



# Desarrollo de un Sistema Embebido para la Gestión y Monitoreo de Cultivos Verticales

Autor:

Ing. José Luis Krüger

Director:

()

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 20 de agosto de 2024 y el 8 de octubre de 2024.*

## Índice

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

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de agosto de 2024

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de agosto de 2024

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. José Luis Krüger que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de un Sistema Embebido para la Gestión y Monitoreo de Cultivos Verticales” y consistirá en la implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo y gestión de cultivo hidropónico. El trabajo tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 horas y un costo estimado de \$ XXX, con fecha de inicio el 20 de agosto de 2024 y fecha de presentación pública el 15 de mayo de 2024.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Lic. Rocío Altamirano

Director del Trabajo Final

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

Con la población mundial que ronda los 8000 millones de personas y sigue en crecimiento, la agricultura enfrenta el reto de ser más eficiente y sostenible. Los cultivos verticales se presentan como una solución innovadora que optimiza el uso del espacio y los recursos, especialmente en entornos urbanos donde el suelo es limitado y costoso.

Este tipo de agricultura utiliza técnicas como la hidroponía, que permite un uso preciso del agua, y la aeroponía, que maximiza el oxígeno disponible para las raíces. Además, las granjas verticales aprovechan áreas infrautilizadas, como edificios abandonados o naves industriales, y permiten cultivar alimentos en zonas donde la agricultura tradicional resulta difícil de desarrollar. Así, se logra una mayor densidad de cultivo y se contribuye a la sostenibilidad al reducir el uso de pesticidas y fertilizantes.

Aunque los cultivos verticales requieren un alto nivel de tecnología y tienen costes energéticos asociados, su capacidad para ahorrar recursos, disminuir la huella de carbono y fomentar la producción local y el autoconsumo los posiciona como una opción clave para la agricultura del futuro.

Como proyecto final de la especialización en sistemas embebidos, se propone desarrollar un sistema de monitoreo y gestión para cultivos verticales. Dicho trabajo se trata de un emprendimiento personal y tiene por objetivo permitir controlar y potenciar los factores de crecimiento de las plantas como la nutrición del sustrato, la luz necesaria para fotosíntesis o la oxigenación de las raíces y, al mismo tiempo, optimizar el uso de un recurso tan preciado como el agua.

Por un lado, para lograr la optimización del agua, se utilizará un circuito cerrado de modo que el desperdicio del recurso sea mínimo. Por otro, el monitoreo y control de variables como el pH de la solución nutritiva, su conductividad, temperatura, etc. permitirá lograr un óptimo crecimiento de las plantas al mismo tiempo que el usuario será alertado de cualquier anomalía que se produzca en el sistema.

Los sistemas hidropónicos actuales dependen del usuario para medir de forma manual variables clave como el pH y la temperatura, o directamente no se miden. Utilizan temporizadores genéricos para el riego y, en muchos casos, no se controla la temperatura o la iluminación que reciben las plantas, lo que limita su eficiencia en comparación con los métodos tradicionales. La solución que se presenta en este informe, en cambio, no solo permite medir con precisión todas estas variables, sino que también ajusta automáticamente los controles necesarios, con mínima intervención del usuario. Esto aporta trazabilidad y facilita el ajuste de parámetros para mejorar la productividad a futuro.

En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques de la solución propuesta. Este sistema permitirá controlar el riego, la iluminación y la ventilación de las raíces, al tiempo que monitoreará otras variables críticas para su operación. Se diseñará para un cultivo urbano pequeño, ubicado en el interior de una vivienda, pero será fácilmente escalable, ya que se podrá ampliar simplemente multiplicando el módulo completo. El servidor central será diseñado para gestionar y centralizar la información de una gran cantidad de módulos, de modo que el usuario solo necesite registrar el suyo en el sistema.

