema



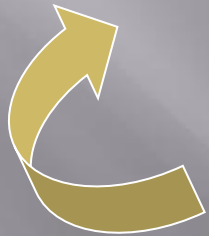
# Realidad, Modelos físicos, matemáticos y computacionales



Realidad



Simulación computacional



$$\dot{x}(t) = f[x(t), u(t), t], \quad y(t) = h[x(t), u(t), t]$$

o

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) \end{aligned} \iff y(s) = G(s)u(s)$$

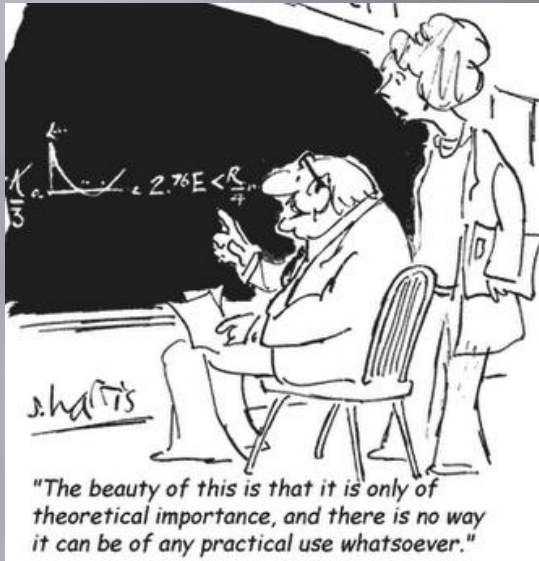
Modelo Matemático



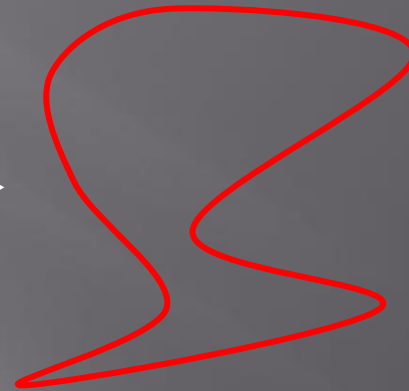
**Enfoque**  
***“ingenieril”***  
**del problema**



# ¿Teoría aplicada o Aplicación de la teoría?



Teoría



Aplicación



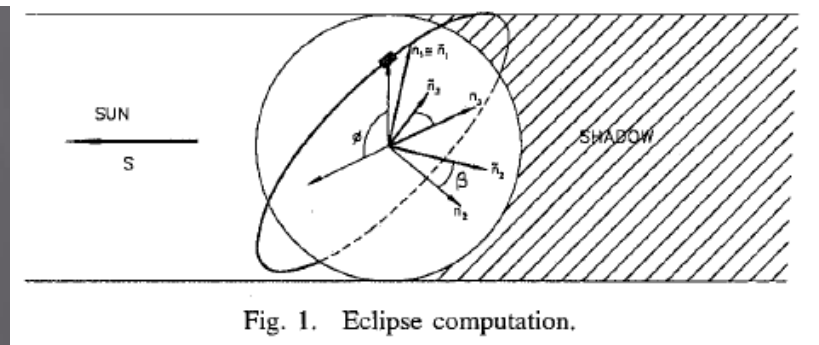
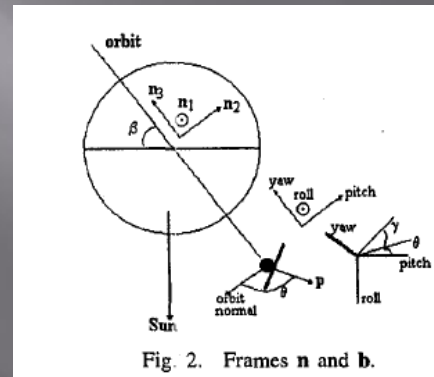
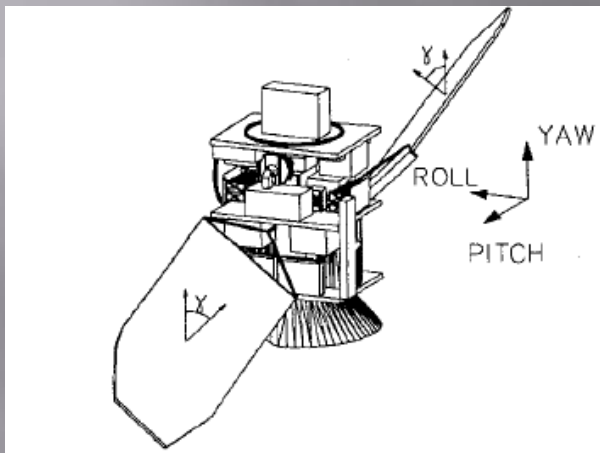
Aplicación



Teoría

# Subsistema de Potencia SAC-C (CONAE, 1998)

- ¿Cuál es la mejor orientación de los paneles solares del SAC-C para absorber la mayor energía posible a lo largo de su vida útil?



## Un problema de geometría

- ✓ Anigstein P., Sánchez Peña R., *Analysis of Solar Panel Orientation in Low Altitude Satellites*, **IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems**, Vol. 34, No. 2, 1998.



# Control de orientación y órbita (CONAE, 2000)

¿Cuál es el mínimo número de toberas que permiten orientar un vehículo espacial frente a una falla de cualquiera de ellas?

