

# Robot Operating System (ROS)

---

Robótica - Grado en Ingeniería de Computadores

Departamento de Sistemas Informáticos

E.T.S.I. de Sistemas Informáticos - Universidad Politécnica de Madrid

22 de octubre de 2023

---

License CC BY-NC-SA 4.0

# Introducción

# ¿Qué es *Robot Operating System* (ROS)?

---

Pues, aunque se denomine *Robot Operating System*:

- Ni es un sistema operativo, ni es exclusivo para robots

Es un **framework** y un **middleware** para desarrollar aplicaciones distribuidas

- **Framework:** Establece las prácticas y conceptos con los que trabajar
- **Middleware:** Sirve de intermediario de comunicación entre componentes
- Es *Open Software*, licenciado bajo la [BSD 3-Clause](#)

Incluye sistema de gestión de paquetes para desarrollar y desplegar Software

- En C++ y Python

# ¿Para qué? Podemos programarlos desde cero

---

Sólo hay que desarrollar **drivers** para cada uno de los sensores y actuadores

Desarrollar también la infraestructura de **comunicaciones**

- Que soporte además, los diferentes **protocolos** de diferentes hardwares

También escribir los algoritmos asociados a la **percepción**

Si es móvil, también los algoritmos de **navegación** y **path planning**

Ojo, no olvidemos tampoco el mecanismo para sacar los **logs**

Ah, y la **gestión de errores**

# Ya entiendo, *no reinventar la rueda*

---

Exacto; tradicionalmente el desarrollo de un robot era una tarea muy tediosa

- En esencia se construían desde cero prácticamente todos sus componentes

Con ROS se intenta minimizar ese efecto de reinventar la rueda; para ello:

- Se incluyen múltiples librerías de componentes de uso típico

Ofrece además una infraestructura de comunicación *language agnostic*

- ¡Permitiendo diferentes lenguajes dentro de una misma aplicación!

# Versiones

---

En la actualidad coexisten dos versiones independientes en desarrollo

1. **ROS1**: La versión original, bastante extendida aunque ya en desuso
2. **ROS2**: Con nuevas funcionalidades, mejoras y soporte desde 0 para Python3

ROS2 trata de **superar las limitaciones** impuestas por su predecesor, ROS1

**Debemos procurar usar ROS2 en la medida de lo posible**

- Y si no es posible, valorar **mucho** migrar de ROS a ROS2

# ¿Y qué vamos a ver?

---

Veremos tanto el funcionamiento básico como las funcionalidades del core

- Lo consideramos suficiente para desarrollar nuestras primeras aplicaciones
- Veremos algunas librerías externas (pero no todas, que sería una locura)

Cada nueva aplicación afianzará estos conocimientos

- Y obtendréis nuevos, que os harán más eficientes en sucesivos desarrollos

Si consideráis que falta, sobra, o que se podría mejorar algo...

- ... *igual estaría bien proponer algún que otro pull-request...*

# Instalación de ROS2



# ¿Qué distribución elegir?

---

La lista se encuentra en <https://index.ros.org/doc/ros2/Releases/>

- Orden alfabético  $\equiv$  orden cronológico (*Dashing*, *Eloquent*, *Foxy*, etcétera)
- Para elegir (si el proyecto no depende de una versión en concreto):
  - Comprobar la *End of Life* (EOL)
  - Comprobar si es *Long Term Support*
  - Comprobar el sistema operativo sobre el que funciona
  - **Recomendación:** Usar la última LTS sobre GNU/Linux

Nosotros instalaremos **Humble Hawksbill** sobre **Ubuntu GNU/Linux 22.04**

- Hemos elegido esta versión sobre *Iron Irwini* porque es LTS
- Proceso de instalación: <https://docs.ros.org/en/humble/Installation.html>

# Hola mundo

---

De esta manera comprobamos que todo funciona

1. Abrimos dos terminales independientes
2. En la primera escribimos lo siguiente:

```
$ ros2 run demo_nodes_cpp talker
```

3. En la segunda escribimos lo siguiente:

```
$ ros2 run demo_nodes_cpp listener
```

Si en ambos se ven los mismos mensajes, nuestra instalación es correcta

# Breve nota sobre la *Command Line Interface* (CLI)

---

La CLI permite ejecutar instrucciones de un programa o sistema operativo

- Tras la instalación de ROS tenemos acceso al comando `ros2`
- `ros2` y pulsar dos veces `<TAB>` no dará la lista de todas las instrucciones

`ros2 run` espera que le indiquemos un paquete y uno de sus nodos

- Esto quiere decir que podemos lanzar cualquier ejecutable de ros

También podemos ejecutar `ros2 run` y pulsar dos veces `<TAB>`

- Así veremos todos los paquetes accesibles desde nuestra posición.

