



# Sistema de monitoreo de calidad del aire

Autor:

Ing. Rodrigo Jurgen Pinedo Nava

Director:

Por definir (pertenencia)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 10 de marzo de 2025 y el 29 de abril de 2025.*

## Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar. . . . .	5
2. Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
3. Propósito del proyecto . . . . .	7
4. Alcance del proyecto . . . . .	7
5. Supuestos del proyecto. . . . .	9
6. Requerimientos . . . . .	9
7. Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ). . . . .	10
8. Entregables principales del proyecto . . . . .	11
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	11
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	12
11. Diagrama de Gantt . . . . .	12
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	15
13. Gestión de riesgos . . . . .	15
14. Gestión de la calidad . . . . .	16
15. Procesos de cierre . . . . .	17

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	10 de marzo de 2025

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 10 de marzo de 2025

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Rodrigo Jurgen Pinedo Nava que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo de calidad del aire” y consistirá en la implementación de una red de sensores especializados para la medición de partículas en suspensión (PM2.5), dióxido de carbono (CO2), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), temperatura y humedad ambiente para la recopilación y transmisión de datos en tiempo real. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ XXX, con fecha de inicio el 10 de marzo de 2025 y fecha de presentación pública el 30 de junio de 2025.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Rodrigo Jurgen Pinedo Nava  
Emprendimiento personal

Por definir  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

La contaminación del aire es un problema crítico que afecta tanto a entornos urbanos como industriales, con consecuencias directas sobre la salud pública y el medio ambiente. En Argentina, la situación es alarmante: según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el aire en el país tiene una media anual de  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de partículas PM2.5, superando en un 30 % el nivel considerado seguro por la organización. En Buenos Aires, esta media anual asciende a  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que implica un 40 % por encima del límite recomendado. Estas cifras se traducen en consecuencias graves, como la muerte anual de 85 niños por enfermedades vinculadas a la contaminación del aire en Argentina.

Este proyecto nace como un emprendimiento personal con el propósito de monitorear la calidad del aire en entornos industriales y urbanos, proporcionando información clave para la toma de decisiones. Actualmente, muchas ciudades y empresas carecen de sistemas eficientes y accesibles para medir en tiempo real la calidad del aire, lo cual dificulta la prevención y el control de la contaminación. El objetivo es llenar ese vacío con una solución tecnológica asequible y escalable.

Se propone desarrollar un sistema de monitoreo basado en una red de sensores y la tecnología internet de las cosas (IoT). El sistema será capaz de detectar partículas en el aire (PM2.5), niveles de CO<sub>2</sub>, compuestos químicos dañinos, temperatura y humedad. Los datos obtenidos serán enviados a una plataforma accesible desde cualquier dispositivo. Los dispositivos estarán conectados mediante LoRaWAN y WiFi/MQTT, almacenando datos de manera eficiente y presentándose en una plataforma intuitiva. Revisar la Figura 1 para comprender el diagrama de bloques del sistema de monitoreo.