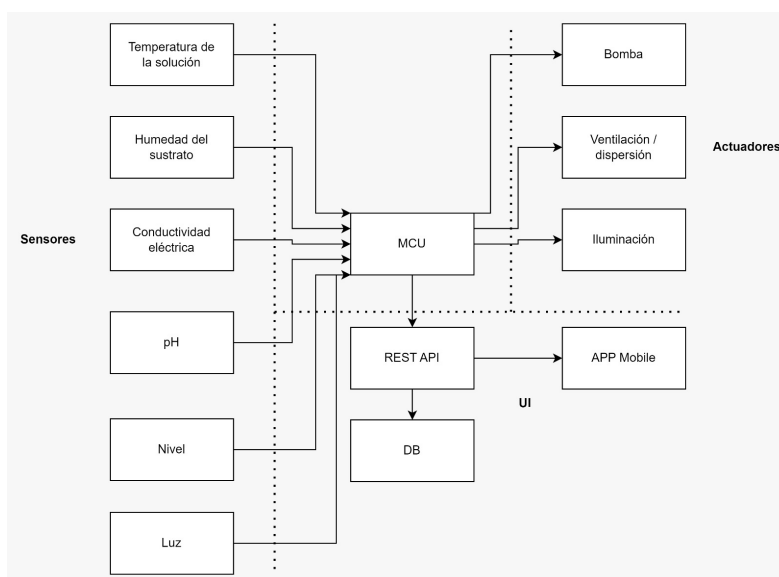


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Lic. Rocío Altamirano		-
Responsable	Ing. José Luis Krüger	FIUBA	Alumno
Orientador	-	-	Director del Trabajo Final
Usuario final	Agricultor organico	-	-

- Orientador: No definido
- Cliente: Lic. Rocío Altamirano

## 3. Propósito del proyecto

Desarrollar un prototipo funcional y escalable que permita automatizar y optimizar los sistemas hidropónicos actuales, de modo que el usuario no necesite realizar monitoreos y ajustes manuales. Busca mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua, los nutrientes y la energía, además de garantizar un control preciso de las condiciones de cultivo. Con esto, se espera aumentar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos hidropónicos mediante un sistema que ofrece trazabilidad completa y facilita la toma de decisiones para futuros ajustes, logrando una producción más rentable, sustentable y tolerante a cambios en las condiciones ambientales.

## 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Desarrollo del prototipo funcional y escalable.

- Diseño de un sistema automatizado para el control del riego, la iluminación y la ventilación en cultivos hidropónicos verticales.
- Desarrollo del firmware para el microcontrolador.
- Desarrollo de una aplicación REST API (incluida la base de datos) y una PWA (Progressive Web App) como interfaz de usuario.
- Pruebas y validación del prototipo.
  - Realización de pruebas en un entorno controlado con cultivos hidropónicos verticales para validar la precisión y efectividad del sistema en el control del riego, la iluminación y la ventilación.
  - Ajuste de componentes y firmware según los resultados obtenidos durante las pruebas.
- Desarrollo de la PCB centralizadora de los módulos electrónicos utilizados.
- Memoria técnica.

El proyecto no incluye:

- Control de otras variables ambientales, como el pH o la temperatura del sustrato.
- Soporte técnico o mantenimiento continuado del sistema después de la entrega del prototipo.
- Adaptación del sistema a otros tipos de cultivos hidropónicos no verticales o infraestructuras específicas que no sean verticales.
- Producción a gran escala del sistema automatizado, más allá del prototipo desarrollado.
- Desarrollo de sistemas de seguridad adicionales más allá de lo necesario para el prototipo.
- Implementación de tecnología para la optimización del consumo energético para producción a gran escala.
- Procesamiento estadístico de los datos almacenados.

## 5. Supuestos del proyecto

- Se dispondrá del apoyo de un director con el conocimiento necesario para orientar técnicamente el proyecto y guiar el desarrollo del prototipo.
- Se dispondrá de todos los materiales necesarios, incluidos sensores, actuadores, controladores y otros componentes electrónicos para el desarrollo del prototipo.
- La integración de los sistemas de riego, iluminación y ventilación con el software desarrollado será viable técnicamente y no presentará incompatibilidades significativas.
- Se contará con el tiempo suficiente para completar todas las fases del proyecto, desde el diseño y desarrollo hasta las pruebas y ajustes necesarios, sin retrasos significativos.
- Existirá un entorno controlado y adecuado para la instalación y prueba del prototipo en condiciones similares a las de operación real para cultivos hidropónicos verticales.
- Las condiciones macroeconómicas permanecerán estables, sin variaciones significativas en el costo de materiales o componentes.
- El PCB podrá desarrollarse.

## 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

Armaz 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

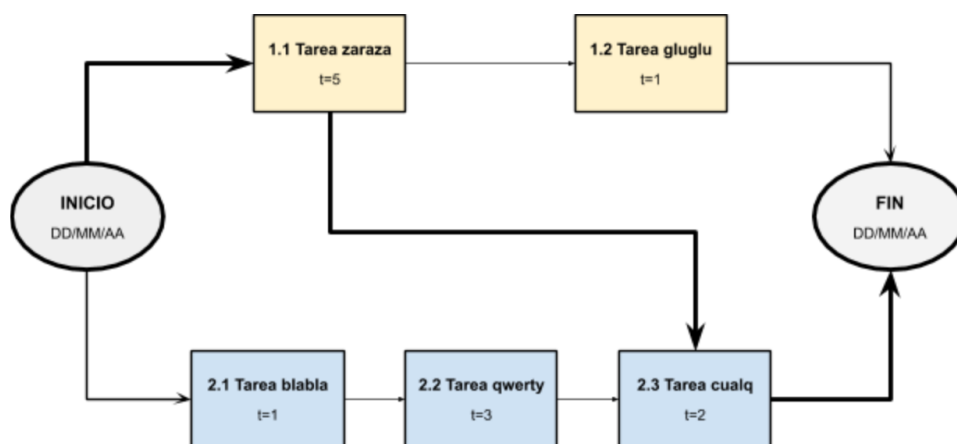


Figura 2. Diagrama de *Activity on Node*.

