



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

**Departamento:**  
**Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas**

**Programa de acreditación:**  
**CyTMA2**

**Programa de Investigación<sup>1</sup>:**

**Código del Proyecto:**  
**C2-ING-124**

**Título del proyecto**  
Contenedores de ambientes simulados de sistemas embebidos para Internet de las Cosas

**PI Dependencia Compartida:**   
*Elija un elemento.*

**PI Interdepartamental:**   
*Elija un elemento.*

**Informe Final**

**Director:**  
Mg. Vera Andrea

**Director externo:**

**Codirector:**

---

<sup>1</sup> Los Programas de Investigación de la UNLaM están acreditados con resolución rectoral, según lo indica la Resolución HCS N° 014/15. Acerca de los **Lineamientos generales para el establecimiento, desarrollo y gestión de Programas de Investigación UNLaM**, sugerimos consultar en el Departamento Académico correspondiente a la inscripción del proyecto.



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

## A. Resumen del proyecto<sup>2</sup>

- **Problema de investigación:**

Con el avance de la tecnología, la enseñanza del uso de sistemas embebidos es cada vez más importante. En los últimos años, han surgido diversas plataformas y herramientas que facilitan su aprendizaje. Sin embargo, el proceso de aprendizaje se observa con dificultades debido a la falta de herramientas de simulación con características completas y licenciamiento abierto. Las herramientas de acceso libre suelen tener recursos limitados, mientras que las herramientas profesionales están orientadas a un mercado donde predomina el licenciamiento comercial. Aunque algunas ofrecen versiones para estudiantes, estas suelen ser muy restringidas. Estas limitaciones, tanto en las herramientas de acceso libre como en las comerciales, obstaculizan la enseñanza integral. Una de las principales restricciones es la falta de comunicación externa con otros dispositivos, tales como smartphones. Esto impide que los estudiantes desarrollen proyectos completos de Internet de las Cosas (IoT) utilizando entornos emulados. Por lo tanto, se propuso la construcción de un entorno de emulación basado en contenedores Docker que permita la conexión de sistemas embebidos con dispositivos externos, formando un ecosistema integrado más amplio. Este entorno posibilitará la realización de pruebas en diferentes escenarios de funcionamiento, proporcionando recursos para una enseñanza abarcativa del universo de los sistemas embebidos.

- **Metodología:**



La metodología de esta investigación se centró en el uso de emulación dentro de contenedores Docker, con el objetivo de permitir a los estudiantes su utilización de manera rápida y eficiente, aprovechando los beneficios que ofrece esta tecnología. Por ese motivo, con el propósito de cumplir este objetivo, en el presente proyecto de investigación las actividades se desarrollaron en dos etapas. En la primera fase, se seleccionaron los sistemas embebidos con capacidad de conexión externa, y, a partir de ellos, se inició el desarrollo del entorno de contenedores para su emulación. Mientras que, en la segunda etapa, se completó el desarrollo de los entornos de contenedores. Además, se exploraron diversos protocolos y mecanismos de funcionamiento necesarios para lograr una conexión efectiva, que posteriormente fueron implementados como parte de la emulación.

- **Grado de ejecución de los objetivos planteados:**

En este apartado se exponen el grado de ejecución de los objetivos planificados al iniciar este proyecto de investigación.

El objetivo general de la investigación se logró cumplir en un 90%. Este objetivo consistía en implementar un entorno de sistemas embebidos emulados que permitiera la comunicación con sistemas externos utilizando los protocolos de comunicación existentes. Para alcanzar este propósito, inicialmente se realizó un estudio de las placas de desarrollo que se emplearían en el proyecto. Con base en los resultados obtenidos, se seleccionaron dos tipos de plataformas: las Raspberry Pi y la STM32F103C8T6, conocida también como BluePill. A partir de esta selección, se desarrollaron dos entornos de trabajo dentro de contenedores Docker, los cuales permiten la emulación de dichas placas y su comunicación con dispositivos externos mediante los protocolos de comunicación estudiados. El porcentaje de cumplimiento del objetivo general se debe a diversos factores que se describirán en detalle en el análisis del cumplimiento de los objetivos específicos.

---

<sup>2</sup> Actualizar todos los ítems en el **Banco de datos de actividades de CyT del SIGEVA UNLAM** (del Director y de los integrantes del Proyecto), en especial “**Antecedentes y Producciones y Servicios**”. Ver:  [www.youtube.com/@cvtunlam](http://www.youtube.com/@cvtunlam) 



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

A continuación, se detallan cada uno de los objetivos específicos planteados al iniciar el proyecto de investigación y su porcentaje de completitud.

