



INGENIA SE | CURSO 2022-2023

Documento de Sostenibilidad y Análisis de Impacto

Grupo Hell-ix

23 de mayo de 2023



Índice general

I	Cuerpo del documento	4
1.	Introducción	5
1.1.	Contexto del proyecto	5
1.2.	Objetivos	5
1.3.	Necesidades que pretende cubrir	5
1.4.	Justificación del alcance del análisis realizado	6
2.	Asuntos relevantes y grupos de interés	6
2.1.	Grupos de interés identificados	6
2.2.	Asuntos más relevantes relacionados con la sostenibilidad	7
3.	Investigación de impactos sociales	9
3.1.	Diversidad de género	9
3.1.1.	Diversidad de género en la robótica	9
3.1.2.	Diversidad de género en el sector tecnológico	9
3.1.3.	Diversidad de género en la ETSII y en el INGENIA	9
3.2.	Causas de la escasa diversidad de género	10
3.3.	Datos relacionados con las causas	11
3.4.	Valor añadido del análisis de diversidad de género	12
4.	Evaluación ambiental	12
4.1.	Categorías de impacto más relevantes	12
4.2.	Cuantificación de los impactos	13
4.2.1.	Plástico ABS	13
4.2.2.	Batería LiPo	13
4.2.3.	Motor eléctrico	14
4.3.	Estudio de la etapa de uso del dron	14
5.	Integración en el Ingenia	15
5.1.	Elección del dron	15
5.2.	Diseño de obstáculos	15
6.	Conclusiones	16
	Referencias	16
II	Anexos	18
A.	Informe de evaluación de impacto sobre los ODS	I

B. Identificación y descripción de impactos

VIII

C. Estudio de la etapa de uso

XI

Parte I

Cuerpo del documento

1. Introducción

Hell-ix es un equipo de carreras de drones, cuyo objetivo principal es diseñar y desarrollar un dron autónomo capaz de detectar y esquivar obstáculos que se encuentren dentro de la carrera, así como llevar a cabo varias pruebas adicionales dentro de la competición. Para ello, el sistema cuenta con un dron con un módulo de inteligencia artificial con una cámara y una estación de tierra que es la encargada de calcular la trayectoria que debe seguir el dron.

1.1. Contexto del proyecto

En primer lugar, se detalla el contexto en el que se desarrolla este proyecto del INGENIA. El proyecto se contextualiza en el entorno académico, y consiste en el desarrollo de un dron autónomo capaz de competir contra otro en una competición con unas normas establecidas con varias pruebas. El proyecto se realiza a lo largo del curso lectivo, en la asignatura INGENIA de Ingeniería de Sistemas, y participa en las fases del ciclo de vida de un dron comercial de uso y mantenimiento, recogida y gestión de residuos. Los equipos, de 12 miembros cada uno, tienen definidos los roles de cada miembro, así como una planificación temporal. El proyecto se enmarca en el sector de la ingeniería de sistemas, y en particular de los drones autónomos, en un contexto académico en la Universidad Politécnica de Madrid.

1.2. Objetivos

Al tratarse de un INGENIA fundamentalmente académico, el proyecto presenta unos objetivos principalmente formativos y relacionados con el desarrollo técnico de los estudiantes, pero también a nivel de habilidades interpersonales, organizacionales y de trabajo en equipo, entre otros. Los objetivos principales se resumen a continuación.

- **Adquisición de competencias:** El objetivo fundamental de este proyecto es la adquisición de competencias técnicas, de organización y personales. En particular, el proyecto se centra en la ingeniería de sistemas enfocada en el desarrollo de software, dado que el dron empleado se trata de un dron comercial, el Crazyflie 2.1, por lo que no se van a realizar modificaciones sobre el hardware. Además, las habilidades organizativas y personales adquirirán un gran peso al tratarse de un grupo de trabajo grande de 12 personas.
- **Ganar la competición:** Esta competición será contra otro equipo, Droning, que se encuentra dentro de esta misma modalidad de INGENIA. La competición está compuesta de diferentes pruebas como una carrera de obstáculos, una prueba de velocidad en línea recta o una prueba de freestyle.

1.3. Necesidades que pretende cubrir

La preparación de una competición de drones autónomos dentro de la Universidad Politécnica de Madrid cubre varias necesidades, las cuales se describen a continuación.

- **Formación especializada:** Este proyecto INGENIA ofrece una formación especializada en los aspectos técnicos y teóricos relacionados con los drones autónomos, ampliamente utilizados en el mundo laboral en diversos sectores con un gran impacto social y ambiental (defensa y seguridad, agricultura, construcción, etc.). Los estudiantes pueden aprender sobre los sistemas de control, sensores, procesamiento, comunicaciones y otros aspectos relevantes para el diseño y operación de drones autónomos.

Dentro de estos conocimientos también se incluyen los principios fundamentales de la sostenibilidad, cuya adquisición queda plasmada en el presente documento.

- **Desarrollo de habilidades prácticas:** Los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar habilidades prácticas mediante proyectos y actividades prácticas que involucren el diseño, construcción, programación y operación de drones autónomos.
- **Innovación y desarrollo tecnológico:** La competición de drones autónomos fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico en el campo de los drones autónomos. Los estudiantes pueden tener la oportunidad de participar en proyectos de investigación y desarrollo que involucren el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías para drones autónomos.
- **Fomento del emprendimiento y la empleabilidad:** La carrera de drones autónomos puede fomentar el emprendimiento y la empleabilidad al brindar a los estudiantes habilidades y conocimientos en un campo en crecimiento y demanda. Los estudiantes pueden tener la oportunidad de iniciar su propia empresa o trabajar en empresas relacionadas con los drones autónomos.

1.4. Justificación del alcance del análisis realizado

El análisis se ha realizado desde la perspectiva de proyecto. Este consiste en el diseño y construcción de un sistema que incluye el dron, la estación en tierra, los sistemas de comunicación entre ellos y el entorno de la competición (obstáculos, equipos y espectadores). No obstante, debido a la complejidad del proyecto, para realizar el análisis de impacto se ha establecido como unidad funcional únicamente el dron, fijando así las fronteras del sistema en cuanto al análisis de sostenibilidad. Esto se debe a que se dispone de recursos de tiempo limitados para llevar a cabo el proyecto y realizar un análisis tan exhaustivo que incluyera el sistema completo impediría el desarrollo del resto del proyecto. No obstante, en el presente documento se incluyen algunas observaciones de sostenibilidad de componentes del sistema ajenos al dron como son los obstáculos de la competición.