(Incentivo: costo por tobera > U\$S 50.000)

**Standard:** Caso nominal: 4 toberas; Caso c/1 falla: 8 toberas

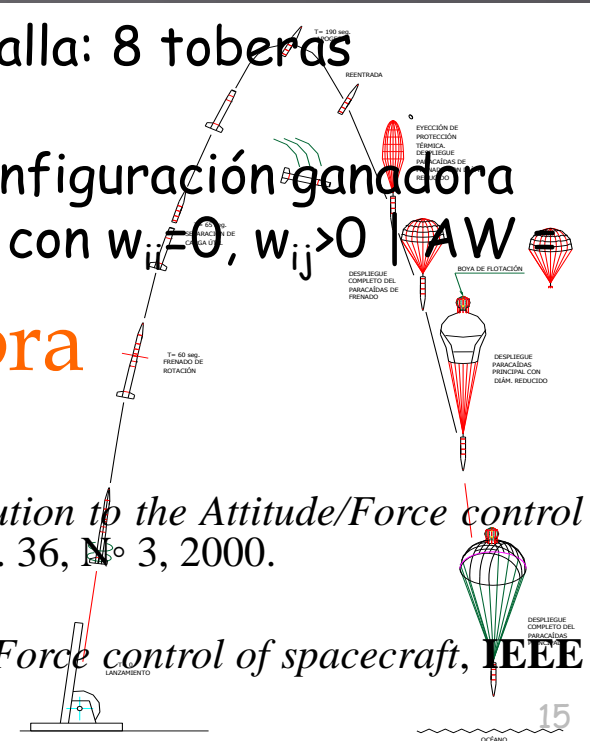
**Solución óptima:** 6 toberas, i.e. si  $T = AF$  la configuración ganadora

⊆ A rango completo y  $W$  con  $w_{ij} \neq 0$ ,  $w_{ij} > 0$  |  $AW$

[0]

## Un problema de álgebra

- ✓ Sánchez Peña R., Alonso R., Anigstein P., *Robust Optimal solution to the Attitude/Force control problem*, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronics**, Vol. 36, N° 3, 2000.
- ✓ Servidia P., Sánchez Peña R., *Thruster Design for the Attitude/Force control of spacecraft*, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronics**, Vol. 38, N° 4, 2002.

