

# Robótica en Minería

Javier Ruiz del Solar  
Director

Advanced Mining Technology Center  
Universidad de Chile

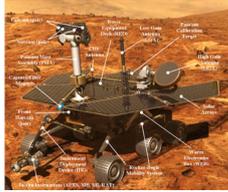


## ¿Qué es un robot?

- Pregunta difícil de responder ...
- Existen robots con  $\neq$  formas, funciones y tamaños:
  - Robots humanoides
  - Robots industriales, exploradores, de rescate
  - Robots de servicio, máquinas robotizadas
  - Robots tipo insecto, tipo perro
  - Robots con piernas, con ruedas o con orugas
  - ....

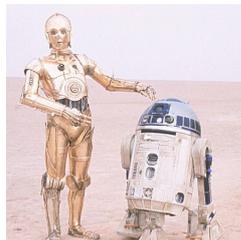


## ¿Qué es un robot?



## Autonomía: Concepto Clave

- **Robot**=Máquina autónoma
- Autónomo  $\neq$  Automático
- Automatización
- Mecatrónica



## Robótica en Minería

- Potenciales beneficios
  - Aumento productividad,
  - Disminución costos,
  - Aumento continuidad operativa,
  - Aumento seguridad laboral,
  - Permitir la factibilidad de proyectos.
- Problemas a solucionar
  - Potencial rechazo de operarios humanos a ser reemplazados,
  - Extrema seguridad de operación puede implicar rendimiento inferior al de operadores humanos.
  - Integración con OEM
  - ..
- Posibles implementaciones
  - Robotizar
  - Telecomandar / teleoperar
  - Asistir operación humana



## ¿Cuándo robotizar?

- Tareas repetitivas que humanos no pueden realizar con alto rendimiento, sostenido en el tiempo.
  - Requerimientos específicos de velocidad, precisión o potencia que humanos no pueden satisfacer.
  - Requerimientos de accesibilidad que humanos no pueden satisfacer.
  - Requerimientos de mejorar salud laboral (alejar a humanos de tareas peligrosas, lugares contaminados y/o adversos).
- =>Para identificar oportunidades en minería, se deben mirar estos aspectos.

## Robotización en Minería

- Camiones autónomos
- Palas y excavadoras autónomas
- LHDs semi-autónomos
- Perforación semi-autónoma
- Brazos robóticos en tareas diversas de manipulación (cátodos, apertura horno, etc.)
- Teleoperación (martillos, etc.)
- Herramientas de manejo asistido/anticolisión (camiones, palas, etc.)
- Manejo teleoperado de explosivos
- Exploración autónoma y/o teleoperada en túneles
- Exploración aérea mediante UAV (aviones autónomos)
- ...



## Robótica en Minería: Algunos desafíos

- Posicionamiento
  - En rajos
  - En túneles
- Percepción en entornos adversos
  - Polvo
  - Niebla, lluvia, nieve
  - Iluminación variable
- Manipulación en entornos no estructurados
- **Robustez** para obtener operación segura
- **Autonomía** en entornos muy dinámicos (ej. Rajo o mina subterránea operando con totalidad de vehículos autónomos)



# Arquitectura de un Robot Móvil

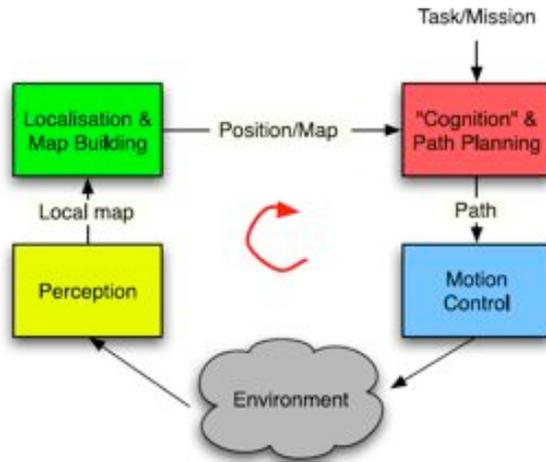
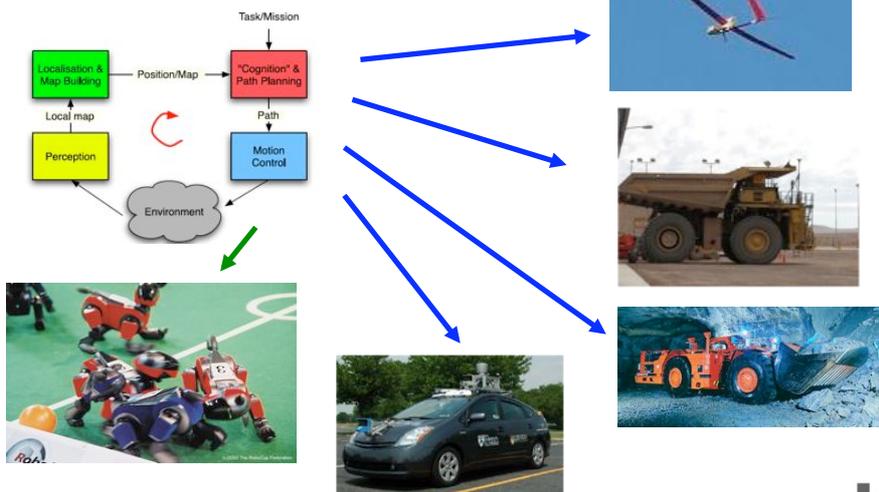