El primer objetivo específico se logró cumplir al 100%. Se investigaron y analizaron los protocolos de comunicación necesarios para permitir la interacción entre los sistemas embebidos seleccionados, con el fin de conformar un sistema de IoT. A partir de este análisis, se determinó implementar dos mecanismos de comunicación para las plataformas elegidas. Por un lado, se desarrolló un entorno con contenedores Docker que permite al usuario realizar proyectos de IoT mediante comunicación inalámbrica, emulando la placa Raspberry Pi 3B. Gracias a este entorno, se logró establecer conectividad entre la placa emulada en Docker y un smartphone a través de servicios en la nube. Para esta comunicación, se utilizó el protocolo MQTT, que puede implementarse de dos maneras:

- a. Utilizando un bróker MQTT externo alojado en la nube.
- b. Empleando un bróker Mosquitto interno, configurado en la misma computadora del usuario, permitiendo trabajar de manera local y rápida.

Para facilitar esta última opción, se configuró un contenedor Docker con el bróker Mosquitto preinstalado y configurado. Las instrucciones para su uso se encuentran publicados en el enlace que se muestra a continuación.

En la siguiente dirección web se encuentra disponible a la comunidad todo lo generado acerca del entorno de contenedores para la Raspberry Pi. Esto va desde el instalador del entorno, el repositorio con su código fuente y tutoriales donde se explican su forma de utilización.

- [https://www.soa-unlam.com.ar/wiki/index.php/PUBLICO:Entorno de Contenedores Docker de Raspberry Pi](https://www.soa-unlam.com.ar/wiki/index.php/PUBLICO:Entorno_de_Contenedores_Docker_de_Raspberry_Pi)

Por otro lado, se implementó comunicación Bluetooth para la interacción entre la emulación de la placa STM32F103C8T6 y un smartphone. Gracias a esto se logró emular programas embebidos simples ejecutados dentro del contenedor, que pueden comunicarse de manera rudimentaria a través del Bluetooth de la computadora con una aplicación Android de un Smartphone. El mencionado avance fue publicado en el congreso CONAISI 2023.

El segundo objetivo específico, fue ejecutado en un 95% y consistió en la construcción del entorno emulado de los sistemas embebidos. Durante el segundo año de la investigación, surgieron dificultades en el desarrollo del entorno de emulación de la Raspberry Pi, lo que generó retrasos en el avance del proyecto. Inicialmente se buscaba emular por completo el sistema de la Raspberry Pi, incluyendo la ejecución de su sistema operativo de escritorio con interfaz gráfica dentro del contenedor Docker, así como también la emulación de los sensores y actuadores conectados a la plataforma. No obstante, debido a problemas de rendimiento y performance del sistema, se optó por solamente emular los sensores y actuadores dentro del contenedor Docker. Estas dificultades, así como las estrategias implementadas para superarlas, fueron presentadas y detalladas específicamente en un artículo presentado en el Congreso CONAISI 2024. Para abordar estos obstáculos, se decidió enfocar los esfuerzos exclusivamente en el desarrollo del entorno de la Raspberry Pi durante el segundo año de investigación. Esta decisión implicó no continuar con la evolución del entorno de emulación



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

de la BluePill, ya que su desarrollo requería una dedicación considerable para alcanzar su completitud. No obstante, los avances realizados en la implementación de la BluePill fueron documentados y publicados en la siguiente dirección web, donde están disponibles como recurso de acceso libre para la comunidad.

- [https://www.soa-unlam.com.ar/wiki/index.php/PUBLICO:Entorno\\_de\\_Contenedores\\_Docker\\_de\\_Blue-Pill](https://www.soa-unlam.com.ar/wiki/index.php/PUBLICO:Entorno_de_Contenedores_Docker_de_Blue-Pill)

Gracias a este enfoque, se logró construir un entorno completo de emulación de la Raspberry Pi 3 utilizando contenedores Docker. Este entorno permite simular gráficamente diversos sensores y actuadores conectados al sistema embebido, los cuales pueden ser controlados de forma remota a través de servicios en la nube. Además, los programas emulados en este entorno tienen la capacidad de ejecutarse tanto en la placa virtual como en la física.

El tercer objetivo específico planteado fue ejecutado en un 60%. Este objetivo consistía en realizar mediciones de métricas para comprobar la eficiencia del entorno.

Durante el desarrollo inicial del entorno de emulación de la Raspberry Pi, se llevaron a cabo mediciones del tiempo de respuesta entre las acciones realizadas por el usuario a través de la interfaz gráfica de los sensores simulados y las respuestas generadas por el sistema. Los resultados iniciales mostraron tiempos de respuesta demasiado elevados, con una latencia significativa. Adicionalmente, el consumo de memoria del contenedor era excesivo, lo que complicaba su utilización. Para abordar estas dificultades, se realizaron cambios en el enfoque de la investigación con el objetivo de reducir tanto los tiempos de respuesta como el consumo de recursos. Como resultado, los tiempos de respuesta se optimizaron significativamente, logrando una latencia mínima, comparable a la de la utilización de la placa física. También se evaluó la latencia en la comunicación entre el entorno emulado y el smartphone. Para evitar problemas relacionados con la velocidad de la red, estas pruebas se realizaron utilizando el bróker Mosquitto de MQTT instalado dentro de los contenedores Docker creados. Los resultados demostraron que los tiempos de respuesta eran similares tanto en el entorno emulado como en la placa física. Sin embargo, una métrica que no pudo realizarse fue la usabilidad del sistema. Para ello se pretendía que alumnos de la materia Sistemas Operativos Avanzados utilizarán al entorno creado para la Raspberry Pi realizando determinados ejercicios, y en base a encuestas, poder medir su usabilidad. Debido a los inconvenientes y retrasos mencionados, esta actividad no se llevó a cabo. Por ese motivo, se pretende realizar estas prácticas con los estudiantes de dicha cátedra en el transcurso del año 2025 de forma independiente a este proyecto y esta forma poder obtener un feedback en cuanto a la usabilidad del sistema desarrollado.

