

# Introducción a la Robótica Móvil

Segundo cuatrimestre de 2016

Departamento de Computación - FCEyN - UBA

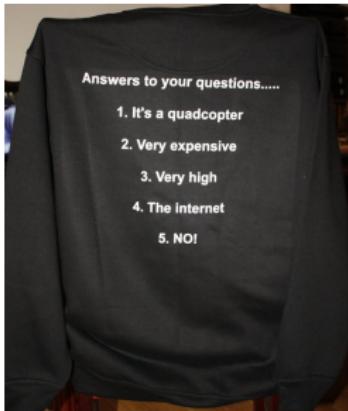
Teórica - clase 17

Robots Aéreos

# Contenido

(o “razones para quedarse”)

- Robots aéreos (o *drones*, *UAVs*, *VANTs*):
  - ¿Por qué nos interesan? (aplicaciones, diferencias respecto de terrestres)
  - ¿Cómo vuelan? (principios de vuelo, tipos de plataformas aéreas)
  - ¿Como funcionan? (componentes de hardware, sistemas de control, sensores)



# ¿Qué es un drone/VANT/UAV?

## **Unmanned Aerial Vehicle o Vehículo Aéreo No Tripulado**

- En principio podría ser un avión radio-controlado
- Robot Aéreo: para nosotros “no tripulado” = “autónomo”
- ¿Qué significa autónomo? ¿Quién vuela el avión? ¿Dónde está el piloto?

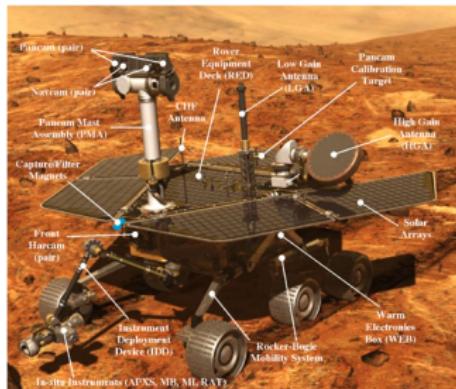


Niveles de autonomía:

- Estabilización, seguimiento de *setpoint* **Estabilización, seguimiento de setpoint**
- Seguimiento de Trayectorias
- Navegación autónoma

# Tipos de robots

- Terrestres: patas, ruedas, orugas
- ✓ Fácil de manejar, puede cargar peso
- ✗ Terreno accidentado, movilidad limitada



# Tipos de robots

- Aéreos:

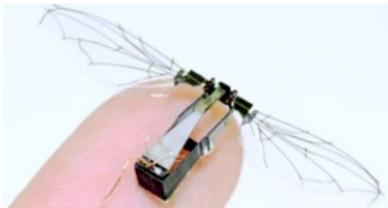
- ✓ Agilidad, movilidad (3D!)
- ✗ Manejo más complejo, peso impacta en consumo energético



# ¿Por qué nos interesan?

- Diversas aplicaciones:
  - Búsqueda y rescate (derrumbe)
  - Inspección de estructuras (líneas de alta tensión) ([video](#))
  - Sensado remoto (radiación, químicos) ([video](#))
  - Sobrevuelo en zonas de incendio ([video](#))
  - Transporte de pequeñas cargas a zonas inaccesibles (medicamentos)
  - Como plataforma de investigación científica ([video](#))
  - Otras aplicaciones ingeniosas ([video](#))

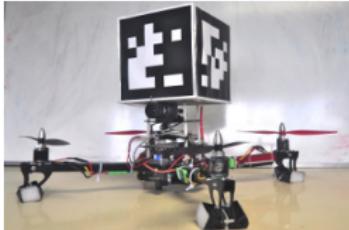
# Robots Aéreos



## Clasificación según forma de vuelo:

- Ala Rotativa: Multicópteros y Helicóptero
- Ala Fija
- Híbridos ó VTOL(Vertical TakeOff Or Landing)
- Otros