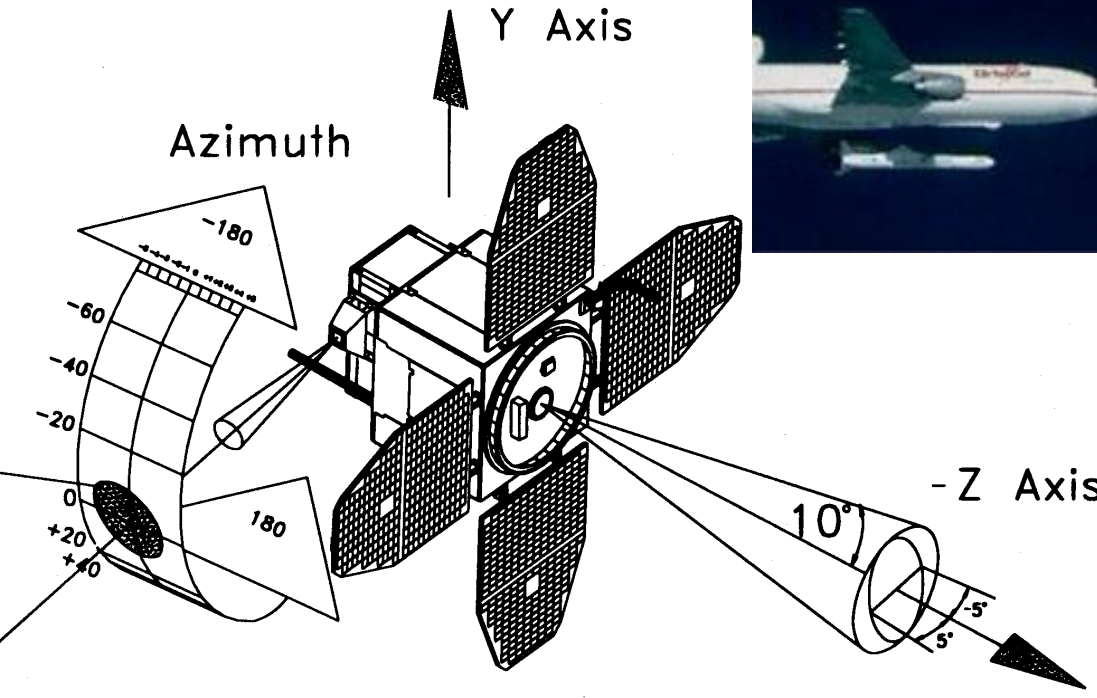


**Algunos ejemplos  
personales:**

*cosas que vuelan ...  
o se caen*



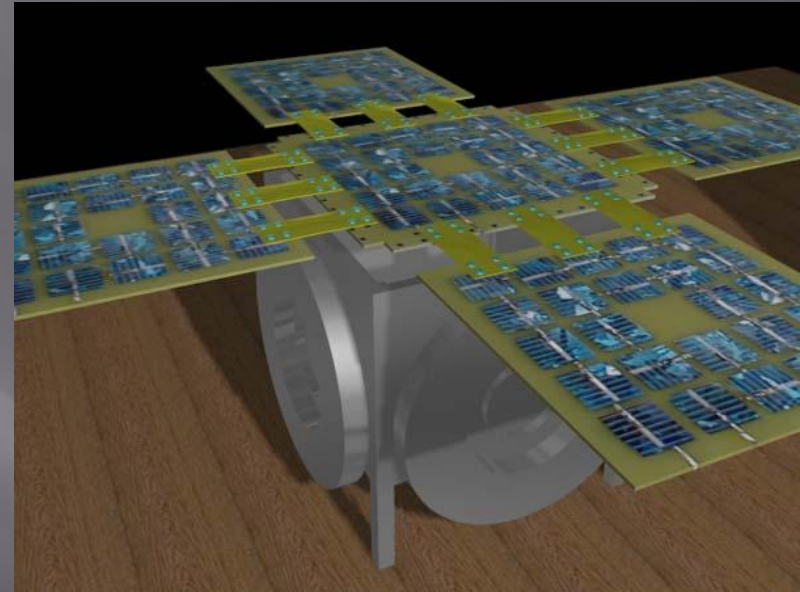
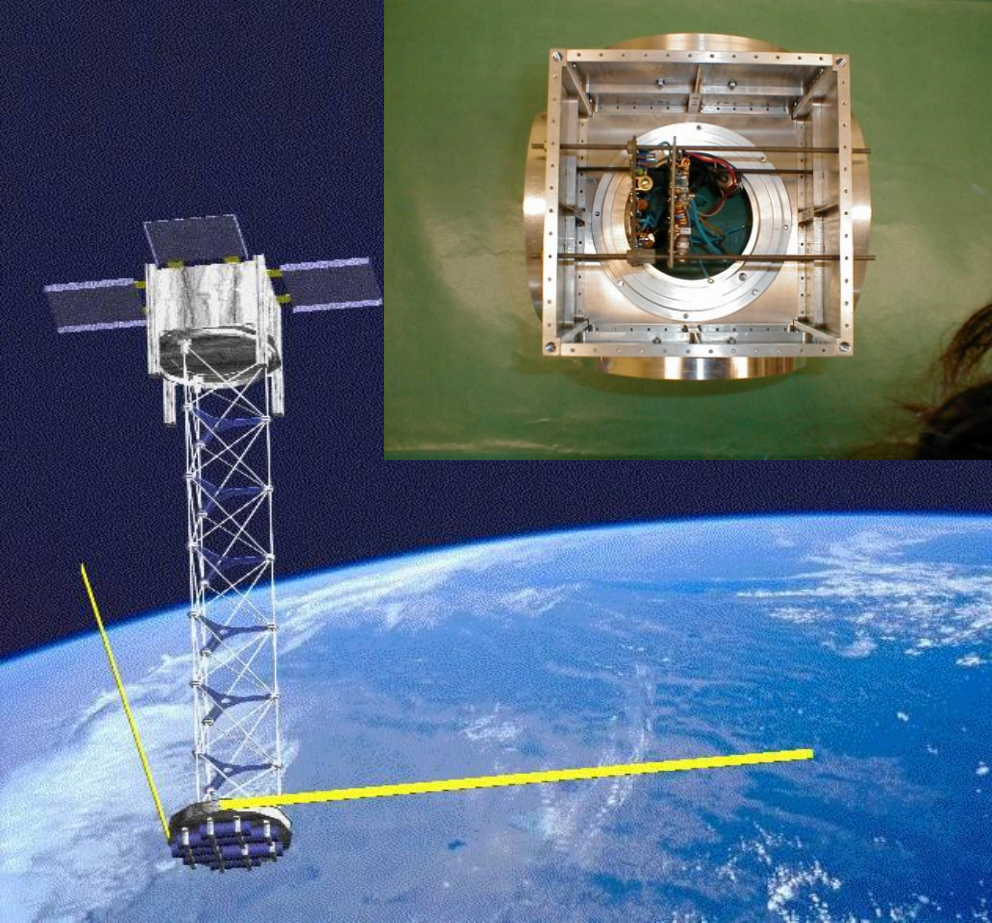
# Satellite SAC-B 1991-'95



# Satellite SAC-C 1996-'98



# Nanosatélite MSU-1 2000-'01



Métodos pasivos de control

Peso: 2 Kg

Vol:  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$



Martinelli M., Sánchez Peña R., *Passive 3-axis Attitude Control of the MSU-1 Pico Satellite*, **Acta Astronautica**, Vol. 56, N° 5, pp. 507-17, 2005.