Con `-h` accederemos a la ayuda de cualquier comando de `ros2`

# Nodos

# Sobre nodos, paquetes y *workspaces*

---

Las aplicaciones en ROS se componen de nodos principalmente

- Se puede pensar en ellos como **procesos independientes**
- Se agrupan en **paquetes**

¿Paquetes?

- **Componentes** de nuestro programa; incluyen los fuentes de este
- Se encuentran en el directorio de instalación de ROS o en nuestro *workspace*

¿*Workspace*?

- Espacio de trabajo (**directorio**) con las aplicaciones a ejecutar

# Creación de un espacio de trabajo

---

El espacio de trabajo es donde se escribe el código de nuestra aplicación y donde se compila

El desarrollo suele ser un proceso tedioso, porque implica muchas tareas:

- Crear y gestionar paquetes
- Gestionar las dependencias de componentes
- Compilar paquetes
- Desplegar

¡Ójala existiese una herramienta para gestionar los espacios de trabajo!

# colcon

---

Herramienta para la gestión de los espacios de trabajo

- Está creada específicamente para ROS2
- Pero no viene instalada por defecto

Instalación (como superusuario)

```
$ apt install python3-colcon-common-extensions
```

Para habilitar el autocompletado (recomendable añadir al `~/ .bashrc`)

```
$ source /usr/share/colcon_argcomplete/hook/colcon_argcomplete.bash
```

# Ahora sí, creación de un espacio de trabajo

1. Creamos un directorio para nuestro *workspace* (e.g. bajo `$HOME/ros_ws`):
2. Accedemos al *workspace* y creamos un nuevo directorio llamado `src`:
  - Aquí se almacenará todo el código fuente de nuestros componentes
3. A la misma altura que el directorio `src` (no dentro) creamos nuestro *workspace*, usando la herramienta `colcon`

```
$ colcon build
```

- Creará directorios `install/` y `logs/` si no existen
- También los ficheros de configuración de *workspace* si no existen
- Construirá todos los componentes (paquetes) de nuestra aplicación

1. Cargamos `setup.bash` del directorio `install/`, creado tras `build`:
  - Suele ser útil añadirlo al `~/.bashrc`



# Creación de un paquete

---

Los pasos a realizar son los siguientes

1. Vamos al directorio `src/` de nuestro *workspace*
2. Ejecutamos el comando para la creación de paquetes

```
$ ros2 pkg create super_pkg --build-type ament_python --dependencies rclpy
```

- Esto creará un paquete llamado `super_pkg`...
- ... usando el sistema *ament* para la creación de paquetes ...
- ... de tipo `python`
- ... dependiente de la librería `rclpy`

`rclpy` es la librería base de ROS y la usaremos prácticamente siempre

# Contenido de un paquete

---

La estructura de un paquete de tipo Python es la siguiente:

- Directorio `resource/` para incluir recursos necesarios que no son fuentes
  - Por ejemplo, archivos de configuración interna
- Directorio `test/`, con los fuentes para probar el paquete
- Fichero `package.xml`, que describe información del paquete como puede ser:
  - Metainformación relativa a nombre, versión, ...
  - Dependencias comunes y exclusivas para pruebas
  - Sistema de construcción (*build system*)
- Fichers `setup.py` y `setup.cfg` para la instalación del paquete

Con esto se puede compilar el paquete a través de `colcon build`

# ¿Y qué es un nodo?

---

Son el componente principal de nuestras aplicaciones

- Un único nodo debería tener (idealmente) un único propósito
- Se comunican entre sí a través de la infraestructura de mensajería de ROS

 Nodes and packages

# Creación de un nodo

Los fuentes de los nodos se almacenan dentro del paquete

- En un directorio que se llama igual que este
- Ahí crearemos el fichero de código de nuestro nodo

Crearemos la estructura para la ejecución de este fuente (e.g. `node.py`):

```
#!/usr/bin/env python3

def main(args=None):
    pass

if __name__ == '__main__':
    main()
```

- El *shebang* (`#!`) es obligatorio, ya que el fichero `.py` será el ejecutable

Lo primero que tenemos que hacer en nuestro programa será inicializar el sistema de comunicación de ROS