# Multicópteros



## Ventajas

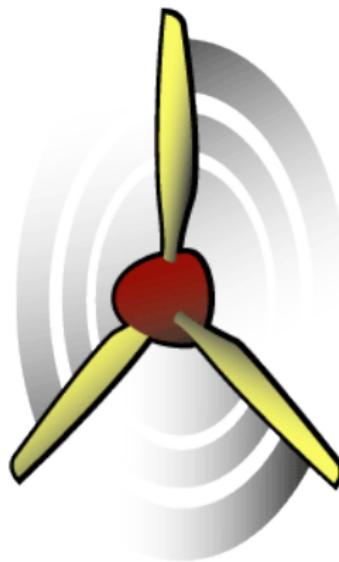
- Despegue y aterrizaje más simple
- Pueden mantener una posición fija
- Gran capacidad para hacer maniobras
- Ideales para aplicaciones como inspección de ambientes industriales

## Desventajas

- Control más complejo
- Menor tiempo de vuelo

# Un poco de aerodinámica

## Ala rotativa



- Hélice = varias alas que rotan respecto del eje
- Un motor mantiene las “alas” en movimiento generando una *fuerza de empuje*

# Ala Fija



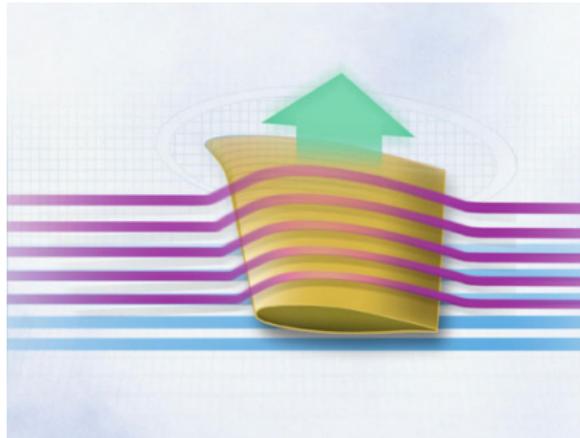
## Ventajas

- Aerodinámica más eficiente
- Vuelos más largos
- Ideales para recorrer terrenos extensos

## Desventajas

- No puede mantener una posición fija
- Mayor tamaño

# Ala Fija



## Un poco de Aerodinámica

- La diferencia de velocidad del aire por encima y por debajo del ala genera una fuerza de sustentación
- Requiere estar en movimiento relativo al aire para generar dicha fuerza

# Híbridos o VTOL



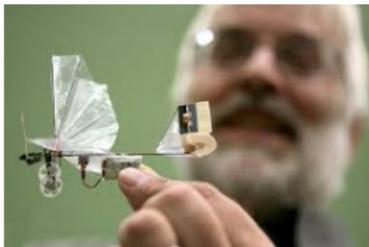
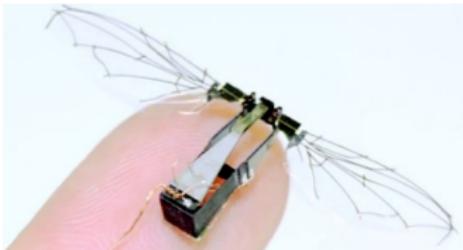
## Ventajas

- Combina el tipo de vuelo del Multicoptero con el del Ala Fija.
- Ideales para aplicaciones híbridas.

## Desventajas

- Estructura mecánica muy compleja
- Menor tiempo de vuelo que un ala fija
- Mayor peso que un multicóptero
- Control más complejo por la transición