En cuanto al alcance geográfico, este únicamente abarca la ETSII de la Universidad Politécnica de Madrid. Respecto al alcance temporal, el proyecto comenzó el 5 de septiembre de 2022 y finaliza el 23 de mayo de 2023, aunque para el análisis de sostenibilidad se ha fijado el alcance temporal en el final del ciclo de vida del dron, con su recogida y la gestión de los residuos generados, tras la reutilización por parte de la UPM del sistema.

Además, debido a que la información del hardware del dron no ha sido proporcionada por el fabricante Bitcraze, no es posible obtener información de proveedores, componentes y su trazabilidad para realizar un análisis exhaustivo. Por ello, se realizarán las suposiciones necesarias para llevar a cabo un análisis realista.

2. Asuntos relevantes y grupos de interés

En la presente sección se sintetiza el trabajo llevado a cabo sobre la identificación y descripción de los impactos más relevantes del proyecto relacionados con la sostenibilidad y los grupos de interés. Los detalles de este trabajo se incluyen en el Anexo B.

2.1. Grupos de interés identificados

A continuación se describen los grupos de interés más relevantes identificados dentro del proyecto y que permiten identificar todos los impactos y problemáticas que pudieran sur-

gir. La identificación completa de todos los grupos de interés, así como su descripción y su clasificación según su influencia en el desarrollo del proyecto se encuentra en el Anexo B.

- **Estudiantes del INGENIA SE:** participan activamente en la organización de la carrera de drones. Desde la planificación hasta la ejecución del evento, los estudiantes trabajan para garantizar que todo salga bien. Los estudiantes protagonizan además la competición y se esfuerzan para obtener el primer lugar en la competición.
- **Universidad Politécnica de Madrid:** es conocida por ser una institución de educación superior líder en tecnología e innovación en España. Esta competición de drones es una gran oportunidad para demostrar su gran valor como institución pública. Supone un grupo de interés principal debido a su interés en causar una buena impresión a las empresas que visualizarán la exposición de los proyectos INGENIA.
- **Comunidad universitaria de la ETSII:** asisten como espectadores entusiastas de la tecnología y la innovación. La competición de drones es una oportunidad para demostrar la capacidad de la universidad para innovar en el campo de la robótica y la automática. Supone un grupo de interés principal dado que deberán tomarse las medidas adecuadas para asegurar su seguridad durante el evento y proporcionarles la mejor experiencia.

2.2. Asuntos más relevantes relacionados con la sostenibilidad

El análisis de los distintos impactos se ha llevado a cabo analizando el ciclo de vida, los distintos ámbitos de la sostenibilidad (ambiental, social, económico, ético y estratégico) y los grupos de interés. Tal y como se ha comentado con anterioridad, las fronteras del estudio quedan marcadas por la unidad funcional elegida que es el dron Crazyflie 2.1, por motivos de simplificación. Así mismo, dentro de las distintas fases del ciclo de vida del producto, se ha descartado la fase de diseño debido al reducido impacto que tiene en el ciclo de vida del dron comparada con el resto de fases y por la falta de disposición de datos y dificultad de su análisis. Sin embargo, se han considerado los impactos de la elección del dron dentro de esta categoría de diseño (diseño de la competición). La Figura 2.1 muestra una visión general de los principales impactos y factores relativos a la sostenibilidad asociados al proyecto. Se ha incluido como observación (*) el impacto positivo de la reutilización del cartón para la construcción de los obstáculos pese a no pertenecer al dron.

Para determinar los impactos ambientales más relevantes se ha seguido la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), basado en el estudio del diagrama de flujo del ciclo de vida para el proyecto con el alcance previamente definido, indicando las entradas y salidas del sistema y sus mecanismos relevantes e identificando las categorías de impacto más importantes. Este proceso se ha incluido en el Anexo B.

De todos los impactos identificados, se seleccionan aquellos cuyo análisis y/o integración en el proyecto se considera más relevante. Los impactos seleccionados se indican a continuación junto con su descripción y la justificación para su selección.

- **Desigualdad de género en la clase:** se trata del impacto social (en este caso negativo) que se ha considerado más interesante para realizar un análisis en profundidad, debido a la naturaleza académica del proyecto y que involucra al principal grupo de interés del proyecto, los estudiantes. Este impacto resulta negativo para Hell-ix debido a que la falta de diversidad en los grupos de trabajo afecta directamente a los resultados alcanzables. Estas consecuencias se estudiarán en profundidad en la sección 3. Además, las posibilidades de evaluación son sencillas gracias al diálogo con los grupos de interés involucrados, y podría ser interesante investigar las causas y posibles soluciones para afrontar este problema.

Impactos y problemáticas	Ciclo de vida				
	Diseño	Producción	Distribución	Uso	Fin de vida
Estratégicos	-	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento del dron en la competición 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de espera por transporte 	<ul style="list-style-type: none"> Formación técnica estudiantes Entrenimiento de los espectadores en la competición 	-
Éticos	-	<ul style="list-style-type: none"> Consideración de la mano de obra empleada en el producto adquirido 	-	<ul style="list-style-type: none"> Seguridad de los espectadores durante la competición Formación para potencial aplicación de drones autónomos en causas sociales 	<ul style="list-style-type: none"> Obsolescencia programada
Sociales	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo tecnológico 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> Diversidad de género en la clase Competencia leal Seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> Responsabilidad de fin de ciclo de vida Compromiso público sobre sostenibilidad
Ambientales	-	<ul style="list-style-type: none"> Agotamiento de recursos minerales Agotamiento de recursos naturales. Agua Cambio climático (emisiones) Acidificación 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio climático (emisiones) Agotamiento de recursos fósiles Acidificación 	<ul style="list-style-type: none"> Cambio climático (depende del mix energético empleado para cargar el dron) Acidificación Reciclado de cartón para la construcción de obstáculos (*) 	<ul style="list-style-type: none"> Ecotoxicidad terrestre con una gestión inadecuada Ecotoxicidad agua dulce con una gestión inadecuada Eutrofización agua dulce/salada
Económicos	<ul style="list-style-type: none"> Impacto sobre el presupuesto según el dron diseñado 	<ul style="list-style-type: none"> Impacto sobre el presupuesto de la calidad de los procesos de fabricación 	<ul style="list-style-type: none"> Impacto sobre el presupuesto según el lugar de fabricación y expedición del dron 	<ul style="list-style-type: none"> Gasto en electricidad Gasto en recambios por posibles componentes dañados 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro por reutilización de componentes por parte de la UPM Ahorro por minimización de los componentes dañados y maximización de la durabilidad de las baterías

Figura 2.1: Impactos identificados para cada ámbito de la sostenibilidad.