Figura tomada de *Autonomous and Mobile Robots*, Siegwart & Nourbakhsh, 2004.



## Elementos Comunes en la Arquitectura de un Robot Móvil



## Desafíos de Robótica de Campo

- Desafíos:

- Ambientes exteriores dinámicos -> sensores, sistemas percepción exteriores, localización en exteriores.
- Velocidad -> sensores, actuadores, toma decisiones.
- Tamaño (potencia) -> actuadores.
- Seguridad ->sensores, sistema percepción, actuadores.
- Energía -> generación en vehículo.



## Proyecto Vehículo Autónomo

*“Operación autónomo en ambiente mina cielo abierto”*

Transformación de un vehículo comercial: Sensores, Actuadores, Sistemas de Procesamiento y Control



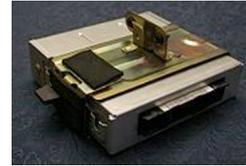
## Automóviles Computarizados



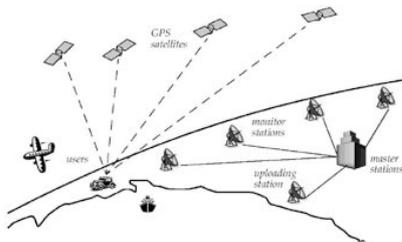
Un automóvil moderno contiene más de 50 ECU (Electronic Control Units) conectadas por un bus especializado (ej. CAN Bus). Ejemplos de ECUs:

- sistema de transmisión
- airbags
- frenos ABS
- control crucero
- control electrónico combustión
- sistema interno diagnóstico
- control clima
- puertas
- ...

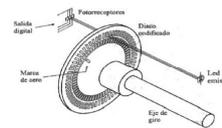
concepto "drive-by-wire"



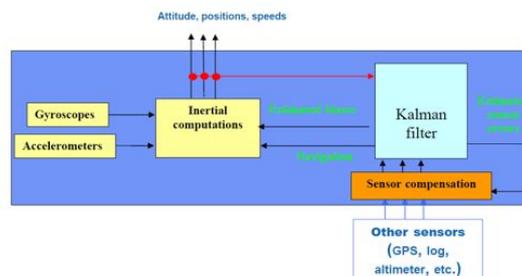
## Sensores: IMU/GPS/Encoders (estimación posición y orientación)