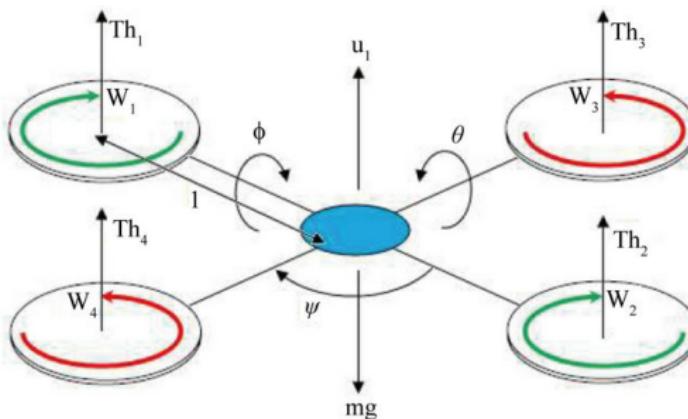
# Otros robots aéreos



# Cuadricóptero

## Modelo

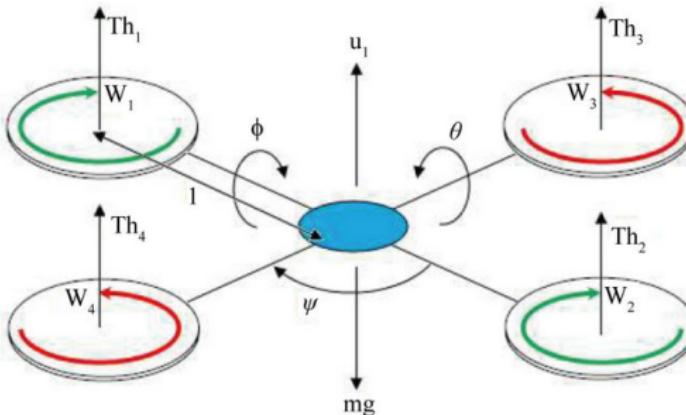
- Cuatro motores con velocidades rotacionales:  $w_1, \dots, w_4$
- Vehículo con masa  $m$ , peso  $m.g$
- Vale que  $w_i^2 \sim T_i$ , empuje (*thrust*) de cada motor (depende de hélice, motor, etc).
- Momento de las fuerzas:  $M_i = L \times T_i$  (torque)



¿Cómo hago para controlar el movimiento? ¿Como lo mantengo perfectamente estático?

# Cuadricóptero

Condición de hover

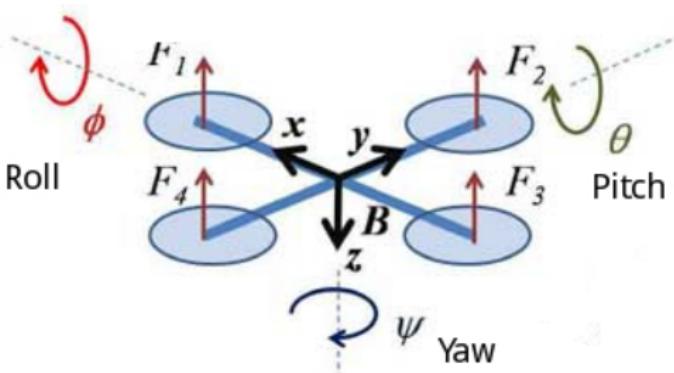


- Equilibrio de fuerzas:  $\sum T_i = mg$
- Equilibrio de direcciones:  $T_i \parallel g$
- Equilibrio de momentos:  $\sum M_i = 0$
- Equilibrio de velocidades:  $(w_1 + w_3) - (w_2 + w_4) = 0$

Violar alguna(s) de estas condiciones implica un movimiento del vehículo

# Cuadricóptero

## Control de Movimiento



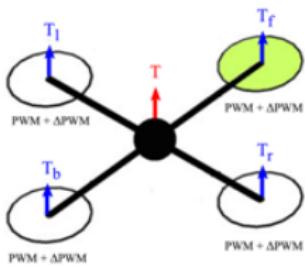
Describimos al vehículo con:

- Posicion:  $(x, y, z)$  (longitudinal, lateral, vertical)
- Orientación:  $(\phi, \theta, \psi)$  (ángulos de *roll*, *pitch*, *yaw*)
- Velocidad lineal:  $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$
- Velocidad rotacional:  $(\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi})$

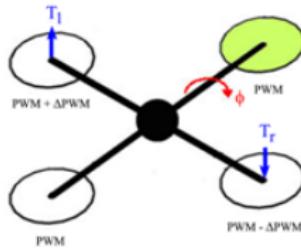
**Condicion de hover** = velocidades y orientación en cero.