- **Cambio climático:** se trata de un impacto ambiental negativo que se daría durante las etapas de producción, distribución y uso del dron. Los efectos del cambio climático afectan a todos los grupos de interés por igual ya que tienen una afección global. Se ha seleccionado por las posibilidades de evaluación a través de la unidad asociada a esta categoría de impacto, los kilogramos de CO₂ equivalentes.
- **Utilización de cartón reciclado para la construcción de obstáculos:** se trata de un impacto ambiental positivo y que se ha seleccionado pese a no pertenecer al dron por las posibilidades de integración dentro del proyecto. Este impacto supone un beneficio tanto económico como ambiental para el proyecto.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) más relevantes para el proyecto son el de educación de calidad y el de industria, innovación e infraestructura. El análisis completo de los ODS se incluye en el Anexo A utilizando la herramienta de análisis de impacto de SDG.



Figura 2.2: ODS 4 y 9.

3. Investigación de impactos sociales

En esta fase del análisis de sostenibilidad, se busca un impacto social para su posterior análisis, estudio y extracción de conclusiones acerca de él. El tema elegido es la amplia diferencia en cuanto al número de alumnas y alumnos que hay en este INGENIA, siendo este último notablemente mayor.

3.1. Diversidad de género

Se trata de un impacto relevante para el proyecto porque se han creado equipos poco inclusivos. La representación social en cada equipo queda limitada con tan pocas mujeres en los equipos. Al igual que se ha elegido a estudiantes de diferentes especialidades para formar parte de este INGENIA, también podría haberse realizado algo similar con el género de los participantes.

3.1.1. Diversidad de género en la robótica

Más allá de nuestro proyecto, en el campo de la robótica también existe esta brecha de género (Huertas Sánchez, M.A., 2021). Herramientas tan potentes como las inteligencias artificiales, por ejemplo, tienen riesgo de adoptar esas ideas ya que son creadas, en su mayoría, por hombres y aprenden de muchísima información proporcionada por hombres. Las IA recaban información de internet sobre los temas que sean necesarios. Si históricamente la ciencia en general y la robótica en particular ha sido desarrollada por hombres, el peligro de un aprendizaje sesgado por parte de la IA es real.

Por continuar contextualizando este problema, en 2019, menos del 20 % de los estudiantes de robótica en Estados Unidos eran mujeres, según un informe del Robotics Education Competition Foundation (REC, 2019). Es evidente el mayor número de profesionales mujeres en campos de la salud y educación. Lo sorprendente es que en proyectos de robótica (donde ya se ha visto que el número de mujeres es claramente menor que el de hombres) las mujeres tienen más presencia si estos están relacionados con la interacción humano-robot, con la robótica social y con la robótica de asistencia médica.

3.1.2. Diversidad de género en el sector tecnológico

En el año 2020, menos de un 20 % de los puestos de trabajo del sector tecnológico lo ocupaban mujeres, según el informe Empleo tecnológico del ONTSI (ONTSI, 2021). Según un estudio de la consultora McKinsey en 2020 ("Women in the Workplace 2020"), a nivel global, las mujeres representaban solo el 15 % de los puestos de liderazgo en la industria tecnológica. Además, solo el 3 % de las empresas de tecnología tenían una CEO mujer (McKinsey Company, 2020).

3.1.3. Diversidad de género en la ETSII y en el INGENIA

Por aportar cifras a las sensaciones que se transmiten en la escuela y en el INGENIA, se van a analizar los datos aportados por la Secretaría de la ETSII (ETSII UPM, 2019). Se recogen datos desde el curso académico 2015/2016 hasta el 2018/2019. En este período, el porcentaje de mujeres que ha estudiado un grado, máster o doctorado en la escuela ha sido el mostrado en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.

Por otro lado, esta situación se ve de forma más clara en este INGENIA-SE. Hay dos mujeres en una clase de 24 alumnos, lo que supone menos de un 10 % de mujeres. Esta situación tiene

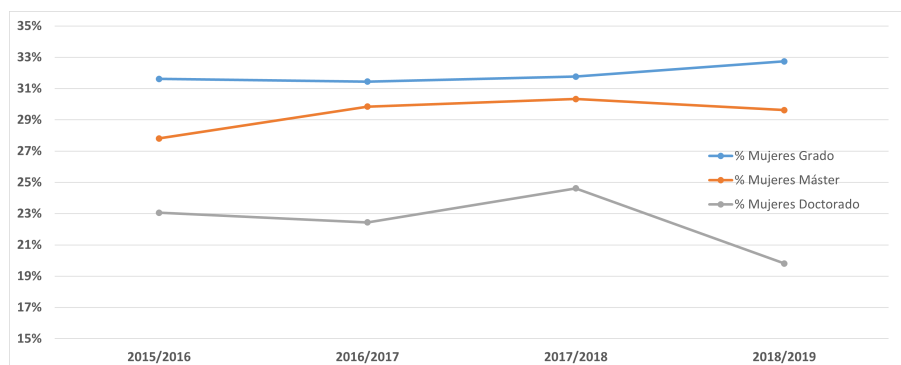


Figura 3.1: Evolución del porcentaje de mujeres en la ETSII desde 2015 hasta 2019 (ETSII UPM, 2019).

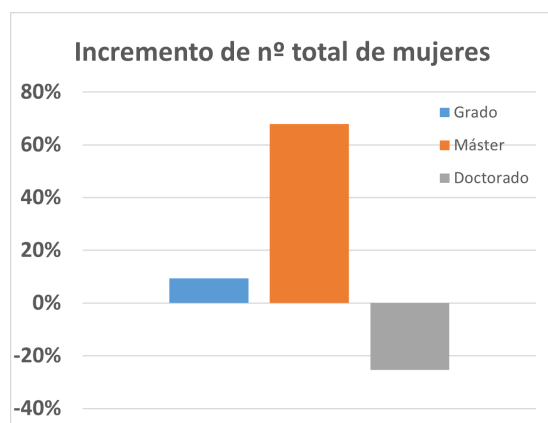


Figura 3.2: Incremento del nº total de mujeres en la ETSII entre 2015 y 2019 (ETSII UPM, 2019).