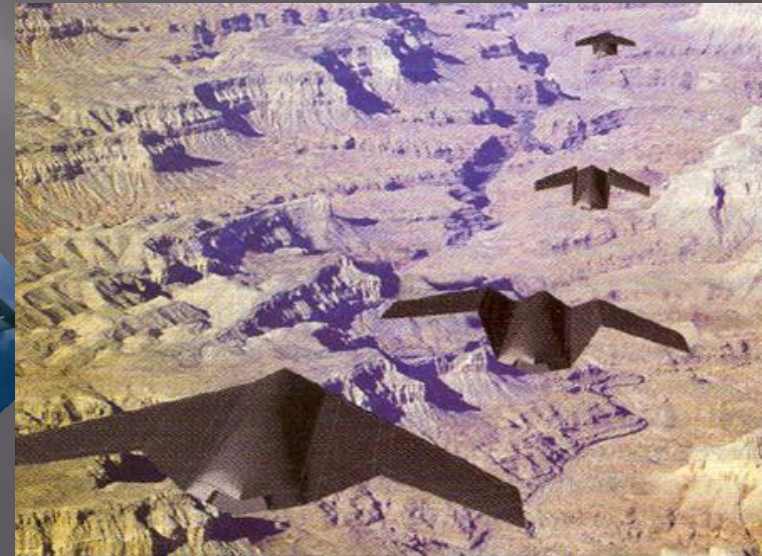
# Avión X29, NASA 1986-'88



Dryden Flight Research Center EC87 0182-14 Photographed 1987 X-29

Análisis del control ante incertidumbres en coeficientes aerodinámicos

# Zonatech-NASA 2005-'08



Diseño de control UAV c/estructura variable en vuelo

# UAVs - UPC '05-'08



# UAVs - ITBA-FIUBA 2010-...



Vuelos en formación



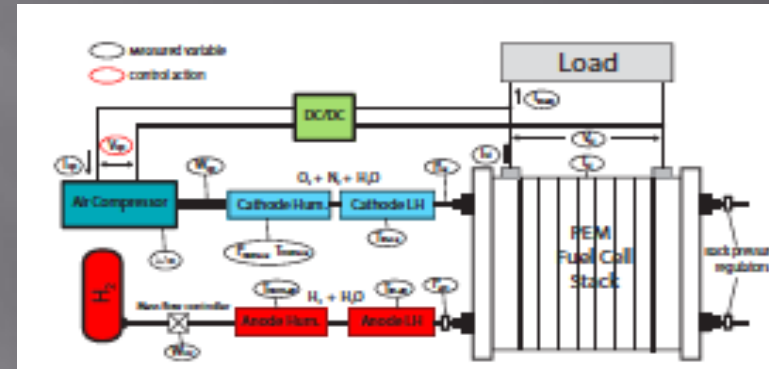
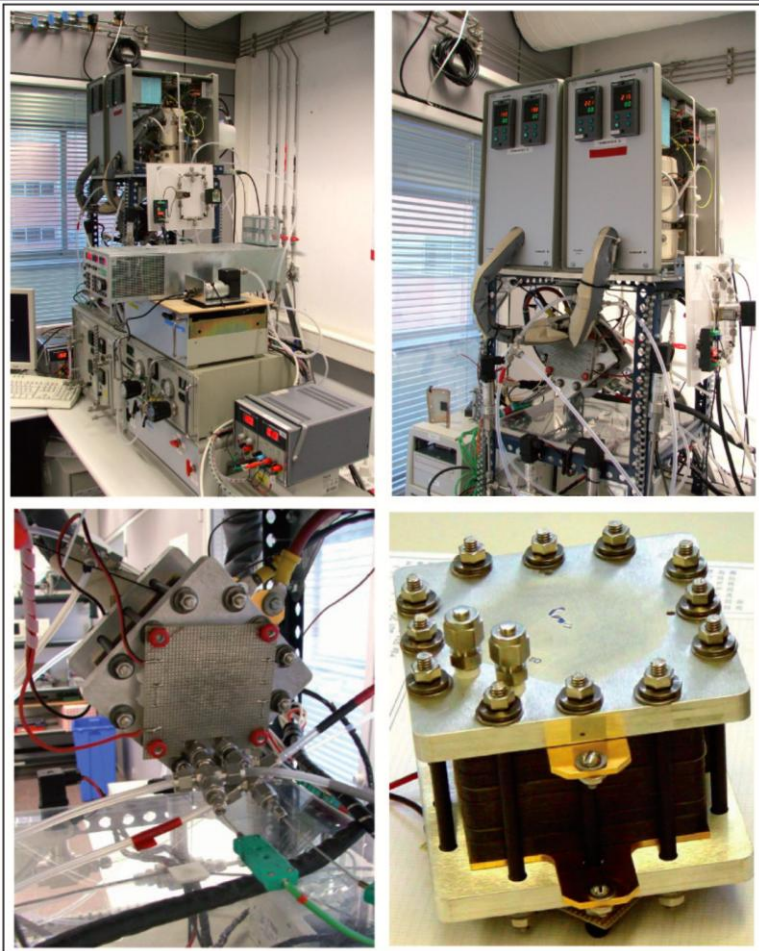


**Algunos ejemplos  
personales:**

***Temas energéticos***

# Alstom- Ecotecnia '07-'08





# Celdas de H<sub>2</sub> 2010-...

Bianchi, Kunusch, Ocampo-Martínez, Sánchez Peña, *A gain-scheduled LPV control for oxygen stoichiometry regulation in PEM fuel cell systems*, **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, Vol. 22, No. 5, pp. 1837-1844, 2014.

Bianchi, Ocampo-Martínez, Kunusch, Sánchez-Peña, *Fault-tolerant ellipsoidal unfalsified control for PEM fuel cell systems*, in press **IEEE Transactions on Energy Conversion**, August 2014.

**Algunos ejemplos  
personales:**

***Temas de salud***



# Control activo de ruido en cascos de motociclismo (2007-08) y (2011-14)

## □ Problemas

Estrés, insomnio, interferencia com., pérdidas de audición (NIHL)