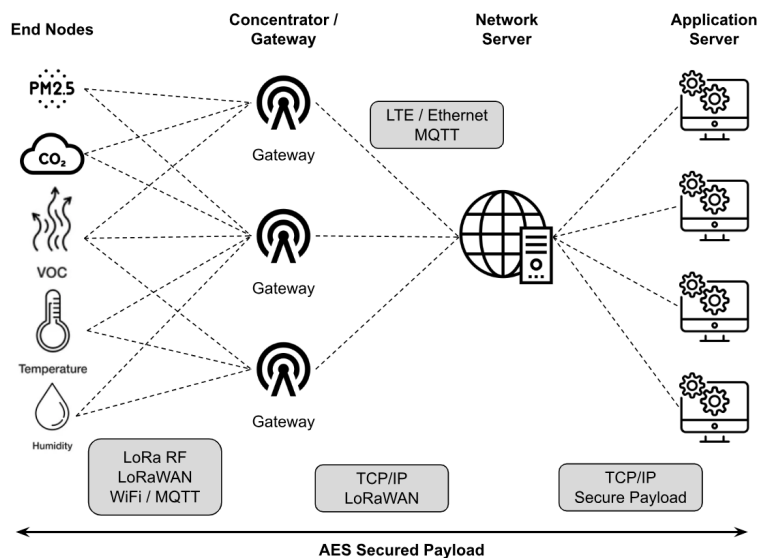


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

Este proyecto está diseñado como una solución adaptable, principalmente para implementarse en empresas, con la capacidad de escalar a hogares y gobierno. Todos los usuarios comparten una preocupación en común: la calidad del aire y su impacto en la salud. El sistema no solo permite el monitoreo en tiempo real, sino también envía alertas cuando los niveles de contaminación superan los límites recomendados. También ofrece herramientas para analizar datos históricos e identificar tendencias, que permitan tomar decisiones oportunas. Más que una simple innovación tecnológica, este proyecto representa una herramienta clave para mejorar la calidad de vida y promover un entorno más saludable y sostenible.

En el mercado actual existen soluciones para el monitoreo de la calidad del aire, sin embargo, muchas de ellas presentan limitaciones, como ser:

- Costos elevados, en las etapas de implementación y mantenimiento, un sistema con características similares puede volverse solo accesible a instituciones con grandes presupuestos.
- Cobertura limitada, ya que la mayoría de los sensores requieren cableado o dependencias de redes WiFi con alcance reducido.
- Falta de integración con plataformas accesibles, lo que dificulta el análisis y la interpretación de los datos por parte de usuarios sin conocimientos técnicos avanzados.

A diferencia de estas soluciones, este proyecto estará diseñado como una solución flexible y adaptable a empresas, hogares y gobiernos. Su propuesta de valor se basa en ofrecer un monitoreo ambiental accesible, para lograr entornos seguros y sostenibles, bajo los siguientes aspectos:

- **Accesibilidad:** Una solución asequible en comparación con otros sistemas comerciales.
- **Escalabilidad:** Implementación modular, adaptable a distintos entornos y necesidades.
- **Interfaz intuitiva:** Plataforma accesible para cualquier usuario, sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.
- **Conectividad eficiente:** Uso de tecnologías de comunicación de bajo consumo y gran alcance.
- **Toma de decisiones informada:** Alertas y análisis de datos para implementar medidas de mitigación de contaminación.

El proyecto se encuentra en una etapa inicial de desarrollo, y para su primera versión se plantea una solución funcional, enfocada en validar su desempeño en entornos reales. En esta fase, el sistema ofrecerá dos modalidades de monitoreo que permitirán a los usuarios gestionar sus dispositivos de manera flexible:

- **Monitoreo privado:** Cada usuario podrá registrar y gestionar sus propios dispositivos, accediendo a la información en tiempo real de los sensores vinculados.
- **Monitoreo público:** Si el usuario así lo decide, podrá compartir los datos recopilados con la comunidad, permitiendo que la información esté disponible en una red abierta. Esto fomentará la creación de un ecosistema colaborativo.

En esta primera versión, no se implementarán modelos de suscripción, ni esquemas de pago, ya que el objetivo principal es desarrollar un prototipo funcional. Este proyecto permitirá evaluar la viabilidad técnica y el impacto del sistema en distintos escenarios de uso.

A futuro, se prevé la integración de herramientas más avanzadas, como modelos de análisis predictivo basados en inteligencia artificial y funcionalidades adicionales para mejorar la toma de decisiones en entornos urbanos e industriales. Con esta estrategia de crecimiento progresivo, el proyecto busca garantizar una implementación accesible y escalable, permitiendo que cada vez más usuarios se beneficien de un monitoreo ambiental confiable desde su primera versión.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	-	-	-
Cliente	Rodrigo Jurgen Pinedo Nava	Emprendimiento personal	
Impulsor	-	-	-
Responsable	Ing. Rodrigo Jurgen Pinedo Nava	FIUBA	Alumno
Colaboradores	-	-	-
Orientador	Por definir	pertenencia	Director del Trabajo Final
Equipo	-	-	-