- Y pasarle los argumentos, en caso de que los haya

```
#!/usr/bin/env python3

import rclpy

def main(args=None):
    rclpy.init(args=args)
    # Nuestro código
    rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

- Si nos acordamos, `rclpy` es la dependencia con la que creamos el paquete

`roslpy.init` es la primera instrucción en prácticamente cualquier aplicación

- Entre otros, arranca el sistema de comunicación de ROS
- La aplicación fallará si intentamos usar cualquier característica antes

`roslpy.shutdown` debe ser la última línea de nuestra aplicación

- Cerrará la infraestructura de comunicación

Hasta ahora no hemos creado ningún nodo

- Esto es únicamente la preparación del entorno en el que se ejecutará

Ahora crearemos un nodo en la función `main` de nuestro `script`

```
...  
from rclpy.node import Node  
...  
    rclpy.init(args=args)  
    node = Node('Sensor')  
    rclpy.shutdown()  
...
```

`Sensor` será el nombre de nuestro nodo

- Por convención no se usa la palabra *node* porque sería redundante

Ahora podemos ejecutar nuestro nodo de la siguiente manera:

```
$ chmod u+x node.py  
$ ./node.py
```

En este punto hemos creado un nodo; concretamente

1. Nos conectamos a la infraestructura de ROS, creándola si no existía
2. Creamos un nodo y lo arrancamos
3. Nos desconectamos de la infraestructura y cerramos la aplicación

De acuerdo, de utilidad nos ha quedado un poco regular, pero quedémonos con tres conceptos:

1. **El nodo NO es el fichero** de Python, sino que se crea dentro de este
2. **El nombre del nodo NO es el nombre del fichero**, sino que es el nombre del objeto cuando lo creamos

Ahora, hagamos algo más visible



## Sacaremos por pantalla un mensaje de *log*

- Para ello usaremos el logger asociado al nodo

```
...  
    node = Node('Sensor')  
    node.get_logger().info('Hello, world!')  
    rclpy.spin(node)  
...
```

`rclpy.spin` es un método extremadamente importante

- Se usará en prácticamente todos los fuentes desarrollados en ROS
- Su cometido es pausar el programa y dejar el nodo en modo escucha
- Los *callbacks* asociados a los mensajes se llamarán desde este método

Si queremos parar el proceso basta con ejecutar `CTRL+C`

# Estructura básica de un nodo en Python

```
#!/usr/bin/env python3

import rclpy
from rclpy.node import Node

def main(args=None):
    try:
        rclpy.init(args=args)
        node = Node('py_test')
        node.get_logger().info('Hello, 🤖!')
        rclpy.spin(node)
    finally:
        rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

# Instalación del nodo

---

La ejecución que hemos hecho el nodo ha sido un poco trampa

- En realidad hemos ejecutado el fichero fuente, no el nodo desplegado

Podríamos trabajar así, pero es poco escalable

- Al no estar instalados en el workspace, no están dentro del PATH
- Por ello, queremos instalar y desplegar los nodos

Al estar usando Python, nos evitaremos un paso (transparente para nosotros)

- En C++ los fuentes hay que compilarlos, en Python no
- Únicamente se copiarán los fuentes de un lado a otro

Instalaremos nuestro paquete usando dos ficheros de configuración:

- Fichero `setup.cfg`: Información de dónde se instalarán nuestros fuentes

```
[develop]
script-dir=$base/lib/NOMBRE_DEL_PAQUETE
[install]
install-scripts=$base/lib/NOMBRE_DEL_PAQUETE
```

- Fichero `setup.py`: Metainformación de nuestros fuentes

```
from setuptools import setup
#...
setup(
    # ...
    entry_points={'console_scripts': ["exec_name = PAQUETE.NODO:main"],},
)
```

El comando `colcon build` realizará la instalación de los fuentes

Tras la ejecución de `colcon build`, nuestros nodos:

- Se habrán compilado (sólo en el caso de C++)
- Se habrán desplegado en el directorio indicado en `setup.cfg`
- Se habrán marcado como ejecutables

Ya podemos ejecutar nuestro nodo como cualquier otro nodo de ROS:

```
ros2 run nombrepaquete nombrenodo
```