## □ Soluciones?

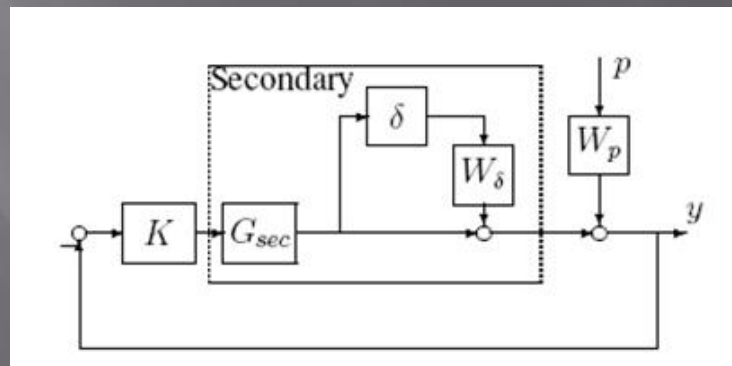
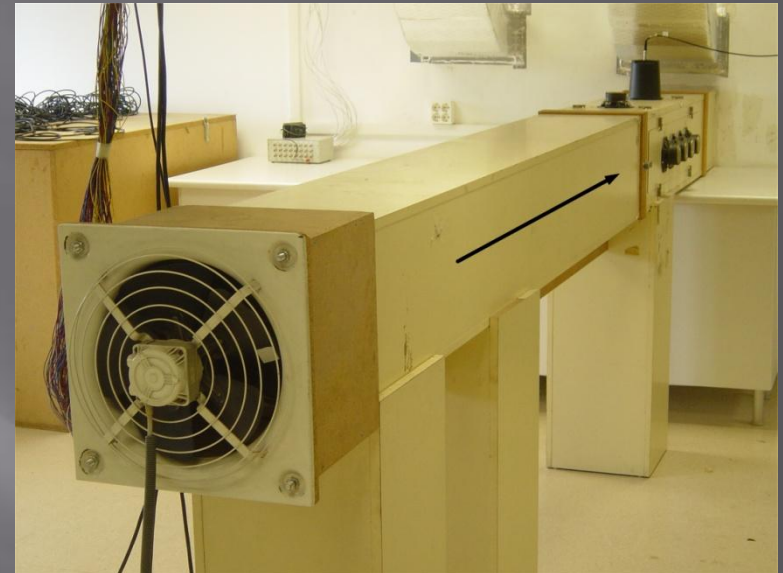
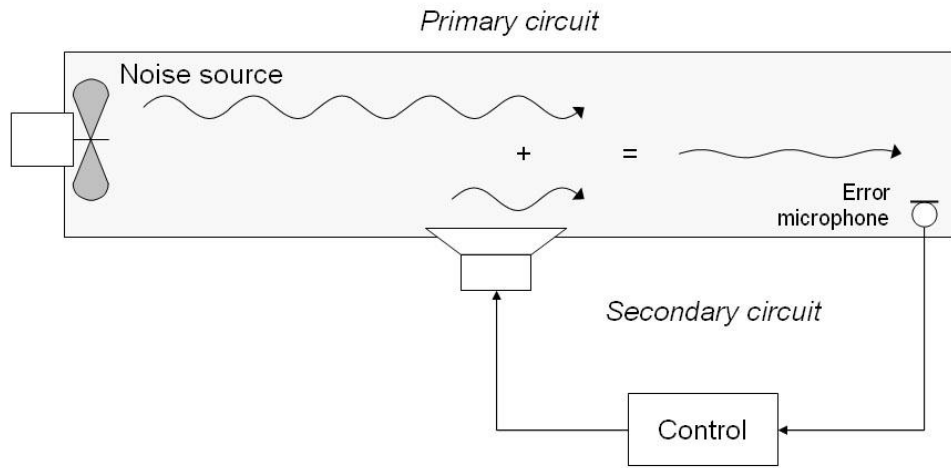
- ✓ Bandas de cuello: poca atenuación (~4dB)
- ✓ Tapones: no atenúan bajas frecuencias
- ✓ CAR clásico: buen costo/performance pero es tiempo invariante



Uso de controles tiempo variantes



# Control Activo de Ruido



# EXPERIMENTOS '07-'08: laboratorio y carretera

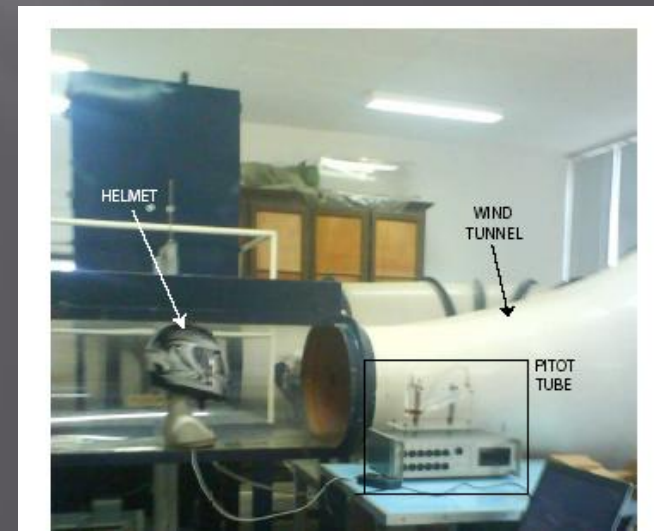


+ Se estableció la **relación** entre la velocidad del aire y el ruido

+ Se obtuvieron datos para **identificar** y **simular** a diferentes velocidades.

+ Se analizó el **espectro** del ruido para cada velocidad.