## 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es fomentar entornos más saludables, seguros y sostenibles en zonas urbanas e industriales, mejorando la calidad del aire. Esto se logrará mediante un sistema de monitoreo basado en IoT, permitiendo recopilar, analizar y visualizar datos ambientales en tiempo real. Con esta herramienta, se busca facilitar la identificación de fuentes de contaminación y alertar para que las partes interesadas tomen acciones correctivas oportunas. Además, la solución ha sido diseñada para ser escalable, accesible y eficiente, asegurando su adaptabilidad a distintos entornos y necesidades.

## 4. Alcance del proyecto

Este proyecto abarca el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de calidad del aire basado en IoT. El sistema será capaz de medir (recolectar), transmitir, almacenar y mostrar datos en tiempo real, proporcionando información clave para la toma de decisiones.

El proyecto incluye:

### Dispositivos IoT (Nodos de Sensores)

- Microcontrolador: ESP32-S3 (por su conectividad WiFi/BLE, bajo consumo y módulo LoRa con antena incluido).
- Sensores:
  - PM2.5/PM10: Sensor SDS011 o PMS5003 (mide partículas en suspensión).
  - CO2: Sensor MH-Z19B o SCD30 (mide dióxido de carbono).
  - VOCs: Sensor CCS811 o SGP30 (detecta compuestos orgánicos volátiles).
  - Temperatura y Humedad: DHT22 o BME280.
- Comunicación:
  - LoRaWAN para áreas extensas (ej: ciudades) o WiFi/MQTT para interiores.
  - Protocolo MQTT para enviar datos al servidor.

- Módulo Lora Sx1262 (incluido en el ESP32 de Heltec).
- Alimentación: Batería recargable o USB (interiores).

### **Servidor y Almacenamiento de Datos**

- Protocolo de recepción: MQTT (usando brokers como Mosquitto, AWS IoT Core).
- Base de datos:
  - Time-Series Database: InfluxDB (optimizada para datos temporales como lecturas de sensores).
  - SQL/NoSQL: PostgreSQL o MongoDB (para consultas complejas).
- Procesamiento inicial:
  - Validación de datos (eliminar valores atípicos).
  - Normalización de unidades (ej: convertir ppm de CO<sub>2</sub> a mg/m<sup>3</sup>).

### **Aplicativo Web/Móvil**

- Frontend:
  - Framework: React.js o Vue.js para dashboards interactivos.
  - Librerías de visualización: Chart.js, D3.js o Grafana integrado.
- Backend:
  - API REST: Desarrollada en Node.js o Python (Django/Flask).
  - Autenticación: JWT o OAuth2 para acceso seguro.
- Características del aplicativo:
  - Mapa en tiempo real con colores según el índice de calidad del aire.
  - Gráficos históricos (tendencias de PM2.5, CO<sub>2</sub>, etc.).
  - Alertas personalizables (notificaciones push).
  - Descarga de informes en PDF/CSV. (deseado)

### **Flujo de Datos**

- Recolección: Los sensores capturan datos cada 1-5 minutos.
- Transmisión: El ESP32 envía los datos vía MQTT/LoRaWAN al broker.
- Almacenamiento: El servidor procesa y guarda los datos en InfluxDB.
- Visualización: El aplicativo web consulta la API para mostrar datos en dashboards.

El presente proyecto no incluye:

- Desarrollo de modelos de suscripción o monetización, ya que en esta fase el enfoque es la validación del prototipo.



- Integración con inteligencia artificial o modelos predictivos avanzados.
- Implementación de una red de sensores a gran escala más allá del piloto inicial.
- Certificaciones oficiales de calidad del aire, ya que el sistema servirá como referencia complementaria a mediciones gubernamentales o institucionales.