# Control de Movimiento

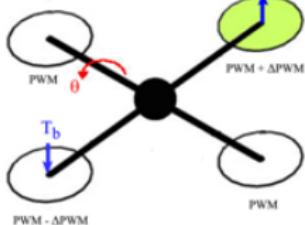
- **Altitud ( $z$ ):**  $\sum T_i \neq mg$  (desequilibrio de fuerzas)
- **Vel. en yaw ( $\dot{\psi}$ ):**  $(w_1 + w_3) \leq (w_2 + w_4) \rightarrow \dot{\psi}$  (desequilibrio velocidades)
- **Vel. en roll/pitch ( $\dot{\phi}, \dot{\theta}$ ):**  $\sum M_i \neq 0$  (desequilibrio de momentos)



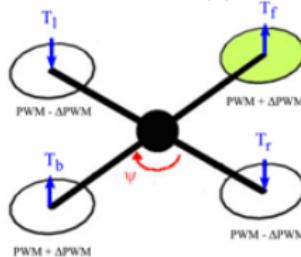
(a)



(b)

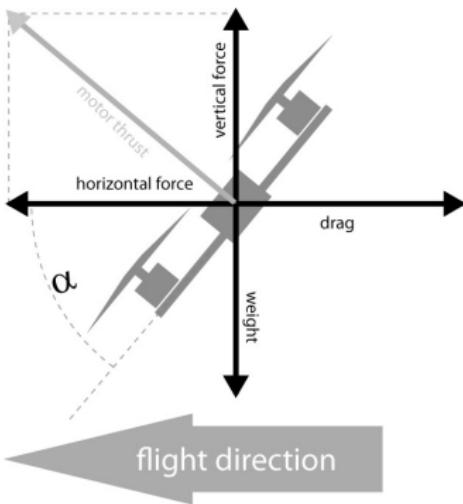


(c)



(d)

# Control de Movimiento



- Controlar el movimiento del vehículo → controlar las fuerzas que actúan sobre él
- $T_v = \sum T_i \cos(\alpha)$ ,  $T_h = \sum T_i \sin(\alpha)$
- ¿Qué pasa si  $\alpha \neq 0$  y no cambio  $\sum T_i$ ?

# Modelo Cinemático

Se puede llegar a que:

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= k_r((w_1 + w_4) - (w_2 + w_3)) \\ \dot{\theta} &= k_p((w_1 + w_2) - (w_3 + w_4)) \\ \dot{\psi} &= k_y((w_1 + w_3) - (w_2 + w_4))\end{aligned}$$

Asumiendo un único  $k$  y  $F = \sqrt{\sum T_i}$  (se puede ver que esto alcanza):

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k & -k & -k & k \\ k & k & -k & -k \\ k & -k & k & -k \\ k & k & k & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix}$$

Pero lo que nos interesa es la **cinemática inversa**  $K^{-1}$ :

$$\begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{pmatrix} = K^{-1} \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ F \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k' & -k' & k' & k' \\ -k' & k' & -k' & k' \\ -k' & -k' & k' & k' \\ k' & -k' & -k' & k' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ F \end{pmatrix}$$