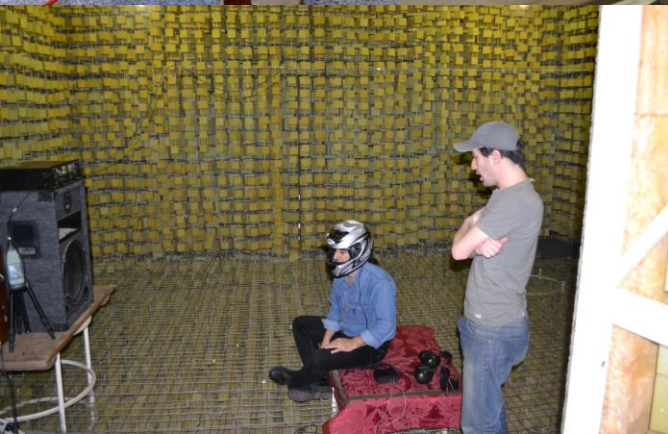
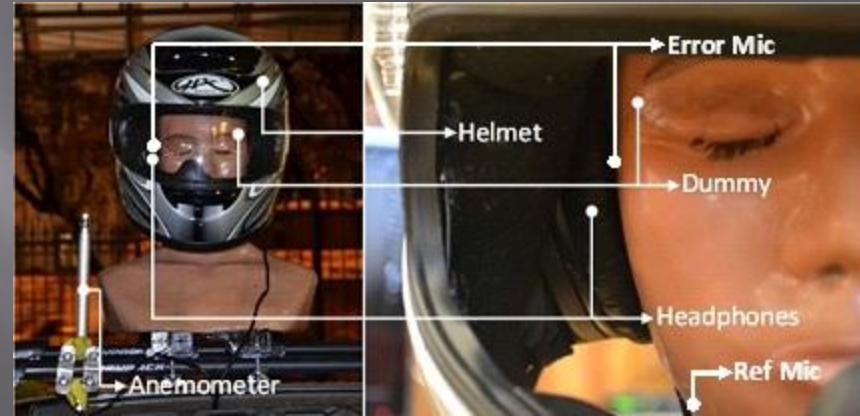
+ Se determinó el **ancho de banda** de trabajo.





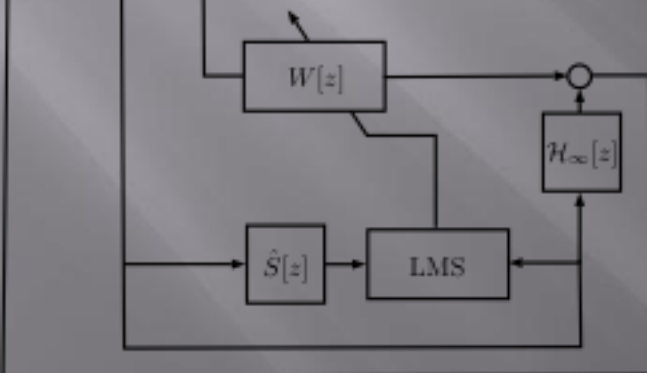
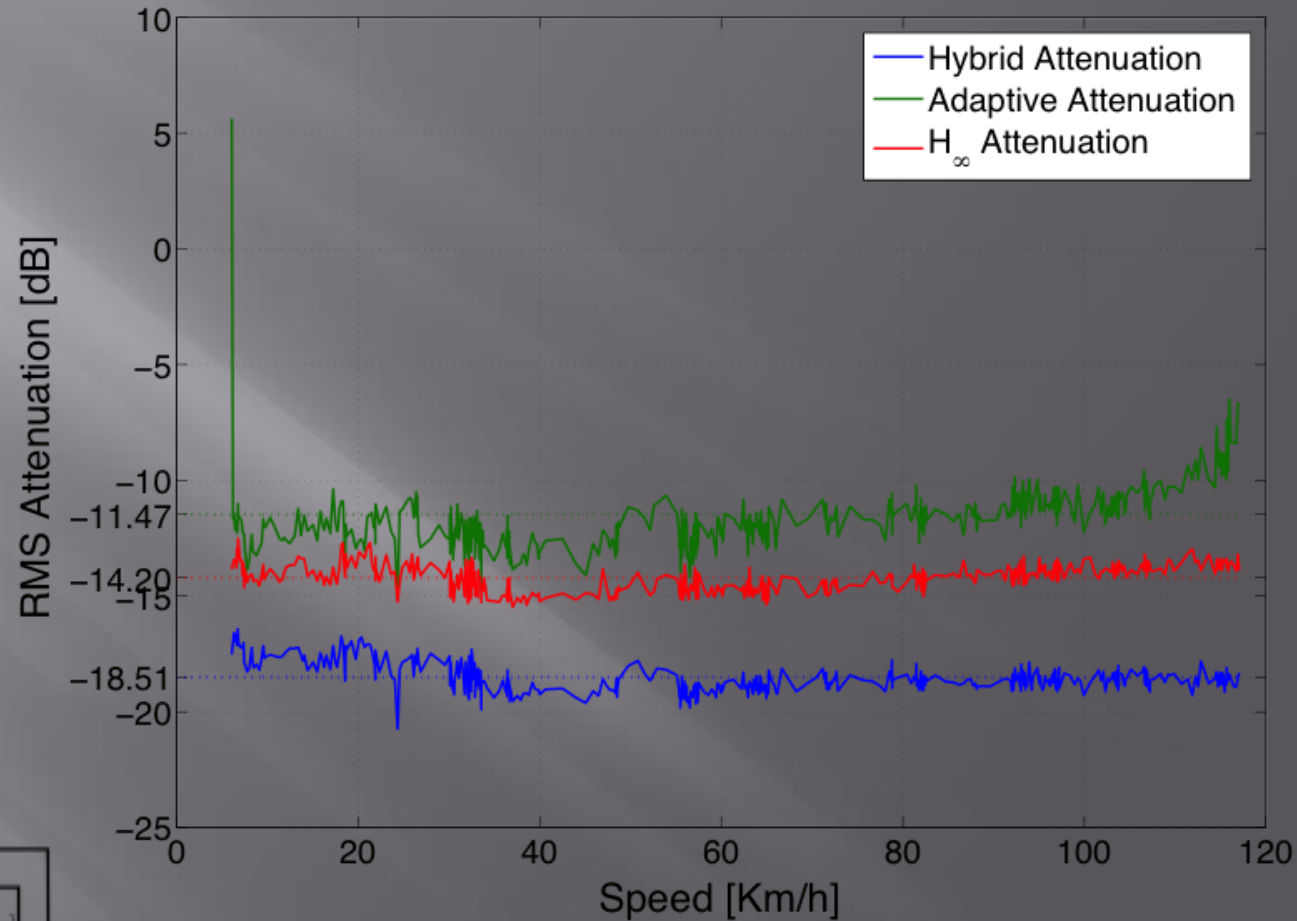
# ... y desde 2011