El alcance del proyecto está limitado a ser considerado un prototipo, enfocado en validar la viabilidad técnica y operativa. Las futuras versiones podrán incorporar mejoras basadas en los resultados de esta etapa.

## 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- **Disponibilidad financiera:** Dado que se trata de un emprendimiento personal, los costos del proyecto serán cubiertos por el responsable del proyecto.
- **Disponibilidad tecnológica:** Se cuenta con acceso a los sensores, microcontroladores y todos los componentes necesarios para la fabricación de los dispositivos IoT.
- **Factibilidad técnica:** Se asume que el diseño e implementación del sistema representa un reto que es el resultado de poner en práctica de lo aprendido en la especialización en IoT de la Universidad de Buenos Aires.
- **Tiempo:** El responsable debe cumplir con su planificación a ser propuesta, evitando retrasos y culminando el proyecto de manera satisfactoria.
- **Infraestructura de comunicación:** Se realizarán pruebas en entornos controlados asegurando que se cumple con la cobertura de la red LoRaWAN. En el caso de entornos cerrados se verificara la transmisión estable mediante WiFi/MQTT. De esta manera se asegura que los datos sean enviados para su visualización en línea, gracias al internet.
- **Consideración como prototipo:** En esta primera versión, el sistema se desarrollará como un prototipo funcional, con el objetivo de validar su desempeño y detectar oportunidades de mejora.
- **Aceptación del usuario:** Se espera que empresas, ciudadanos, ONGs y gobiernos muestren interés en utilizar la plataforma, incentivando un modelo de monitoreo colaborativo de la calidad del aire.

## 6. Requerimientos

Los requerimientos deben enumerarse y de ser posible estar agrupados por afinidad, por ejemplo:

1. **Requerimientos funcionales:**
  - 1.1. El sistema debe...
  - 1.2. Tal componente debe...

- 1.3. El usuario debe poder...
2. Requerimientos de documentación:
  - 2.1. Requerimiento 1.
  - 2.2. Requerimiento 2 (prioridad menor)
3. Requerimiento de testing...
4. Requerimientos de la interfaz...
5. Requerimientos interoperabilidad...
6. etc...

Leyendo los requerimientos se debe poder interpretar cómo será el proyecto y su funcionalidad.

Indicar claramente cuál es la prioridad entre los distintos requerimientos y si hay requerimientos opcionales.

**!!!No olvidarse de que los requerimientos incluyen a las regulaciones y normas vigentes!!!**

Y al escribirlos seguir las siguientes reglas:

- Ser breve y conciso (nadie lee cosas largas).
- Ser específico: no dejar lugar a confusiones.
- Expresar los requerimientos en términos que sean cuantificables y medibles.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Descripción: en esta sección se deben incluir las historias de usuarios y su ponderación (*history points*). Recordar que las historias de usuarios son descripciones cortas y simples de una característica contada desde la perspectiva de la persona que desea la nueva capacidad, generalmente un usuario o cliente del sistema. La ponderación es un número entero que representa el tamaño de la historia comparada con otras historias de similar tipo.

Se debe indicar explícitamente el criterio para calcular los *story points* de cada historia.

El formato propuesto es:

1. “Como [rol] quiero [tal cosa] para [tal otra cosa].”  
*Story points*: 8 (complejidad: 3, dificultad: 2, incertidumbre: 3)

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son (ejemplo):

- Manual de usuario.
- Diagrama de circuitos esquemáticos.
- Código fuente del firmware.
- Diagrama de instalación.
- Memoria del trabajo final.
- etc...

## 9. Desglose del trabajo en tareas

El WBS debe tener relación directa o indirecta con los requerimientos. Son todas las actividades que se harán en el proyecto para dar cumplimiento a los requerimientos. Se recomienda mostrar el WBS mediante una lista indexada:

1. Grupo de tareas 1 (suma h)
  - 1.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 1.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 1.3. Tarea 3 (tantas h)
2. Grupo de tareas 2 (suma h)
  - 2.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 2.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 2.3. Tarea 3 (tantas h)
3. Grupo de tareas 3 (suma h)
  - 3.1. Tarea 1 (tantas h)
  - 3.2. Tarea 2 (tantas h)
  - 3.3. Tarea 3 (tantas h)
  - 3.4. Tarea 4 (tantas h)
  - 3.5. Tarea 5 (tantas h)

Cantidad total de horas: tantas.