- Esto es así porque hemos añadido nuestro *workspace* al `PATH` de ROS

# (BONUS TRACK) Plantilla de un nodo como clase

```
#!/usr/bin/env python3
import rclpy
from rclpy.node import Node

class MyNode(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('py_test')
        self.i = 0
        self.create_timer(0.5, self.timer_callback)

    def timer_callback(self):
        self.i += 1
        self.get_logger().info('🤖 #{self.i}')

def main(args=None):
    try:
        rclpy.init(args=args)
        node = MyNode()
        rclpy.spin(node)
    finally:
        rclpy.shutdown()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

# Recapitulando

---

Hemos visto qué son espacios de trabajo, paquetes y nodos

- Sabemos crear el espacio de trabajo de nuestro robot (`colcon`)
- Sabemos construir paquetes que contendrán el software de nuestra aplicación

Los nodos son subprogramas existentes dentro de nuestra aplicación

- Cada uno es **responsable de una y solo una funcionalidad**

Los nombres del fuente, el instalado y el nodo no tienen por qué coincidir

- Sabemos instalar los paquetes, y lanzarlos con

```
ros2 run <paquete> <executable>
```

***Topics y mensajes***



# Topic

---

Es un bus de datos para el intercambio de datos entre nodos

- Está caracterizado por un **nombre único** y un **tipo de mensaje**
- Provee de un mecanismo de **comunicación unidireccional**
- Los datos que se intercambian se denominan **mensajes**

La **comunicación** es, en principio, **anónima**

- Quien envía el mensaje no sabe quién lo quiere recibir y viceversa
  - **Publisher**: Publica un mensaje en el bus
  - **Subscriber**: Recibe un mensaje del bus

*Publisher y subscriber* de un **mismo topic** deben compartir el **mismo tipo de mensaje**

# Enviando mensajes

El envío de mensajes es tipo *broadcast*: sé qué envío, pero no quién escucha

Para crear un bus usaremos el método `create_publisher` de `Node`:

```
publisher = <nodo>.create_publisher(<mensaje>, <publisher>, <buffer>)
```

- No hemos visto tipos de mensajes, así que usaremos uno ya existente:

```
ros2 interface show example_interfaces/msg/String
```

- `ros2 interface` ayuda a encontrar los interfaces (tipos de mensajes)
  - Usaremos el mensaje `String` del paquete `example_interfaces`
  - Más adelante aprenderemos cómo crear nuestros propios mensajes
- Ojo: si el *buffer* se llena, los mensajes se dejan de enviar y se descartan

Los mensajes se importan en nuestro código como cualquier módulo:

```
from example_interfaces.msg import String
```

- Al ser de un paquete, tenemos que especificar la dependencia (package.xml)

```
<depend>example_interfaces</depend>
```

Tras la importación ya se puede usar en nuestro código, creando el publisher:

```
self.publisher = self.create_publisher(String, 'emisora', 10)
```

Y enviando mensajes

```
msg = String()  
msg.data = 'Hola 🤖!'  
self.publisher.publish(msg)
```

# Ejemplo de *publisher*

```
#!/usr/bin/env python3

...
from example_interfaces.msg import String

class RadioStationNode(Node):

    def __init__(self):
        super().__init__("station")

        self.publisher = self.create_publisher(String, "radio_station", 10)
        self.timer = self.create_timer(0.5, self.publish_news)
        self.get_logger().info("Radio station launch!")

    def publish_news(self):
        msg = String()
        msg.data = 'Hi there! There are no new news'
        self.publisher.publish(msg)

...
```

# Breve nota sobre la CLI

---

Si ejecutamos este nodo, podemos ver los topics que hay ejecutando:

```
ros2 topic list
```

- Nos permite ver **TODOS** los topics que están funcionando en este mismo momento

Si queremos ver el contenido que se está publicando en un topic concreto:

```
ros2 topic echo /emisora
```

# Recibiendo mensajes

---

Para recibir mensajes publicados en un *topic* decimos que nos **suscribimos**

Un *subscriber* se crea de forma muy parecida a un *publisher*:

```
subscriber = <nodo>.create_subscription(<mensaje>, <publisher>, <callback>, <buffer>)
```

- `callback` será el nombre de la función que se ejecutará al recibir un mensaje

# Ejemplo de *subscriber*

```
#!/usr/bin/env python3

...
from example_interfaces.msg import String

class SmartphoneNode(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__("smartphone")
        self.subscriber = self.create_subscription(
            String, "radio_station", self.callback, 10
        )
        self.get_logger().info("Smartphone is listening!")

    def callback(self, msg):
        self.get_logger().info(msg.data)

...
```

# Topics y la línea de comandos (I)

---

Algunos comandos muy útiles relacionados con topics de la CLI son:

- Listado de todos los topics que se están usando

```
ros2 topic list
```

- Información concreta del topic

```
ros2 topic info <topic>
```

- Saca por pantalla la información que se está publicando en el topic

```
ros2 topic echo <topic>
```

- Estima la frecuencia a la que se publica la información en el topic