- Experimentos en ambiente controlado (cámara anecoica)
- Nuevos experimentos en ruta c/cabeza artificial





# Resultados c/controles tiempo-variantes



# Control de Diabetes Mellitus tipo 1 (2011-...)

El cuerpo tiene muchos lazos de control. El Control puede ser usado como herramienta médica para la Diabetes Mellitus tipo 1, que usualmente realiza el paciente bajo indicación médica en forma manual. Nosotros buscamos automatizarlo (en línea con el proyecto internacional Páncreas Artificial).



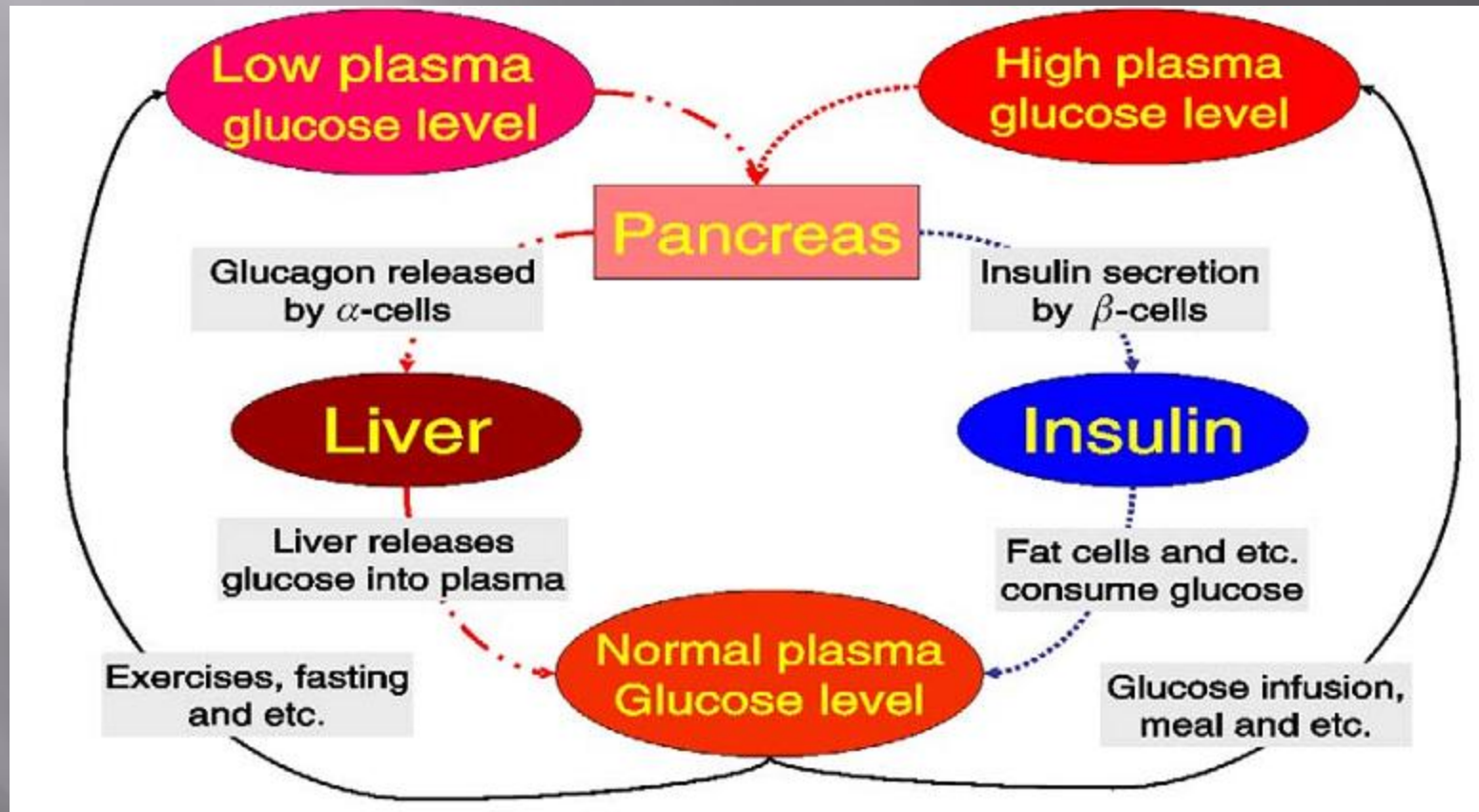
## Colaboraciones:

Doyle's group, UCSB (Univ. of California @ Santa Barbara, USA)  
Hospital Italiano y Sociedad Argentina de Diabetes  
UNLP (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)