**¡Importante!:** la unidad de horas es h y va separada por espacio del número. Es incorrecto escribir “23hs”.

**Se recomienda que no haya ninguna tarea que lleve más de 40 h.** De ser así se recomienda dividirla en tareas de menor duración.

## 10. Diagrama de Activity On Node

Armado el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Una herramienta simple para desarrollar los diagramas es el Draw.io (<https://app.diagrams.net/>). Draw.io

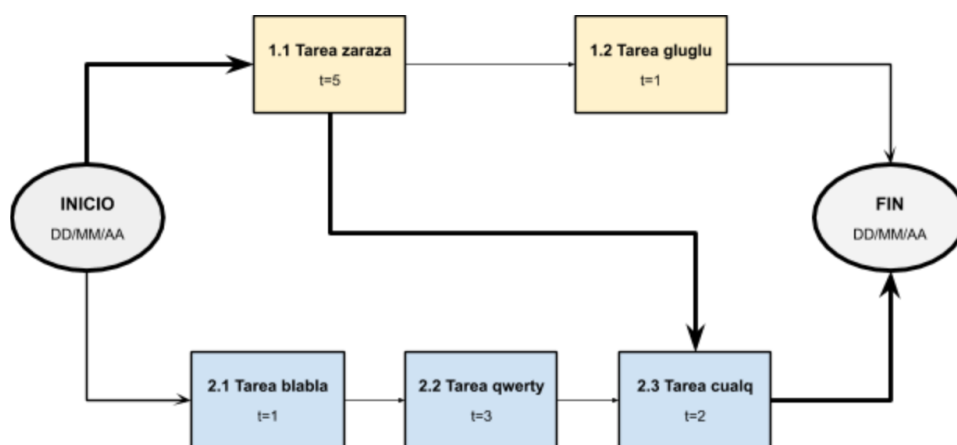


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semi críticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color.

## 11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de Gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:  
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.  
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*  
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).  
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.  
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 3, se muestra un ejemplo de diagrama de gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

Las fechas pueden ser calculadas utilizando alguna de las herramientas antes citadas. Sin embargo, el siguiente ejemplo fue elaborado utilizando esta hoja de cálculo.

Es importante destacar que el ancho del diagrama estará dado por la longitud del texto utilizado para las tareas (Ejemplo: tarea 1, tarea 2, etcétera) y el valor *x unit*. Para mejorar la apariencia del diagrama, es necesario ajustar este valor y, quizás, acortar los nombres de las tareas.