```
ros2 topic hz <topic>
```



# Topics y la línea de comandos (y II)

---

- Calcula el ancho de banda usado por los mensajes del topic

```
ros2 topic bw <topic>
```

- Publica el mensaje en el topic

```
ros2 topic pub <topic> <tipo> {json_data}
```

- Renombra el topic

```
$ ros2 run power_pkg news_station \  
    --ros-args -r <old_topic>:=<new_topic>
```

# Sobre los mensajes en ROS

---

En la página sobre interfaces se describen todos los tipos de datos básicos

- <https://docs.ros.org/en/humble/Concepts/About-ROS-Interfaces.html>

Los tipos de datos complejos suelen tener sus propios repositorios

- E.g. [http://github.com/ros2/example\\_interfaces](http://github.com/ros2/example_interfaces)
- Se encuentran bajo `msg/` (y `srv/`, pero eso lo veremos más adelante)
- Los ficheros `.msg` dan la misma información que ejecutar `ros2 interfaces`

Un repositorio muy útil para aplicaciones reales es `common_interfaces`

- [http://github.com/ros2/common\\_interfaces](http://github.com/ros2/common_interfaces)
- Se instalan por defecto al realizar la instalación de `ros desktop`

# Mensajes personalizados

---

Un topic se caracteriza por un **nombre** y una **interfaz** o tipo

- El tipo de mensaje se describe con una sintaxis propia de ROS
- Durante la compilación del *workspace* (`colcon`) cada mensaje se *transpila*
- Con este proceso se generarán los fuentes específicos para cada lenguaje



Un convenio que se sigue a rajatabla es:

- Si el tipo es básico, empieza en minúscula (e.g. `int`, `string`)
- Si el tipo es compuesto, en mayúscula (e.g. `Header`)

# Estructura de una interfaz (PointCloud2.msg)

```
# This message holds a collection of N-dimensional points, which may
# ...
# such as stereo or time-of-flight.

# Time of sensor data acquisition, and the coordinate frame ID (for 3d points).
std_msgs/Header header

# 2D structure of the point cloud. If the cloud is unordered, height is
# 1 and width is the length of the point cloud.
uint32 height
uint32 width

# Describes the channels and their layout in the binary data blob.
PointField[] fields

bool    is_bigendian # Is this data bigendian?
uint32  point_step   # Length of a point in bytes
uint32  row_step     # Length of a row in bytes
uint8[] data         # Actual point data, size is (row_step*height)

bool is_dense        # True if there are no invalid points
```

# Tipos de mensajes (interfaces) personalizados

---

Las interfaces se suelen crear en paquetes dedicados a exclusivamente a ello

- Por reducir dependencias; se pueden crear en cualquier paquete

```
ros2 pkg create sensor_interfaces
```

- Lo del sufijo `_interfaces` es otro convenio que se suele usar en ROS
- El directorio `src/` no se suele usar, así que lo más común es borrarlo

Cada tipo de mensaje va en un fichero `.msg` dentro del directorio `msg/`

- Si el directorio no existe, es necesario crearlo
- El convenio para nombrar ficheros de mensaje es `CamelCase`

# Pasos para la creación de una interfaz

Dentro del paquete donde queramos definir la interfaz:

1. Creamos la interfaz (fichero `.msg`) dentro del directorio `msg/`
2. Añadimos (si no existen) las dependencias del transpilador a `package.xml`:

```
<build_depend>roscpp</build_depend>  
<exec_depend>roscpp</exec_depend>  
<member_of_group>roscpp</member_of_group>
```

3. Las añadimos también (si no existen ya) al fichero `CMakeList.txt`:

```
find_package(roscpp REQUIRED)
```

4. Añadimos el mensaje al transpilador

```
roscpp_generate_interfaces(${PROJECT_NAME} "msg/<INTERFAZ>.msg")
```

# Usando una interfaz

---

Al igual que hemos hecho con las interfaces preinstaladas, basta con:

1. Añadir la dependencia del paquete que contiene la interfaz a `package.xml`

```
<depend>paquete_con_interfaces</depend>
```

2. Importar la interfaz del paquete en nuestros fuentes