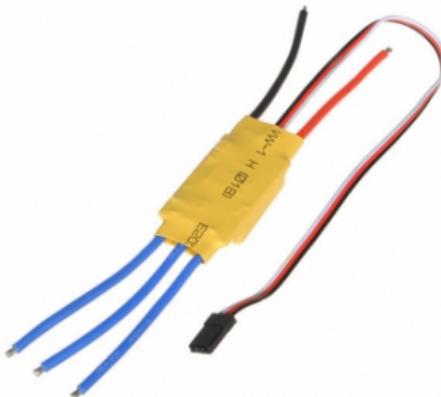
con  $k' = \frac{1}{4k}$

# Modelo Cinemático

## Control de motores

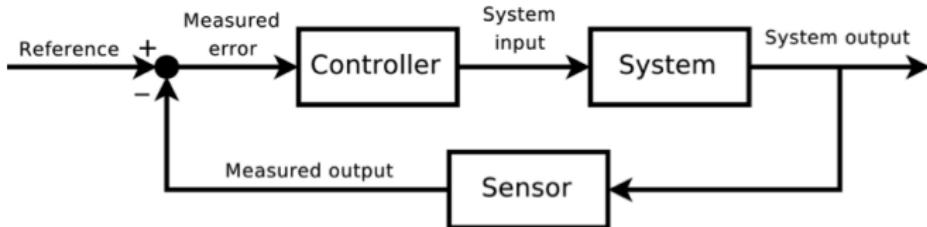
¿Puedo controlar  $w_i$ ? ¿Lazo abierto o cerrado? ¿Tengo encoder?

- No se usan *encoders* (es factible sensar utilizando *back EMF*, pero no es usual)
- El lazo se cierra a otro nivel (ya veremos)
- Asumo  $w_i = a \text{ PWM}_i$

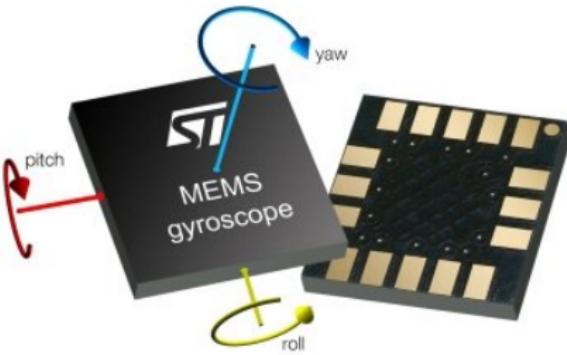


**ESC:** Electronic Speed Controller

# Control



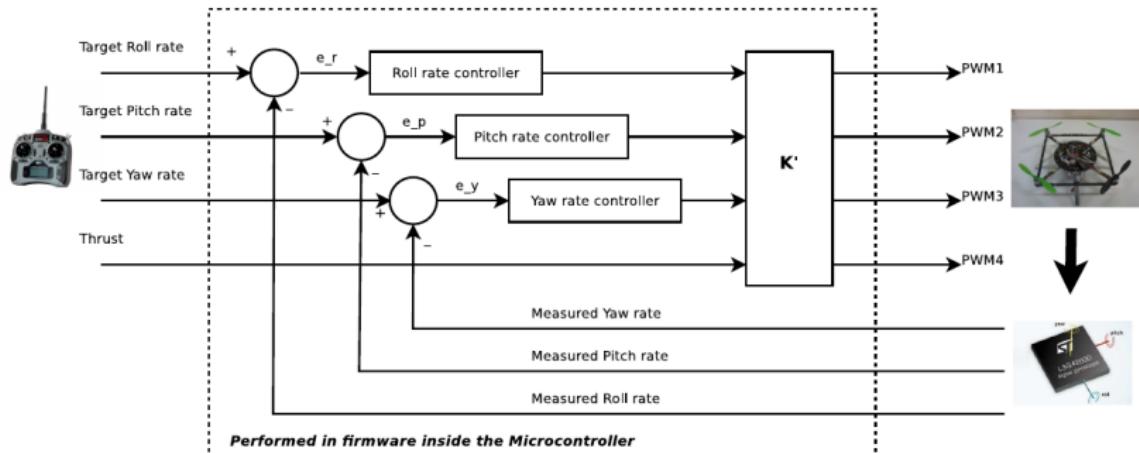
- Queremos un control a lazo cerrado de  $(\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}, F)$
- ¿Qué sensor usamos cerrar para el lazo de control?