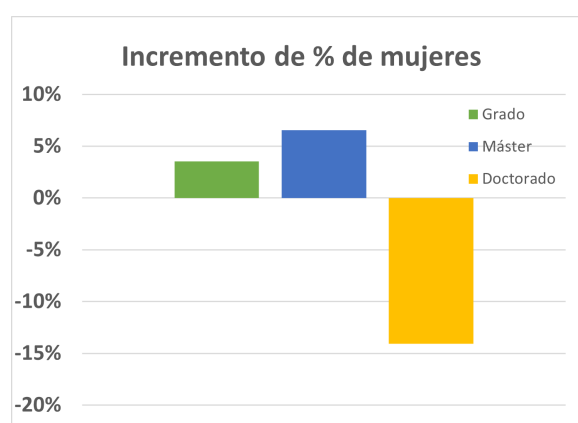


Figura 3.3: Incremento del porcentaje de mujeres en la ETSII entre 2015 y 2019 (ETSII UPM, 2019).

mucho que ver con la especialidad a la que pertenece el INGENIA (automática), ya que es de las que menos representación de mujeres posee en la escuela.

3.2. Causas de la escasa diversidad de género

Existen muchos informes y estudios realizados sobre este tema. Las principales razones por las que las mujeres están subrepresentadas en carreras STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) son principalmente las siguientes:

- **Estereotipos de género en la educación:** Los estereotipos de género sugieren que las habilidades necesarias para tener éxito en estas áreas son más características masculinas que femeninas. Abordar los estereotipos de género requiere cambios culturales y estructurales en toda la sociedad. Es importante destacar que la falta de diversidad de género en las carreras STEM no solo afecta a las mujeres, sino también a la innovación y el progreso de la sociedad en su conjunto.
- **Falta de modelos femeninos:** La falta de referentes femeninos en carreras STEM puede desalentar a las mujeres de perseguir carreras en estos campos. Los referentes femeninos son modelos a seguir que pueden inspirar y motivar a las mujeres.

- **Falta de equilibrio entre el trabajo y la vida personal:** La falta de políticas laborales que permitan un equilibrio entre el trabajo y la vida personal, como la licencia por maternidad y paternidad, el horario flexible y el trabajo desde casa, puede hacer que las mujeres sientan que tienen que elegir entre su carrera y su vida personal.
- **Falta de apoyo:** La falta de apoyo es otro factor que puede afectar la participación de las mujeres en carreras STEM. La falta de apoyo puede venir en diferentes formas, incluyendo la falta de apoyo emocional, financiero y profesional. La falta de apoyo **financiero** hace referencia a las menores oportunidades de financiamiento y acceso a becas de las mujeres con respecto a los hombres, especialmente en países donde el acceso a la educación superior para las mujeres es limitado. La falta de apoyo **emocional** puede hacer que las mujeres se sientan inseguras o cuestionen su capacidad para tener éxito en carreras STEM. La falta de apoyo **profesional** hace referencia a la falta de oportunidades de ascenso y de igualdad de salario. Estos hechos suponen barreras que favorecen la desigualdad en este tipo de carreras.
- **Miedo al fracaso:** Como consecuencia de todos estos factores, surge un miedo inconsciente al fracaso, ya que las mujeres pueden percibir que deben superar más obstáculos para alcanzar el éxito al estudiar una carrera STEM. El miedo al fracaso también puede afectar la elección de carreras de las mujeres, ya que pueden optar por carreras que perciben como más seguras y menos arriesgadas, en contraposición con las carreras STEM, que se ven más competitivas y desafiantes.

3.3. Datos relacionados con las causas

En el año 2020 se realizó el Estudio Mujeres y Ciencia del Ministerio de Ciencia e Innovación, en el que se analiza la situación de las mujeres en España en el sector de la ciencia y la tecnología. Los resultados que se buscan resaltar ahora son las razones por las que las mujeres estudian menos carreras STEM que los hombres (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2022).

- **Estereotipos de género:** El 71,5 % de las mujeres encuestadas afirmaron que los estereotipos de género influyen en su elección de carrera. Además, el 52,9 % consideró que las carreras STEM están más asociadas con los hombres que con las mujeres.
- **Falta de referentes femeninos:** El 72,6 % de las mujeres encuestadas afirmó que la falta de referentes femeninos en el ámbito de la ciencia y la tecnología influye en su elección de carrera. Por otra parte, el 62,3 % consideró que la presencia de más mujeres en estas carreras animaría a otras mujeres a estudiarlas.
- **Dificultades en la formación:** El 34,7 % de las mujeres encuestadas afirmó que la formación en carreras STEM es más difícil que en otras carreras y el 31,7 % señaló que la falta de habilidades en matemáticas y física les impide estudiar carreras STEM.
- **Falta de información:** El 30,9 % de las mujeres encuestadas afirmó que no disponía de suficiente información sobre las posibilidades y salidas de las carreras STEM.
- **Falta de vocación:** El 29,7 % de las mujeres encuestadas afirmó que simplemente no les interesan las carreras STEM y que prefieren otras opciones.

Por último, para observar de manera clara y visual todo lo comentado hasta ahora, se muestra un gráfico en el que aparecen el porcentaje de mujeres matriculadas en distintas ramas de estudio. Concretamente en estudios de Máster. Recordemos que los estudios de Máster están altamente enfocados al futuro profesional y son la preparación para la inminente salida laboral.

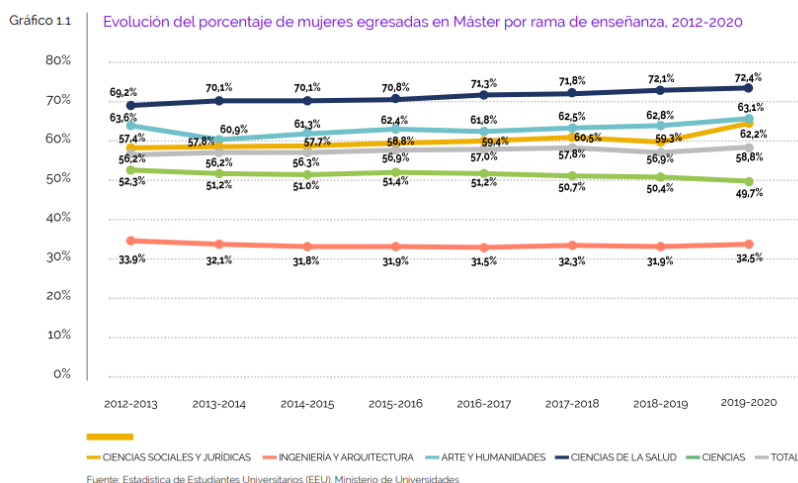


Figura 3.4: Evolución del porcentaje de mujeres egresadas en Máster por rama de enseñanza (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2022).