```
from paquete_con_interfaces.msg import Interfaz
```

**Servicios**



# Servicio

---

Es un sistema de comunicación de arquitectura **cliente/servidor**

- Permiten la comunicación **síncrona o asíncrona** entre nodos
- Están pensados para la comunicación bidireccional entre nodos
  - Dos tipos de mensaje, uno para la *request* y otro para la *response*
  - Eso sí, ambos tipos se encuentran dentro del mismo fichero `.msg`
- Un único servidor sólo puede existir una vez en una aplicación
  - Eso sí, puede ser accedido por múltiples clientes

# Creación de un servidor

---

Un servicio se caracteriza por un **nombre único** y una **interfaz**

- Vamos, como un *topic*
- Eso sí, las interfaces incluyen dos tipos de mensaje: **request** y **response**
- Se separan por tres guiones (encima *request*, debajo *response*)

Por ejemplo, un servicio para localizar el número de vehículos en un área:

```
float32 lat
float32 lon
float32 radius
---
int64 n
```

Para crear el servidor usaremos el método `create_service` de Node:

```
server = <nodo>.create_service(<mensaje>, <name>, <callback>)
```

- Convenio para nombrar los servicios: Comenzar su nombre por un verbo
- Por ejemplo, `'get_number_of_vehicles'`

El *callback* será una función que recibirá dos parámetros

- Objeto *request* con el contenido de la petición hecha al servidor
- Objeto *response* a rellenar para devolver al cliente de la petición

```
def callback_get_number_of_vehicles(self, request, response):  
    response.sum = request.a + request.b  
    self.get_logger().info(f'{request.a} + {request.b} = {response.sum}')  
    return response
```

Podemos ver que el funcionamiento es similar al de los *topics*

Por último, nos quedaría la configuración:

1. Añadir el nodo al [setup.py](#)

```
get_number_of_vehicles_server = paquete.get_number_of_vehicles_server:main
```

2. Construir y desplegar el paquete

```
colcon build --packages-select my_py_pkg --symlink-install
```

En este punto ya podemos lanzar nuestro nodo

```
ros2 run my_py_pkg get_number_of_vehicles
```

Para comprobar el funcionamiento necesitaremos un cliente que acceda al servicio

# Breve nota sobre la CLI (sí, otra más)

Siempre es posible testear el server directamente desde la terminal

- Para conocer los servicios disponibles usamos el siguiente comando

```
ros2 service list
```

- También podemos saber la información de un servicio en concreto

```
ros2 service info get_number_of_vehicles_server
```

- Por último, si lo que queremos es hacer una llamada a un servicio:

```
$ service call /get_number_of_vehicles paquete/srv/NoOfVehicles "{ \
  lat: 40.3831651, \
  lon: -3.6222915, \
  radius: 250 \
}"
```

# Ejemplo de servidor

```
#!/usr/bin/env python3
import rclpy
from rclpy.node import Node

from example_interfaces.srv import AddTwoInts

class AddTwoIntsServerNode(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('add_two_ints_server')
        self.server = self.create_service(AddTwoInts, 'add_two_ints', self.callback_add_two_ints)
        self.get_logger().info('Add two ints server has been started.')

    def callback_add_two_ints(self, request, response):
        response.sum = request.a + request.b
        self.get_logger().info(f'{request.a} + {request.b} = {response.sum}')

        return response
```

# Creación de un cliente

Para realizar llamadas a un servicio necesitamos crear un cliente

```
client = <node>.create_client(<interface>, <nombre>)
```

Las llamadas se realizan usando el método `call` del cliente

```
response = client.call(request)
```

Al igual que con el servidor o con un topic, es necesario:

1. Actualizar el `setup.py`

```
get_number_of_vehicles_client = paquete.get_number_of_vehicles_client:main
```

2. Construir y desplegar el paquete

Cuidado, los nodos son independientes entre sí:

- Puede pasar que se llame a un servicio sin que este esté se haya arrancado
- Para que el método no dé error, lo típico es realizar una espera

```
while not client.wait_for_service(<timeout>):  
    node.get_logger().warn('Esperando al servicio ...')
```

- El timeout es opcional; si no se especifica esperará indefinidamente



# Llamadas síncronas y asíncronas

`call` realiza una **llamada bloqueante**, y lo más común es usar `call_async`

```
future = client.call_async(request)
```

- *Future*: objeto que en algún momento tendrá la respuesta a la llamada
- Podemos dejar el proceso esperando la respuesta de la siguiente manera:

```
rcipy.spin_until_future_complete(node, future)
```

- Una vez la instrucción finaliza, en el objeto future tenemos la respuesta

```
try:  
    response = future.result()  
    self.get_logger().info(a + b = sum)  
except Exception as e:  
    node.get_logger().error(f'Error: {e}')
```

# Ejemplo de cliente