Giróscopo MEMS de 3 ejes

# Control

## Control por velocidad angular



Este modo se suele conocer como **acrobático**

¿Se imaginan como volarlo por radio-control?

# Control

## Control por ángulos

- Ahora queremos controlar directamente  $(\phi, \theta, \psi, F)$
- ¿Qué sensor usamos cerrar para el lazo de control?



IMU: giróscopo + acelerómetro

- ¿Cómo obtengo la orientación?

# Estimación de orientación

- Giróscopo: velocidades precisas. Podría integrarlas, pero eso rápidamente diverge
- Acelerómetro: mide aceleraciones que actúan sobre él, incluyendo la de la gravedad

Puedo descomponer ese vector de aceleración y obtener  $\phi$  y  $\theta$  como:

$$\phi = \tan^{-1} \left( -\frac{a_y}{a_z} \right), \theta = \tan^{-1} \left( \frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right)$$

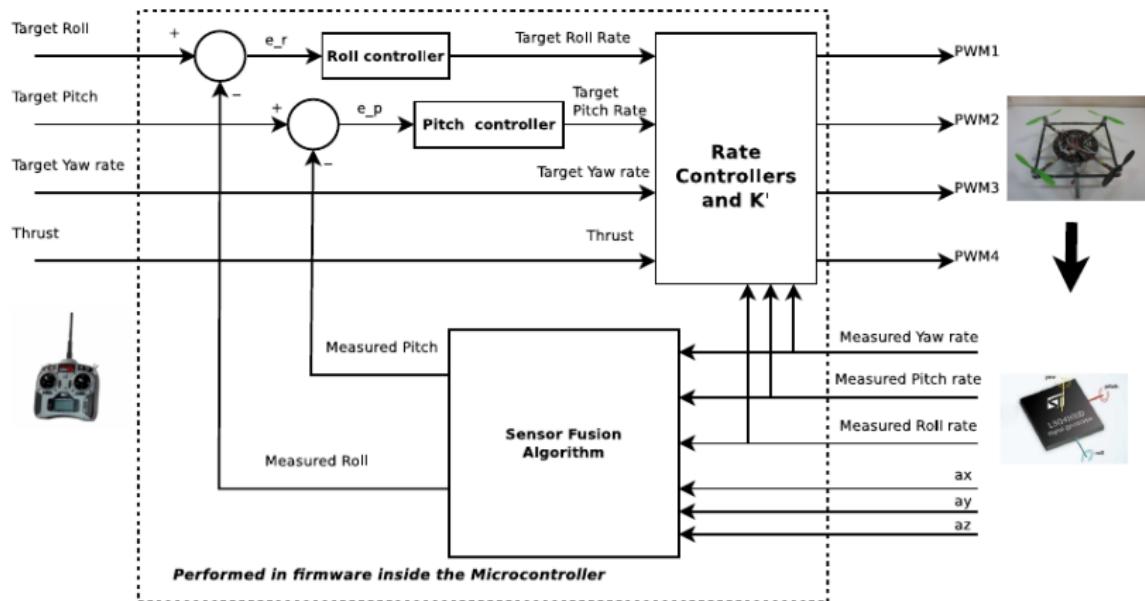
Pero, ¿qué pasa con las otras aceleraciones?

## Solución: filtro de fusión

- Filtro Complementario
- Filtro de Kalman

# Control

## Control por orientación



Este modo se suele conocer como **estabilizado**  
¿Y ahora? ¿Se imaginan como volarlo por radio-control?