GPS



Encoders

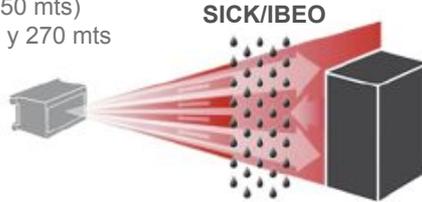


IMU

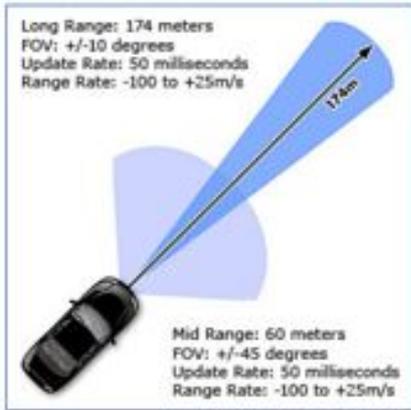
## Sensores: Lasers/Radares/Cámaras



Alcance (80 – 150 mts)  
Angulos de 180 y 270 mts



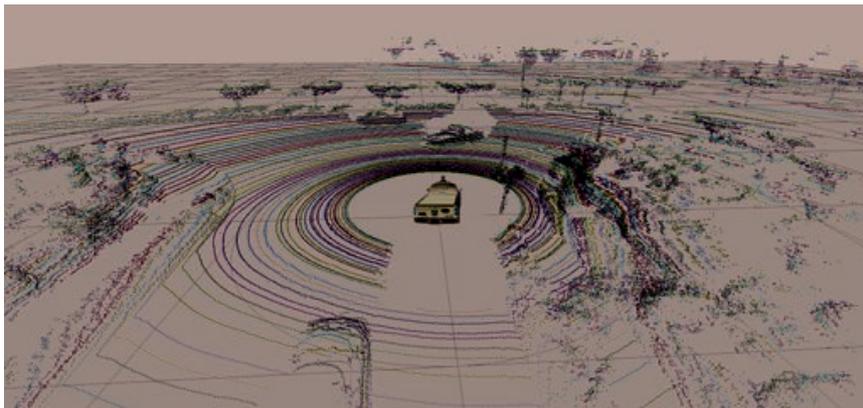
4 planos, multipulso  
mejor desempeño con polvo y neblina



Radar Delphi:

- Desarrollado para la industria automotriz
- Utilizado por nuevo Ford Taurus

## Sensores: Lasers/Radares/Cámaras



LIDAR 3D Velodyne

## Sensores: Lasers/Radares/Cámaras

### Time of Flight Camera:

- Luz infrarroja modulada
- Sensor que mide el desfase de la luz
- Información 3D del ambiente



camera unit



ilumination unit



color coded 3D



3D &amp; gray scale



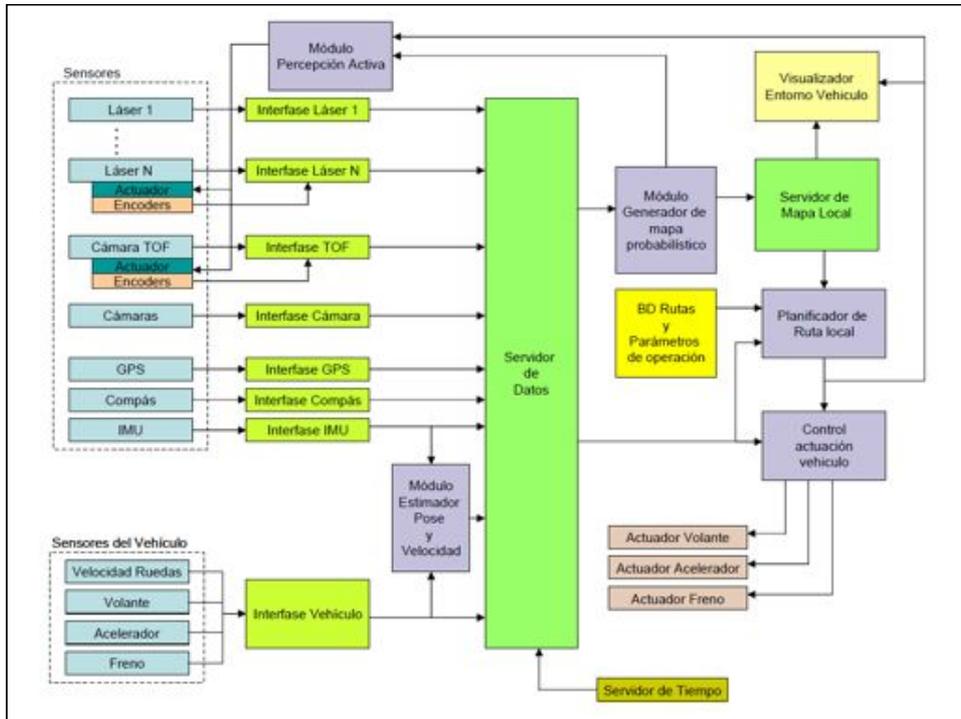
### Cámara de alta resolución:

- Sensor ccd sensible
- Opturación rápida

## Actuadores:

Volante, freno, acelerador, caja de cambios.





# Robótica en Minería

Javier Ruiz del Solar

[www.amtc.cl](http://www.amtc.cl)  
[jruizd@ing.uchile.cl](mailto:jruizd@ing.uchile.cl)