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.

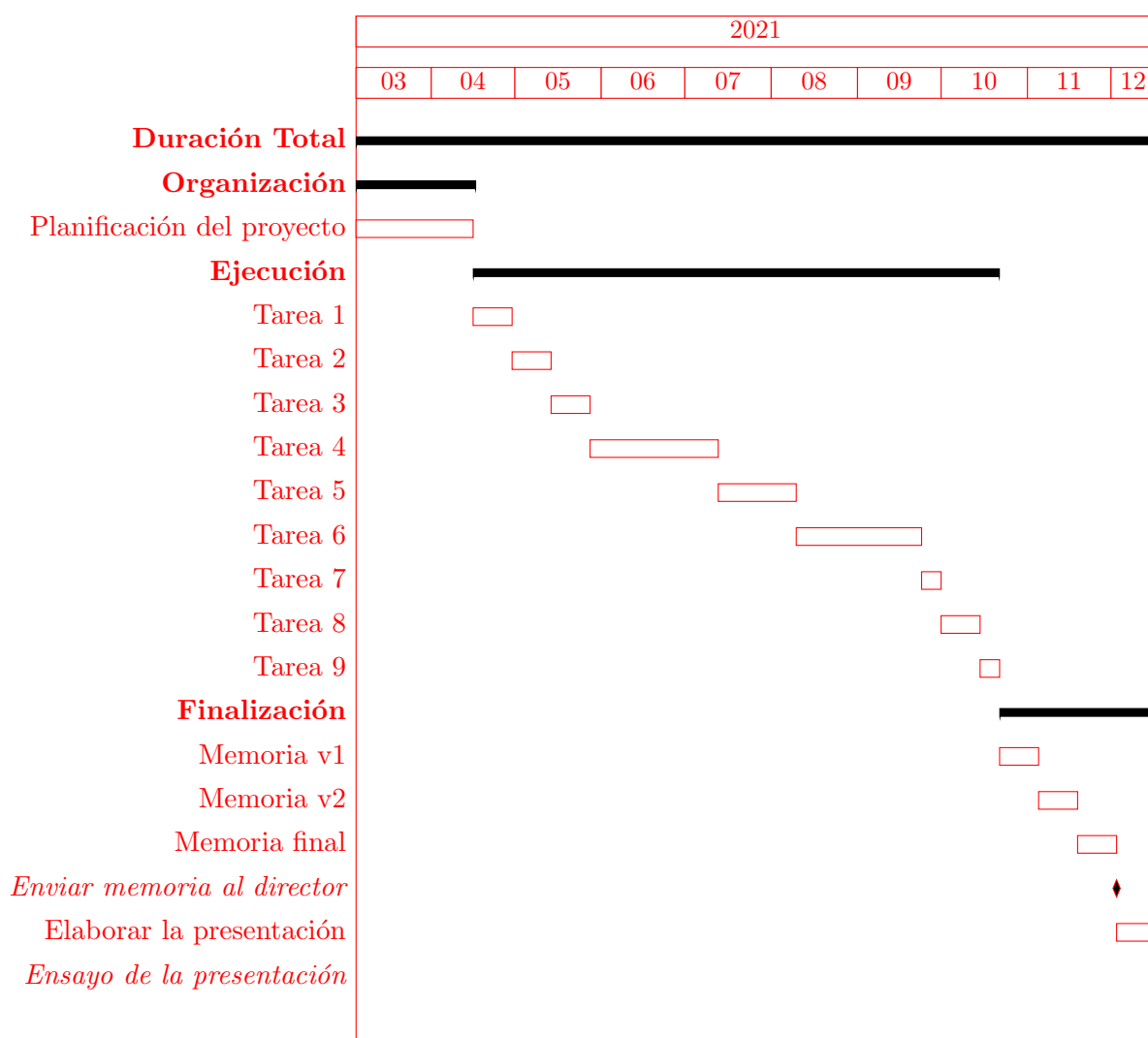


Figura 3. Diagrama de gantt de ejemplo



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...

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

Riesgo 3:

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