# Control

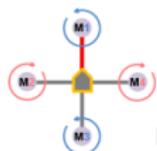
## Control posición/velocidad

Se repite el esquema de controlador anidado:

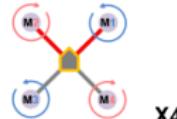
- Altitud  $z$ : control de  $F$  en base a sensor de altitud (barómetro, ultrasonido, laser)
- Velocidad  $v_x, v_y$ : controla  $\phi, \theta (\sim a_x, a_y)$  usando sensor de flujo-óptico, visión, SLAM, etc.
- Posición  $x, y$ : controla  $v_x, v_y$  usando sensor de posición (sistema de localización externo, SLAM, GPS, etc.)
- Yaw ( $\psi$ ): control de  $\dot{\psi}$  usando magnetómetro

# Multicóptero

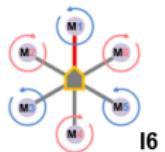
Todo esto puede ser replicado directamente en otras configuraciones.



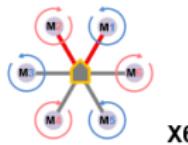
I4



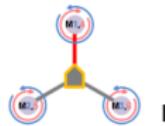
X4



I6



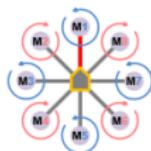
X6



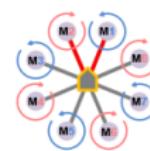
IY6



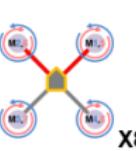
Y6



I8



V8



X8

**Pregunta:** ¿Qué cambiaría principalmente?

# VANTs para la conservación del medio ambiente

## Visión del proyecto

La caracterización, relevamiento y monitoreo de los bosques nativos es clave desde el punto de vista ambiental, económico y social.

¿Qué metodologías existen para esto?

- Análisis de imágenes satelitales.
- Trabajo de campo.
- Procesamiento de imágenes aéreas obtenidas por VANTs.

# Objetivos del proyecto

- Diseñar y construir plataformas VANTs para el monitoreo de bosques nativos.
- Desarrollar algoritmos para el procesamiento supervisado de las imágenes obtenida por los VANTs.
- Proponer una metodología que permita el monitoreo del aprovechamiento forestal.



# ¿Qué sensores y actuadores usamos en los VANT?

- IMU: velocidad angular
- Barómetro: altura
- Magnetómetro (brújula o compás): ángulo absoluto (norte magnético)
- GPS: posición global.
- Sensor de velocidad del viento: velocidad relativa al viento.
- Cámara: captura las imágenes
- 1 motor eléctrico: propulsión
- 2 servomotores: control alerones