3.4. Valor añadido del análisis de diversidad de género

Una vez terminado este análisis, es muy importante sacar conclusiones y, en la medida de lo posible, establecer posibles soluciones. El impacto más directo sería enfocar este INGENIA desde un punto de vista más atractivo para las mujeres. Puede que exista un cierto rechazo a la temática del mismo. Se puede proponer un tema que incluyan los mismos conocimientos técnicos relacionados con la automática pero enfocado a temas más sociales. Por ejemplo, desarrollar un dron con objetivos sociales, como mitigación de incendios, entrega de ayuda humanitaria en lugares de guerra o pobreza.

4. Evaluación ambiental

4.1. Categorías de impacto más relevantes

Para el proyecto desarrollado, se han identificado las siguientes categorías con un mayor potencial de impacto e influencia:

- **Cambio climático:** La obtención de los materiales necesarios para la fabricación del dron y de electricidad para la carga de la batería produce emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al cambio climático.
- **Agotamiento de recursos fósiles:** La utilización de los materiales fósiles (petróleo necesario para la fabricación de plástico, combustibles fósiles involucrados en el transporte del dron y la obtención de electricidad) necesarios para el proyecto contribuye a un agotamiento global de dichos recursos.
- **Agotamiento de recursos minerales:** La utilización de los materiales minerales (cobre, hierro...) necesarios para el proyecto contribuye a un agotamiento global de dichos recursos.
- **Agotamiento de recursos naturales (agua):** La fabricación de los distintos materiales del dron (extracción de materias primas y fabricación de componentes a partir de ellas)

y la obtención de energía eléctrica utilizan una cantidad considerable de un recurso escaso como es el agua.

- **Ecotoxicidad terrestre:** Una gestión inadecuada de los materiales al final de la vida del dron puede llevar a una contaminación de la tierra por medio de residuos.
- **Ecotoxicidad del agua:** Algunos de los materiales presentes en el dron pueden ser tóxicos para la biodiversidad si contaminan el agua, lo cual puede suceder como consecuencia de una gestión inadecuada de los mismos al final de la vida del dron, en la producción del mismo (en particular de los componentes electrónicos, que requieren de metales pesados) o durante su uso si se produjeran derrames de aceites, etc.
- **Eutrofización:** Algunas actividades asociadas al ciclo de vida del dron podrían contribuir a la eutrofización, como son los residuos que se producen en la producción del dron, que aceites o combustibles del dron entraran en contacto con el agua durante su uso y la contaminaran, o la eliminación incorrecta del dron al final de su vida.
- **Acidificación:** Las emisiones de algunos gases como los NO_x o el SO_2 en los procesos de combustión contribuyen a la acidificación del medio ambiente. Durante la producción de los materiales del dron pueden generarse estas emisiones, especialmente en aquellos procesos que requieren de energía generada por combustibles fósiles. La obtención de energía eléctrica para la carga de la batería también conlleva en España emisiones de estos gases, y una eliminación inadecuada del dron (por ejemplo, en un vertedero) puede generar gases perjudiciales para el medio ambiente en su descomposición.

El estudio y cuantificación de los impactos se basará en dichas categorías.

4.2. Cuantificación de los impactos

Se van a evaluar los impactos de los componentes más importantes del dron, ya que debido a la gran cantidad de materiales del mismo, resulta imposible conocer su composición exacta.

4.2.1. Plástico ABS

La producción de plástico ABS requiere una gran cantidad de energía eléctrica, específicamente, 26,48 kWh por cada kilogramo de plástico fabricado (European Commission - Joint Research Centre, 2005). Además, se necesita una cantidad significativa de agua, tanto para su producción (0,9 kg) como para su enfriamiento una vez fabricado (141 kg). Afortunadamente, el agua utilizada para enfriar el plástico puede ser recirculada y no es necesario desecharla. Sin embargo, el proceso de producción de plástico ABS también tiene un impacto ambiental importante debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que genera. Por cada kilogramo de plástico ABS producido, se emiten 5,1 g de CO, 3,1 kg de CO_2 , 8 g de SO_x y 5,5 g de NO_x , lo que contribuye al cambio climático y a la contaminación atmosférica. En resumen, la fabricación de plástico ABS es un proceso que requiere una gran cantidad de recursos y tiene un impacto significativo en el medio ambiente.

4.2.2. Batería LiPo

La producción de una batería de 1 kWh de polímero de litio (LiPo) emite 73 kg de CO_2 (Changeit, 2021). Prorrateando este dato con el de la capacidad de la batería del dron Crazyflie, que tiene una capacidad de 0,925 Wh, se puede estimar que se emiten alrededor de 67,5 g de CO_2 durante su fabricación.

4.2.3. Motor eléctrico

El motor eléctrico del dron se compone principalmente de acero, cobre y hierro, cuya obtención requiere de energía y produce una emisión de gases de efecto invernadero, tal y como se muestra en la Tabla 4.1.

Material	CO ₂ equivalente (t)	Energía (GJ)
Acero	1,8 – 2,3	20 – 25
Cobre	3 – 10	30 – 100
Hierro	1,2 – 1,8	10 – 15

Tabla 4.1: Impacto medioambiental de la obtención de una tonelada de material, teniendo en cuenta la extracción de materias primas y su procesado (Liu, 2022).

Además, la obtención de los materiales supondrá un gasto de agua y emisiones de otros gases, como NO_x y SO_x. Por otro lado, para la operación del motor se necesita un consumo de electricidad cuyo origen se considerará como el mix energético español (REE, 2022).

Estructura de la generación de enero a diciembre de 2022

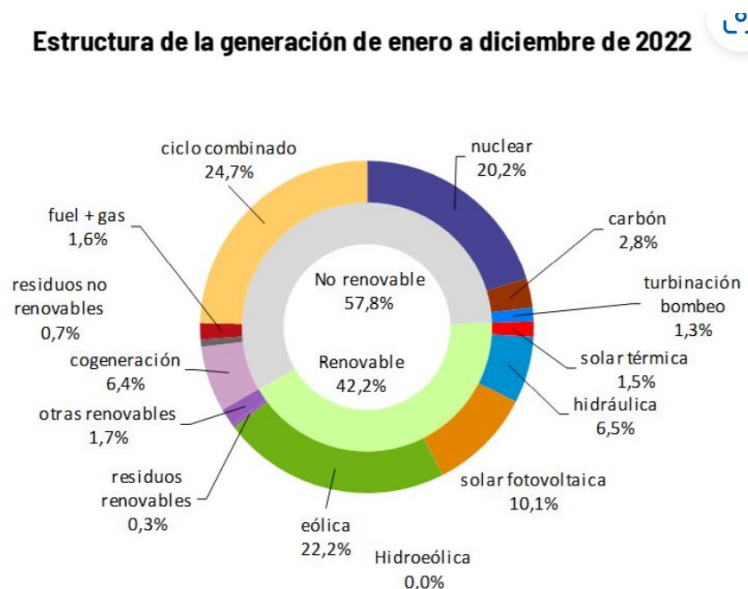


Figura 4.1: Mix energético español durante el año 2022 (REE, 2022).