```
#!/usr/bin/env python3

import rclpy
from rclpy.node import Node
from functools import partial

from example_interfaces.srv import AddTwoInts

class AddTwoIntsClientNode(Node):
    def __init__(self):
        super().__init__('add_two_ints_client')
        self.call_add_two_ints_server(1, 2)

    def call_add_two_ints_server(self, a, b):
        client = self.create_client(AddTwoInts, 'add_two_ints')
        while not client.wait_for_service(1.0):
            self.get_logger().warn('Waiting for server')
            request = AddTwoInts.Request()
            request.a = a
            request.b = b

            future = client.call_async(request)
            future.add_done_callback(partial(
                self.callback_call_add_two_ints,
                a=a, b=b
            ))

    def callback_call_add_two_ints(self, future, a, b):
        try:
            response = future.result()
            self.get_logger().info(f'{a} + {b} = {response.sum}')
        except Exception as e:
            self.get_logger().error('{e}')
```

*Launchers*

# Launcher

---

Define la ejecución de uno o varios nodos de un componente o aplicación

- Una **aplicación de ROS** puede llegar a tener **cientos de nodos**
- ¿Os imagináis arrancar uno por uno desde la terminal?
- ¿Y entrar en remoto al robot para decidir qué nodos arrancar y cómo?

¿Por qué no hacerlo con un script de bash?

- ¿sh? ¿bash? ¿csh? ¿zsh? ... Más cómodo un *launcher*, que es estándar

El sistema de *launchers* **describe** y **ejecuta** la configuración del **sistema**:

- Qué programas ejecutar, dónde, qué argumentos, renombrados, de *topics*, ...
- También monitoriza y el estado de los nodos y reacciona a sus cambios

# Creación de un *launcher*

---

Los ficheros se escriben en Python, XML o YAML; dicho esto, ¿cuál usar?:

- XML es el usado en ROS1, por lo que suele ser el más familiar.
- YAML ofrece una sintaxis más cómoda respecto a XML.
- Python es un lenguaje de programación: más verboso, pero también más potente.

En definitiva, la elección se reduce a las preferencias del desarrollador.

- Eso sí, si necesitamos comportamiento en lugar de sólo definición, Python

Suele ser común crear un paquete exclusivo para los *launchers*:

- Al ser exclusivo, podemos prescindir de los directorios `include/` y `src/`
- Crearemos el directorio `launch/`, que es el convenio para los *launchers*
- Añadiremos `roslaunch` como dependencia de ejecución a `package.xml`:

```
<exec_depend>roslaunch</exec_depend>
```

Tras esto ya podemos desarrollar nuestros launcher en el directorio `launch/`

- La convención de nombrado es `<nombre>_launch.[py|xml|yaml]`

# Ejemplo de *launcher* en Python

```
from launch import LaunchDescription
from launch_ros.actions import Node

def generate_launch_description():
    return LaunchDescription([
        Node(
            package='one_package',
            namespace='namespace_a',
            executable='node',
            name='one',
        ),
        Node(
            package='other_package',
            namespace='namespace_b',
            executable='node',
            name='other',
        ),
    ])
1)
```

# Ejemplo de *launcher* en XML

---

```
<launch>
  <node pkg="one_package"
        namespace="namespace_a"
        exec="node"
        name="one"/>

  <node pkg="other_package"
        namespace="namespace_b"
        exec="node"
        name="other"/>
</launch>
```



# Ejemplo de *launcher* en YAML

```
launch:  
  
- node:  
  pkg: "one_package"  
  namespace: "namespace_a"  
  exec: "node"  
  name: "one"  
  
- node:  
  pkg: "other_package"  
  namespace: "namespace_b"  
  exec: "node"  
  name: "other"
```

# Una vez escritos los *launchers*

---

Basta con construir el paquete y lanzar el launcher con el comando `launch`:

```
$ ros2 launch <PAQUETE> <NUESTRO_LAUNCHER>
```

**Ojo**, debemos añadir las dependencias en nuestro paquete

```
<exec_depend>one_package</exec_depend>  
<exec_depend>other_package</exec_depend>
```

- No las necesitamos para construir el paquete, sólo para ejecutar

# Argumentos de un *launcher*

Podemos especificar desde el *launcher* los argumentos igual que en la CLI

- Cambiar nombre de nodo

```
Node(package='paquete', executable='nodo_o_launcher', name='nuevo_nombre')
```

- Cambiar el nombre de un topic o de un servicio