# ¿Y dónde está el piloto?

Autopiloto = microcontrolador (unidad de procesamiento) + sensores + software

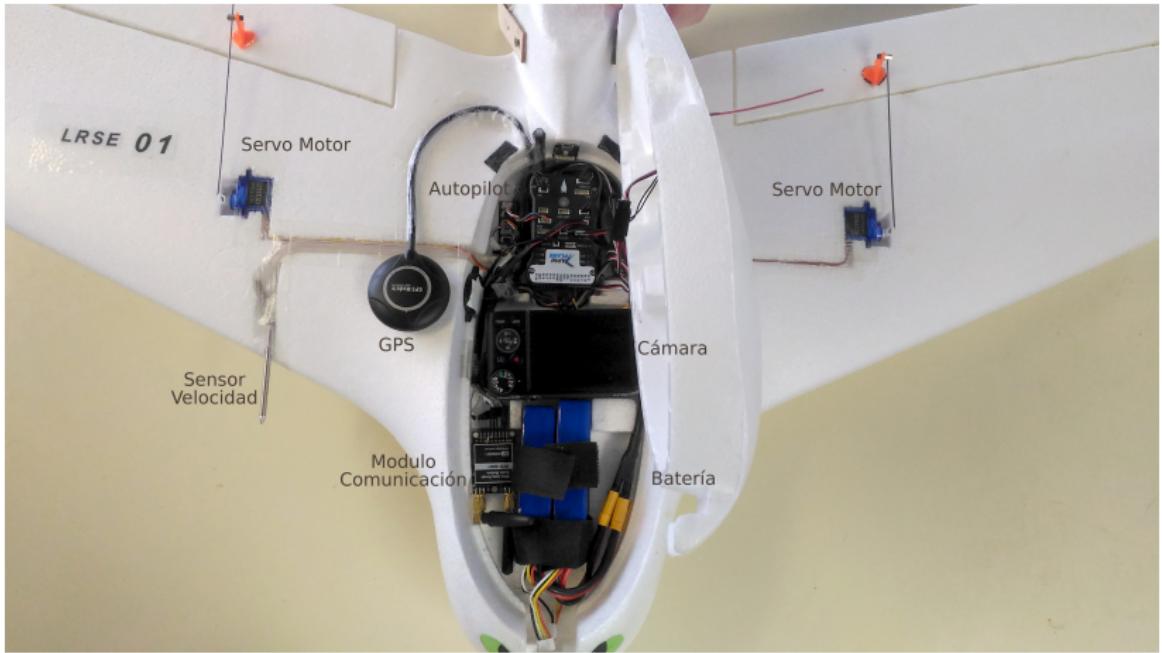


# Resultado esperado

Se espera sentar las bases para la implementación de un [sistema de monitoreo de bosques nativos](#):

- Basado en el procesamiento de imágenes aéreas obtenidas por VANTs.
- Que pueda ser aplicado a gran escala, de bajo costo y sin requerir de personal experto.
- Que permita la estimación de parámetros estructurales del bosque: altura, porcentaje de cobertura y densidad de individuos arbóreos.
- Que asista en la elaboración de inventarios forestales y la evaluación del estado de conservación/degradación del bosque.

# Con ustedes: Chimuelo



# ¡Chimuelo en acción!

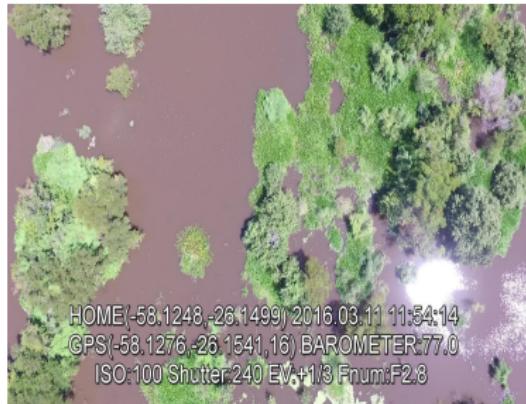


# Procesamiento de las imágenes capturadas

Imágenes capturadas del Bosque Chaqueño (Formosa) desde el aire.



HOME(-58.1248,-26.1499) 2016.03.11 11:56:39  
GPS(-58.1274,-26.1535,16) BAROMETER 76.0  
ISO:100 Shutter:240 EV:+1/3 Fnum:F2.8

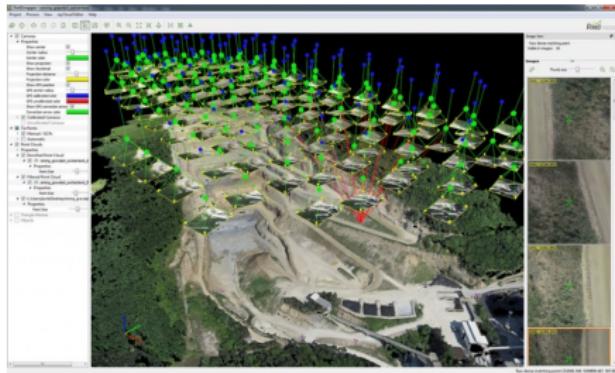


HOME(-58.1248,-26.1499) 2016.03.11 11:54:14  
GPS(-58.1276,-26.1541,16) BAROMETER 77.0  
ISO:100 Shutter:240 EV:+1/3 Fnum:F2.8

Posición de la cámara oblicua a 75 m de altura  
vertical a 75 m de altura

Posición de la cámara

# Construcción de un ortomosaico y un mapa 3D



- Las imágenes son georeferenciadas gracias al GPS.
- Se arma un ortomosaico del área relevada.
- Se construye un mapa 3D que permite estimar parámetros estructurales.

¿Preguntas?