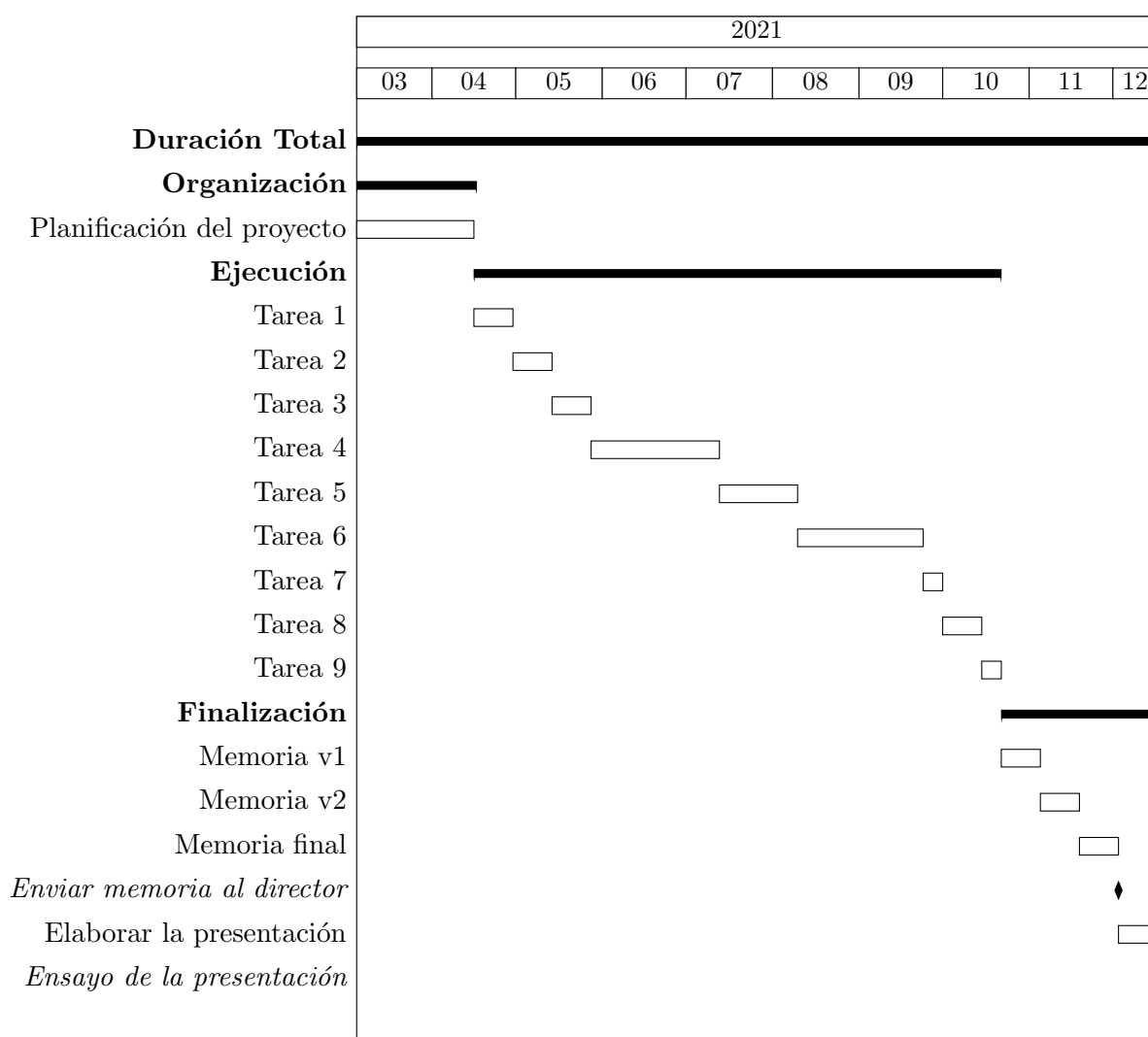


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo

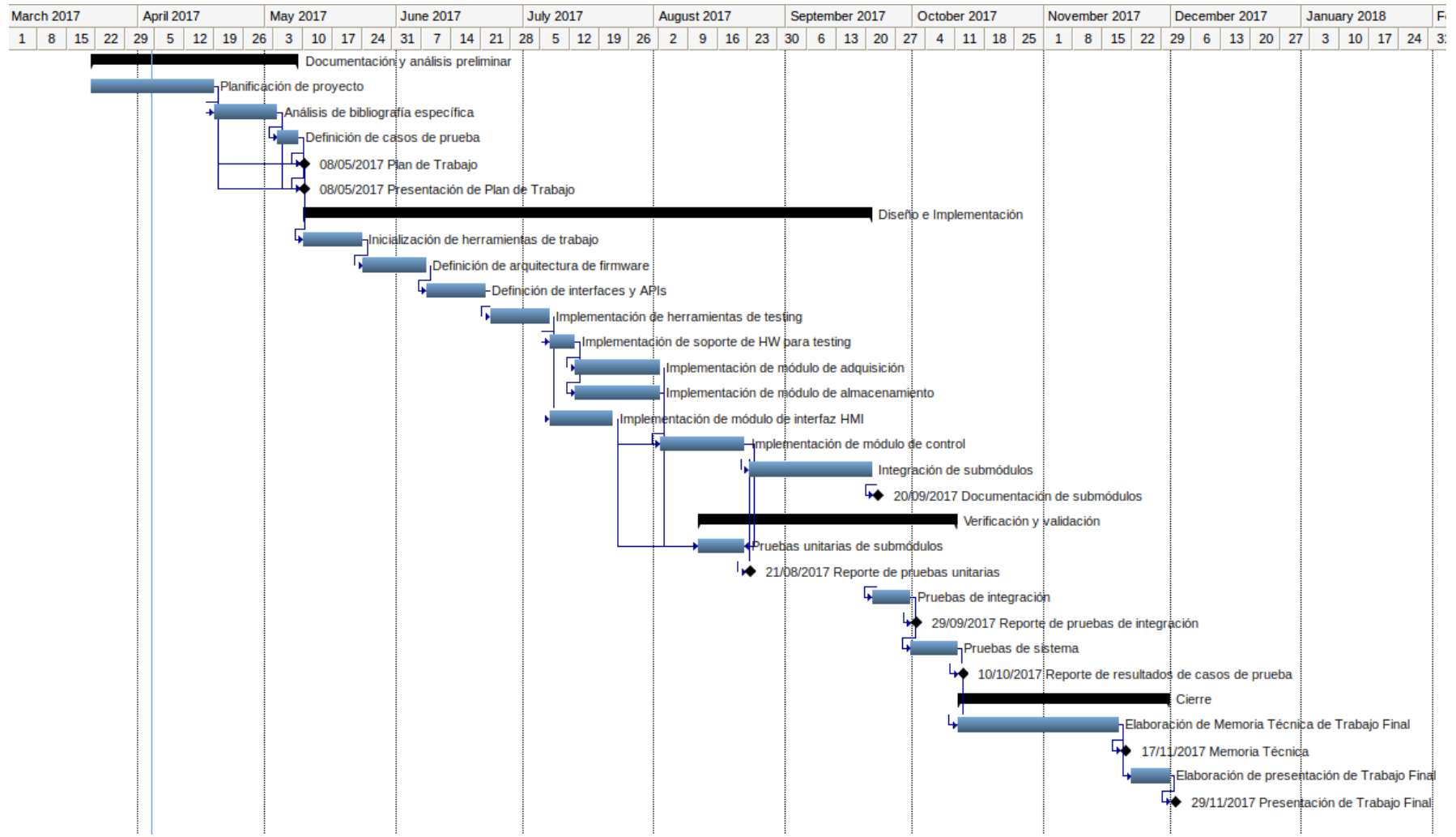


Figura 4. Ejemplo de diagrama de Gantt (apaisado).

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

**IMPORTANTE:** No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

Incluir la aclaración de si se emplea como moneda el peso argentino (ARS) o si se usa moneda extranjera (USD, EUR, etc). Si es en moneda extranjera se debe indicar la tasa de conversión respecto a la moneda local en una fecha dada.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

## 13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S): X.  
Justificación...

- Ocurrencia (O): Y.  
Justificación...

Riesgo 3:

- Severidad (S): X.  
Justificación...
- Ocurrencia (O): Y.  
Justificación...

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $RPN=S \times O$ )

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado:

Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).  
Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (S\*): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O\*): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

## 14. Gestión de la calidad

Elija al menos diez requerimientos que a su criterio sean los más importantes/críticos/que aportan más valor y para cada uno de ellos indique las acciones de verificación y validación que permitan asegurar su cumplimiento.

- Req #1: copiar acá el requerimiento con su correspondiente número.



- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar.
- Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar.

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc.

Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno.

En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

## 15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, los problemas que surgieron y cómo se solucionaron:
  - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores:
  - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.