```
Node(  
    package='paquete', executable='nodo_o_launcher', name='nuevo_nombre',  
    remappings=[  
        ('topic', 'topic_renombrado'),  
        ('servicio', 'servicio_renombrado'),  
    ]  
)
```

# Parámetros

# ¿Qué es un parámetro?

---

Un parámetro es un valor de configuración de un nodo

- Son utilizados tanto en el arranque como durante el tiempo de ejecución
- Su tiempo de vida es el del nodo al que pertenece
- Caracterizado por el *namespace* del nodo, *namespace* del parámetro (opcional) y nombre

Cada parámetro está compuesto de una clave, un valor y un descriptor

- Clave es una cadena de texto
- Valor: `bool`, `int64`, `float64`, `string`, `byte[]`, `bool[]`, `int64[]`, `float64[]`, `string[]`
- Descriptor: cadena de texto con información adicional (por defecto está vacío)

# Declaración de parámetros

---

Los parámetros se declaran **en el momento de iniciar el nodo**

- Reduce las posibilidades de una mala configuración posterior
- Se establecen mediante el método `declare_parameter` de la clase `Node`

```
<node>.declare_parameter('<nombre>', <valor>)
```

- El tipo de parámetro se infiere del valor por defecto

Es posible usar un nodo con parámetros no declarados

- Hay que crear el nodo con el argumento `allow_undeclared_parameter=true`
- Útil si no todos los parámetros son conocidos de antemano

# Trabajando con parámetros desde un mismo nodo

Una de las gracias de los parámetros es poder usarlos durante la ejecución del nodo

- Establecer el valor de un parámetro: método `set_parameters` de `Node`

```
param = rclpy.parameter.Parameter('<nombre>', <tipo>, <valor>)  
<nodo>.set_parameters([param])
```

- Los tipos están disponibles bajo el enumerado `rclpy.Parameter.Type`

- Acceder al valor de un parámetro: método `get_parameter` de `Node`

```
param = <nodo>.get_parameter('<nombre>')  
valor = param.get_parameter_value().<tipo>_value
```

# Gestionando los parámetros desde la CLI

---

Podemos listar todos los parámetros de la aplicación actual con `list`

```
ros2 param list
```

- Se mostrarán todos los parámetros disponibles clasificados por nodo
- Todo nodo tiene el parámetro `use_sim_time` para sincronizar simulaciones

Para obtener el tipo y el valor de un parámetro usaremos `get`

```
ros2 param get <nodo> <parámetro>
```



También podemos establecer valores, esta vez con el comando `set`

```
ros2 param set <nodo> <parámetro> <valor>
```

Para saber el estado de todos los parámetros de un nodo, podemos usar `dump`

```
ros2 param dump <nodo>
```

- El formato es `.yaml`, y podemos salvarlo en un fichero para su posterior uso

`dump` se complementa con `load` que carga los parámetros desde un fichero

```
ros2 param load <nodo> <fichero>
```

Por último, el fichero de parámetros se puede usar como configuración inicial

```
ros2 run <paquete> <nodo> --ros-args --params-file <fichero>
```

# Gestionando los parámetros desde un *launcher*

Los valores de un nodo se establecen con el argumento `parameters`

```
from launch import LaunchDescription
from launch_ros.actions import Node

def generate_launch_description():
    return LaunchDescription([
        Node(
            package='<paquete>',
            executable='<fichero>',
            name='<nodo>',
            parameters=[
                {'<un_parametro>': <un_valor>},
                {'<otro_parametro>': <otro_valor>}
            ]
        )
    ])
```

# Integración de ROS2 con Webots

# Instalación

En nuestro caso, al usar **Humble Hawksbill** debemos el paquete correspondiente

```
sudo apt install ros-humble-webots-ros2
```

- Si usamos por ejemplo **Iron Irwini**, el paquete es `ros-iron-webots-ros2`

Establecemos la variable de entorno `WEBOTS_HOME` para ROS2

```
export WEBOTS_HOME=/usr/local/webots
```

¡Y ya está! Lanzamos una aplicación de ejemplo para probar todo

```
ros2 launch webots_ros2_universal_robot multirobot_launch.py
```

# Conectando los robots con el *framework*

---

Existen dos tutoriales que explican cómo conectar los robots con ROS2

1. [Tutorial básico](#): Configuración de una simulación con ROS2
2. [Tutorial avanzado](#): Ampliación del tutorial anterior con un nodo para evitar obstáculos

Estos dan una idea de cómo se integran los robots con ROS2

- Es instalar un paquete, añadir un nodo y lanzar el *launcher*
- Es **esencial** entender los tutoriales para realizar la práctica

# ¡GRACIAS!

---