4.3. Estudio de la etapa de uso del dron

Se ha decidido analizar en detalle el impacto medioambiental en la etapa de uso del dron, es decir, durante su vida útil. Esta elección se fundamenta en que es aquella etapa en la que más va a influir nuestro proyecto y requiere de un análisis relativamente sencillo comparado con otras etapas.

En esta etapa, el impacto medioambiental surgirá de la carga del dron, la cual se realizará con energía de la red eléctrica. Para cuantificar el impacto medioambiental, se utilizará la hipótesis de que la energía proveniente de la red es la del mix energético nacional, y por tanto, lo que se ha de analizar es el impacto de la generación de la cantidad de energía utilizada por el dron a lo largo de su vida útil.

Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo C. En resumen, se ha estimado que el dron tendrá una vida útil de 35 horas de vuelo, para lo cual consumirá 277,5 Wh de electricidad. Esto supone unas **emisiones totales de 41,625 g de CO₂, 0,026471 g de NO_x, 0,020979 g de SO_x y 0,001252 g de PM_{2,5} a lo largo de la vida útil del dron.**

5. Integración en el Ingenia

5.1. Elección del dron

Para la realización de este proyecto, se barajó la posibilidad de utilizar tres drones diferentes: uno personalizado montado por los miembros del proyecto, el dron Crazyflie o el dron Tello. Entre los factores con mayor peso a la hora de tomar la decisión de elección del dron, se tuvo en cuenta la sostenibilidad de las diferentes alternativas como un factor. El dron personalizado se descartó en un primer momento, por lo que se comparó la sostenibilidad del dron Tello con la del Crazyflie. El dron Tello tiene un tamaño de 98 mm x 92.5 mm x 41 mm y un peso aproximado de 80 gramos, mientras que el Crazyflie 2.1 pesa alrededor de 27 gramos y tiene unas dimensiones de 44 mm x 44 mm x 13 mm. Este estudio de la sostenibilidad de los drones arrojó los siguientes resultados:

- A. **Consumo de energía:** Dado que el Crazyflie es más ligero y pequeño que el Tello, requiere un menor consumo de energía para realizar las mismas labores, lo que lo hace más sostenible en términos de consumo de energía, aunque la diferencia es muy pequeña.
- B. **Emisiones de gases de efecto invernadero:** Debido a su menor consumo de energía, el Crazyflie también emitiría menos gases de efecto invernadero que el Tello, sin haber una diferencia muy notable.
- C. **Impacto de las baterías:** Ambos drones utilizan baterías de litio que pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente debido a su extracción, transporte y disposición final. Sin embargo, dado que el Crazyflie es más pequeño, por lo que utiliza baterías más pequeñas y, por lo tanto, tiene un impacto ambiental menor en comparación con el Tello, en este ámbito.

Como consecuencia, se puede concluir que el dron Crazyflie es más sostenible que el Tello. No obstante, la diferencia es reducida y, en un proyecto como el realizado, que consiste en una competición de duración menor de un día, el uso de un dron u otro no supone una diferencia notable en términos de sostenibilidad. Esta diferencia aumenta al considerar la etapa de uso hasta el final de su vida útil, tras las 35 horas estimadas de vuelo.

Además, también se ha estudiado el lugar de procedencia de cada uno de los drones para comparar el impacto que tendría el transporte. El Tello se adquiere desde China y el Crazyflie, desde Suecia. Por lo tanto, a priori y sin entrar en un análisis exhaustivo, el uso del dron Crazyflie requiere un menor gasto de combustibles fósiles para el transporte, lo que emite una menor cantidad de gases de efecto invernadero.

Se ha elegido utilizar el **dron Crazyflie** debido a que potencia más aspectos positivos y aporta más beneficios a los grupos de interés que el Tello, incluyendo el análisis de sostenibilidad.

5.2. Diseño de obstáculos

Pese a que la unidad funcional elegida en el proyecto es el dron, cabe destacar la integración sostenible de otros elementos pertenecientes a este proyecto. Los obstáculos diseñados

para la competición también han sido objeto de un análisis de sostenibilidad para decidir cuáles utilizar para el desarrollo de la competición. Para ello, se ha decidido contar con obstáculos que puedan ser fabricados haciendo uso de cartón reciclado en la propia Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Esta decisión se basa en las numerosas ventajas que presenta desde el punto de vista de la sostenibilidad fabricar los obstáculos con cartón reciclado, en vez de con FVP (polímero de cloruro de vinilo flexible).

En primer lugar, al utilizar cartón reciclado, se evita la generación de nuevos residuos y se promueve el reciclaje de materiales existentes. Esto disminuye la cantidad de residuos que terminan en vertederos o incineradoras, lo que reduce la huella de carbono asociada con la gestión de los mismos. Además, promueve la economía circular y la utilización de materiales existentes en la fabricación de obstáculos, lo que reduce la necesidad de producir nuevos materiales y la presión sobre los recursos naturales. Por otro lado, la producción de cartón reciclado requiere menos energía y emite menos gases de efecto invernadero que la producción de FVP, por lo que tiene una huella de carbono más baja.

6. Conclusiones

En conclusión, desde la perspectiva de la sostenibilidad, este proyecto INGENIA sobre drones autónomos tiene tanto impactos positivos como negativos en los ámbitos ambiental y social, si bien los impactos negativos se han intentado minimizar durante la ejecución del proyecto dentro de lo posible. Por un lado, el proyecto no es sostenible debido a la adquisición a un proveedor externo de un dron construido con materiales no sostenibles. El impacto negativo sobre la sostenibilidad en la fabricación y transporte del hardware empleado ha intentado no ser incrementado en el resto de las fases del ciclo de vida del proyecto como el uso y el mantenimiento, y la planificación de recogida y gestión de los residuos tras la reutilización del dron por parte de la UPM. En el ámbito social, debido al carácter académico del proyecto, se ha llevado a cabo un análisis sobre la diversidad de género en este INGENIA que ha arrojado conclusiones muy interesantes sobre sus causas y la necesidad de revertirlo debido a las ventajas que ofrece esta diversidad en cualquier tipo de proyecto.

En definitiva, el uso de criterios de sostenibilidad ha aportado valor añadido al principal grupo de interés de este proyecto, los estudiantes, debido a su implicación en todas las fases del INGENIA (desde el diseño hasta la ejecución de la competición). Este valor añadido se basa en la formación en sostenibilidad y el aprendizaje de algunas herramientas para realizar un análisis de impacto del proyecto, siendo estas competencias muy relevantes hoy en día en el mundo empresarial por la creciente concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad por parte de la población.