- **Resultados:**

En esta investigación se desarrolló un sistema de emulación para la Raspberry Pi, que funciona dentro de contenedores Docker. Este sistema permite al usuario simular de forma gráfica sensores y actuadores conectados a dicha plataforma, posibilitando el desarrollo de programas que interactúan con estos componentes tanto en el entorno emulado como en el sistema físico. Además, se logró habilitar la comunicación y utilización remota de este sistema a través de dispositivos externos, como smartphones. Esto fue posible gracias a su compatibilidad con brókeres MQTT, tanto en la nube como de forma local, mediante un bróker interno Mosquitto configurado dentro de los contenedores Docker. También se creó un instalador de componentes que facilita la rápida configuración e instalación del entorno en sistemas operativos Windows. De esta forma, el usuario puede probar sistemas de IoT con esta plataforma, sin tener que adquirir la placa física para ello. Por otra parte, se pone a disposición de la comunidad el entorno de emulación desarrollado en Docker para la STM32F103C8T6, el cual permite la comunicación con un



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

smartphone mediante Bluetooth. Aunque su funcionalidad es limitada, este entorno puede ser útil para demostrar las características de esta arquitectura.

**B. Informar *cada* producción con filiación UNLaM que derive de la presente investigación (artículo de revista/papers, libro, parte de libro, trabajos en eventos publicados/ponencia, etc.). Anexar los textos de las producciones en SIGEVA UNLAM.<sup>3</sup>**

Tipo de Producción	Trabajos en eventos C-T publicados
Título	<b><i>Módulo Gateway de Bluetooth para emulador de STM32 dentro de Docker</i></b>
Autor/es	<i>Esteban Carnuccio, Mariano Volker, Matías Adagio, Dario Hirschfeldt, Andrea Vera</i>
Editorial	Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán
Fecha	2 y 3 de Noviembre 2023
Situación	Publicado
DOI y/o Enlace/link (solo si está publicado)	<a href="#">Link Memorias Conaiisi 2023</a>

Tipo de Producción	Trabajos en eventos C-T publicados
Título	<b><i>Desafíos y Estrategias en la Emulación de Placas Raspberry Pi dentro de contenedores para el ámbito educativo</i></b>
Autor/es	<i>Esteban Carnuccio, Mariano Volker, Carlos Tomalino, Matías Adagio, Dario Hirschfeldt, Andrea Vera</i>
Editorial	Universidad Nacional de Catamarca
Fecha	7 de Noviembre 2024
Situación	Publicado
DOI y/o Enlace/link (solo si está publicado)	<a href="#">Link al programa del congreso</a>

**C. Vinculación<sup>4</sup>:** Indicar conformación de redes, intercambio científico con actores externos, con otros grupos de investigación; desarrollos; con el ámbito productivo o con entidades públicas, etc. Desarrolle en una página.

**D. Otra información. Incluir toda otra información que el Director considere pertinente.**

<sup>3</sup> Los archivos deberán estar en formato PDF, a texto completo. Podrán ser publicados en el Repositorio Digital UNLaM, bajo Licencias Creative Commons. Será evaluada la inclusión en el Repositorio aquellas publicaciones que poseen una licencia diferente o declaración de copyright.

<sup>4</sup> Entendemos por acciones de "vinculación" aquellas que tienen por objetivo dar respuesta a problemas, generando la creación de productos o servicios innovadores en articulación con el entramado socioproductivo.



<b>Código</b>	FPI-009
<b>Objeto</b>	Guía de elaboración de Informe de avance/final de proyecto
<b>Usuario</b>	Director de proyecto de investigación
<b>Autor</b>	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
<b>Versión</b>	8
<b>Vigencia</b>	19/09/2024

#### E. Cuerpo de anexos:

- Anexo I:
  - FPI-013: Evaluación de alumnos integrantes. (de corresponder)
  - FPI-014: Comprobante de liquidación y rendición de viáticos. (de corresponder)
  - FPI-015: Rendición de gastos del proyecto de investigación.
  - FPI-038: Formulario de reasignación de fondos en Presupuesto. (de corresponder)
- Anexo II: FPI 017 <sup>5</sup> Alta patrimonial de los bienes adquiridos con presupuesto del proyecto.
  - Disposición del Decano y nota de elevación del Director del Proyecto justificando “alta y/o” baja de cada integrante del equipo de investigación.

Ing. Andrea F. Vera

Firma y aclaración Director Proyecto

Fecha: 14/02/2025