## Financiación:

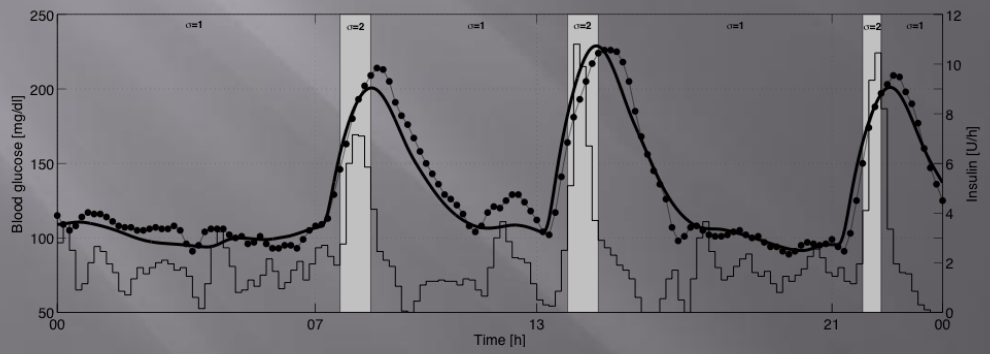
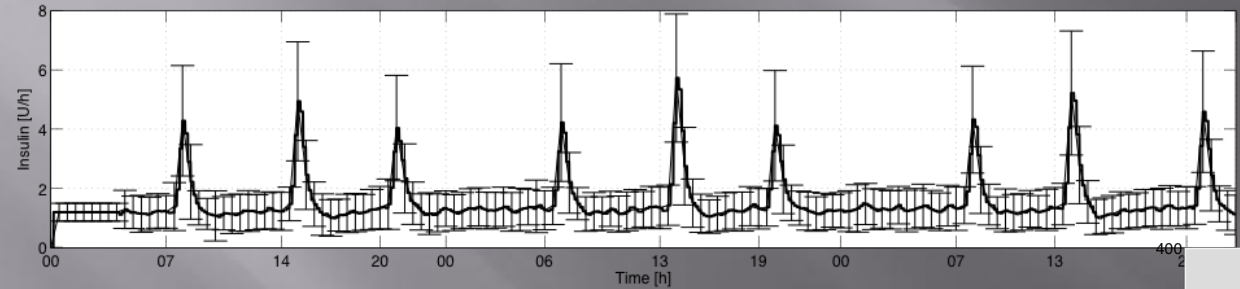
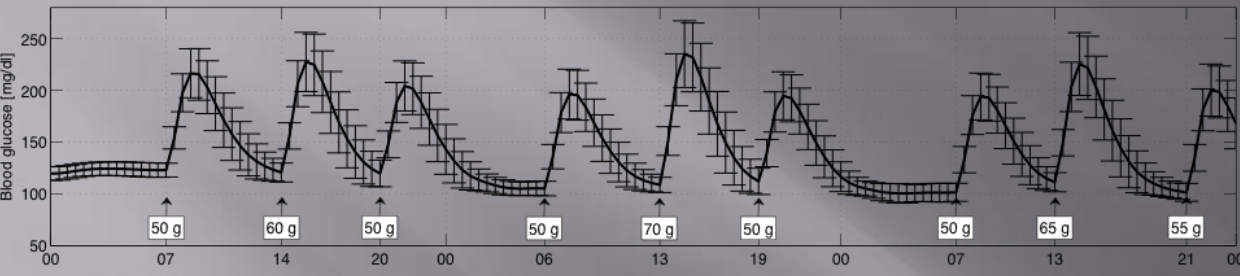
ITBA y Fundaciones Cellex (España) y Nuria (Argentina)

# Control natural de glucosa en sangre

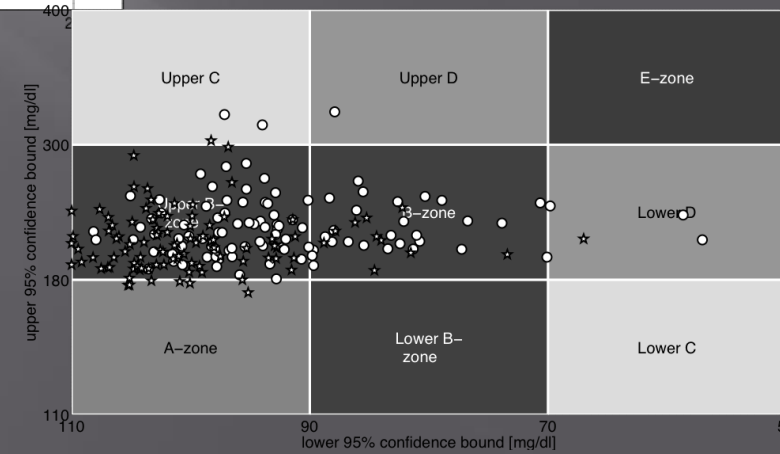


# Algunos resultados (LPV-conmutado)

	Breakfast 1		Lunch 1		Dinner 1		Breakfast 2		Lunch 2		Dinner 2		Breakfast 3		Lunch 3		Dinner 3	
	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size	Time	Size
#1	7 AM	50 g	2 PM	60 g	8 PM	50 g	6 AM	50 g	1 PM	70 g	7 PM	50 g	7 AM	50 g	1 PM	65 g	9 PM	55 g



En simulador UVa/Padova completo (del proyecto Páncreas Artificial) aprobado por FDA para saltar prueba en animales





# Centro de Sistemas & Control



- ✓ Teoría
- ✓ Algoritmos
- ✓ Aplicaciones



Ministerio de  
Ciencia, Tecnología  
e Innovación Productiva  
Presidencia de la Nación

CONICET



*Muchas gracias*



*¿Preguntas?*