Referencias

- Bitcraze. (2022). *Crazyflie 2.1* / Bitcraze. Descargado de <https://www.bitcraze.io/products/crazyflie-2-1/>
- Changeit. (2021). *Environmental Impact of Lithium Batteries*. Descargado de <https://changeit.app/blog/2021-03-26-environmental-impact-of-lithium-batteries/>
- ETSII UPM. (2019). *La ETSII en Cifras*. Descargado de https://www.industriales.upm.es/wp-content/uploads/2022/03/ETSIIenCifras_2018-19.pdf
- European Commission - Joint Research Centre. (2005). *ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) copolymer, granulate, production mix, at plant, EU27*. Descargado de http://www.inference.org.uk/sustainable/LCA/elcd/external_docs/abs_311147f0-fabd-11da-974d-0800200c9a66.pdf

- Gothenburg Centre for Sustainable Development, GMV. (2022). *SDG Impact Assessment Tool*. Descargado de <https://sdgimpactassessmenttool.org/en-gb/tool/assessments>
- Huertas Sánchez, M.A. (2021). *¿Por qué es necesario incorporar visión de género a la robótica y la inteligencia artificial?* Descargado de <https://mujeresconciencia.com/2021/09/01/por-que-es-necesario-incorporar-vision-de-genero-a-la-robotica-y-la-inteligencia-artificial/>
- Liu, C. L., Xiang. (2022). *Life Cycle Energy Consumption and GHG Emissions of the Copper Production in China and the Influence of Main Factors on the above Performance*. Descargado de <https://doi.org/10.3390/pr10122715>
- Lumbreras, J., Perez, J., Borge, R., Valdés, M., Rodríguez, E., Querol, X., y Cristóbal, (2009). *La contribución del gas natural a la reducción de emisiones en España*.
- MasDiversity. (2023). *La brecha de género en las carreras STEAM*. Descargado de <https://masdiversity.com/error-en-la-actualizacion-la-brecha-de-genero-no-ha-sido-reparada/>
- McKinsey Company. (2020). *Women in the Workplace 2020*. Descargado de <https://womenintheworkplace.com/2020>
- Ministerio de Ciencia e Innovación. (2022). *Mujeres e innovación 2022*. Descargado de <https://www.ciencia.gob.es/InfoGeneralPortal/documento/3413c1a9-5a2c-47a4-82b9-2d7d884401d2>
- Mittal, M. (2021). *Estimates of Emissions from Coal Fired Thermal Power Plants in India*. Descargado de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei20/session5/mmittal.pdf>
- ONTSI. (2021). *Empleo tecnológico. Navegando los indicadores en España y en la Unión Europea*. Descargado de https://www.ontsi.es/sites/ontsi/files/2021-12/informeempleotecnologiconov2021_0.pdf
- REC. (2019). *Annual Report 2018-2019*. Descargado de <https://roboticseducation.org/documents/2021/01/rec-foundation-annual-report-2018-2019.pdf/>
- REE. (2022). *Informe 2022 el sistema eléctrico español*. Descargado de <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico>
- Ryze. (2022). *Tello*. Descargado de <https://www.ryzerobotics.com/es/tello/specs>

Parte II

Anexos

A. Informe de evaluación de impacto sobre los ODS

SDG IMPACT ASSESSMENT TOOL

INGENIA - SE

Direct positive				4	5			8	9								
Indirect positive										10							
No impact	1	2	3			6	7				11			14	15	16	17
Indirect negative												12	13				
Direct negative																	
Don't know - more knowledge needed																	

Description

Análisis de impacto sobre los ODS del proyecto llevado a cabo en la asignatura INGENIA - SE sobre una competición de drones autónomos.

Strategic choices

These are the prioritised areas that we will take action on.

- ☐ Positive impacts we can strengthen even further
- ☒ Negative impacts we can eliminate or minimise
- ☐ Knowledge gaps we need to fill

Strategy

A partir del análisis de impacto sobre los ODS, se decide adoptar una estrategia de minimización de los impactos negativos identificados más relevantes que son principalmente de carácter ambiental: el consumo sostenible de recursos y el cambio

climático. Se adoptarán medidas para fomentar la reutilización y el reciclaje de los recursos, la gestión adecuada de los residuos y la minimización de la huella de carbono del sistema del INGENIA-SE a través de estrategias que afectan a distintas fases del ciclo de vida del sistema: diseño (elección del dron, diseño del software para minimizar el consumo), uso (optimización del proceso de carga de las baterías para maximizar su vida útil), etc.



NO POVERTY

End poverty in all its forms everywhere

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



ZERO HUNGER

End hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



GOOD HEALTH AND WELL-BEING

Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



QUALITY EDUCATION

Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

El proyecto tiene un impacto positivo sobre los estudiantes gracias a la adquisición de competencias técnicas y personales, lo que fomenta su empleabilidad (objetivo 4-4). El estudio sobre la desigualdad de género en el INGENIA-SE también contribuye al objetivo 4-5 de eliminación de disparidades de género en la educación. Además, el módulo C tiene un impacto positivo sobre el objetivo 4-7 de educación para el desarrollo sostenible gracias a la adquisición de competencias técnicas sobre cómo realizar un análisis de impacto de un proyecto y la concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad.



GENDER EQUALITY

Achieve gender equality and empower all women and girls

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

El estudio sobre la desigualdad de género en el INGENIA-SE analizando las causas de este problema y sus posibles soluciones se alinea con el objetivo 5-1 de eliminar cualquier tipo de discriminación y desigualdad.



CLEAN WATER AND SANITATION

Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all

Impact

NO IMPACT

Motivation

El proyecto podría tener un impacto indirecto sobre este ODS con una gestión inadecuada de los residuos generados. No obstante, debido a que se ha planeado una gestión adecuada, este objetivo no es relevante en el proyecto.



AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY

Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este proyecto INGENIA-SE no tiene un impacto claro sobre este ODS. No obstante, se ha procurado maximizar la eficiencia energética durante las etapas del ciclo de vida del dron sobre las que se tenía control: uso y mantenimiento, retirada y gestión de los residuos (objetivo 7-3 de duplicar la mejora en la eficiencia energética).



DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH

Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

El proyecto contribuye al objetivo 8-4 de mejora de la eficiencia del consumo de los recursos durante el uso del dron gracias a la optimización de la carga de las baterías y optimización del software para minimizar el consumo eléctrico. El proyecto también contribuye a los objetivos 8-6 y 8-B de fomento del empleo joven y su educación y formación.



INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation

Impact

DIRECT POSITIVE

Motivation

El proyecto contribuye positivamente al objetivo 9-5 de favorecer la investigación y el desarrollo de tecnologías industriales, en este caso los drones autónomos, con un gran número de aplicaciones en un amplio número de sectores.



REDUCED INEQUALITIES

Reduce inequality within and among countries

Impact

INDIRECT POSITIVE

Motivation

El proyecto podría tener un impacto indirecto positivo sobre el objetivo 10-3 de asegurar la igualdad de oportunidades gracias al análisis del impacto social de desigualdad de género dentro del INGENIA-SE.



SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES

Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



RESPONSIBLE PRODUCTION AND CONSUMPTION

Ensure sustainable consumption and production patterns

Impact

INDIRECT NEGATIVE

Motivation

El proyecto tiene un impacto indirecto negativo sobre el objetivo 12-2 de gestión sostenible de los recursos naturales debido a que el dron adquirido cuenta con muchos minerales y materiales que probablemente han sido extraídos de manera no sostenible. Sin embargo, este proyecto INGENIA-SE impacta positivamente sobre el objetivo 12-6 de fomentar la adopción de prácticas sostenibles (en el caso de Hell-ix, la construcción de los obstáculos para la competición con cartón reciclado). También impacta positivamente sobre el objetivo 12-5 fomentando la reducción de generación de residuos, ya que se ha reflexionado sobre las posibilidades de reutilización y reciclaje de los componentes del sistema tras el final del proyecto.



CLIMATE ACTION

Take urgent action to combat climate change and its impacts

Impact

INDIRECT NEGATIVE

Motivation

El proyecto tiene un impacto negativo sobre el cambio climático debido a la huella de carbono generado por el sistema en sus distintas fases del ciclo de vida. El mayor impacto sobre este ODS se produce en las fases del ciclo de vida del dron sobre las que el proyecto no tiene control: la extracción de las materias primas, la producción del dron y el transporte del mismo hasta el lugar de utilización. En comparación, las emisiones de CO2 equivalentes debidas al uso y mantenimiento del dron son despreciables.



LIFE BELOW WATER

Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



LIFE ON LAND

Protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS

Promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.



PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

Strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development

Impact

NO IMPACT

Motivation

Este ODS no es relevante en el proyecto.

B. Identificación y descripción de impactos

En este anexo se describen los detalles del trabajo realizado para la identificación y selección de los asuntos relevantes y grupos de interés. Para identificar todos los impactos relevantes para el proyecto en primer lugar se realiza una identificación de todos los grupos de interés importantes para poder tenerlos en cuenta. Los grupos identificados, junto con sus motivaciones y capacidades se incluyen en la Figura B.1.



Figura B.1: Grupos de interés, motivaciones y capacidades.

Estos grupos de interés identificados pueden clasificarse de acuerdo con su influencia dentro del proyecto, lo que permite identificar los grupos de interés más relevantes, tal y como se muestra en la Figura B.2.

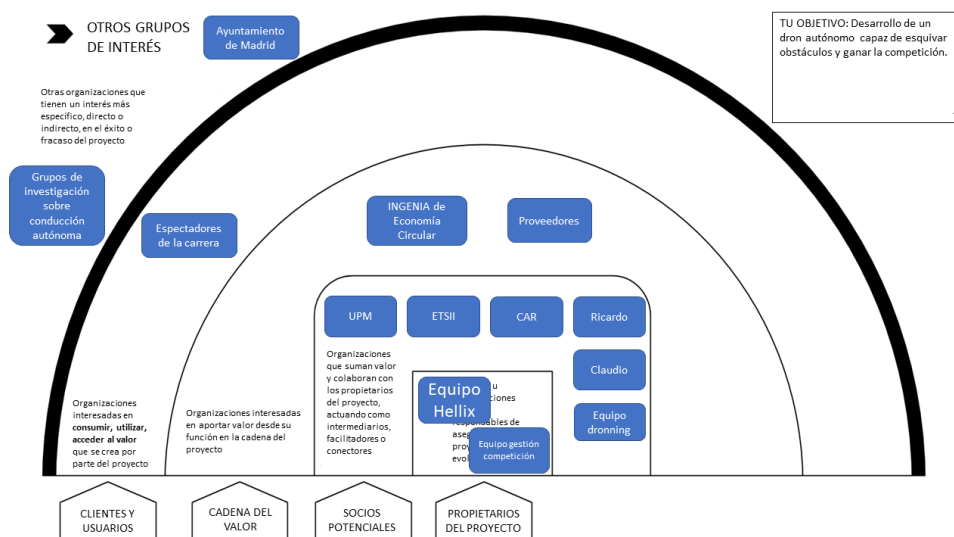


Figura B.2: Clasificación de los grupos de interés según su influencia.

A continuación se identifican los impactos estratégicos en cada una de las fases del ciclo de vida de la unidad funcional, los cuales quedan resumidos en la Figura 2.1. Para identificar las cuestiones del **ámbito ético** se han tenido en cuenta los principios fundamentales de la

ética profesional. Las problemáticas éticas tienen que ver fundamentalmente con consideraciones sobre la mano de obra de fabricación del dron y seguridad de los espectadores durante la celebración de la competición.

A continuación se identifican los **impactos sociales**. Los impactos sociales identificados son: el desarrollo tecnológico (el diseño de este tipo de sistemas fomentan el desarrollo tecnológico de la sociedad y podría tener un impacto indirecto sobre futuros proyectos que involucren drones autónomos gracias a la formación de los estudiantes), la competencia leal durante la competición (involucra a ambos equipos Hell-ix y Droning), la seguridad de los espectadores, la responsabilidad de fin de ciclo de vida del dron (adecuada gestión de los residuos) o el compromiso público con la sostenibilidad. Además, se identificó una problemática dentro de la clase del INGENIA-SE, que resulta ser la ausencia de diversidad de género en la clase.

A continuación se analizan los **impactos económicos** en las distintas fases del ciclo de vida, que tienen que ver con los gastos en el diseño, materiales, energía y otros recursos, tal y como se muestra en la Figura 2.1.

Finalmente, se analizan los **impactos ambientales**. Para ello se sigue la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En primer lugar se realiza un diagrama de flujo describiendo todas las etapas del ciclo de vida del sistema analizado (el dron) dentro del alcance (la fase de diseño ha quedado fuera del análisis por los motivos previamente comentados). El diagrama de flujo resultante se muestra en la Figura B.3.

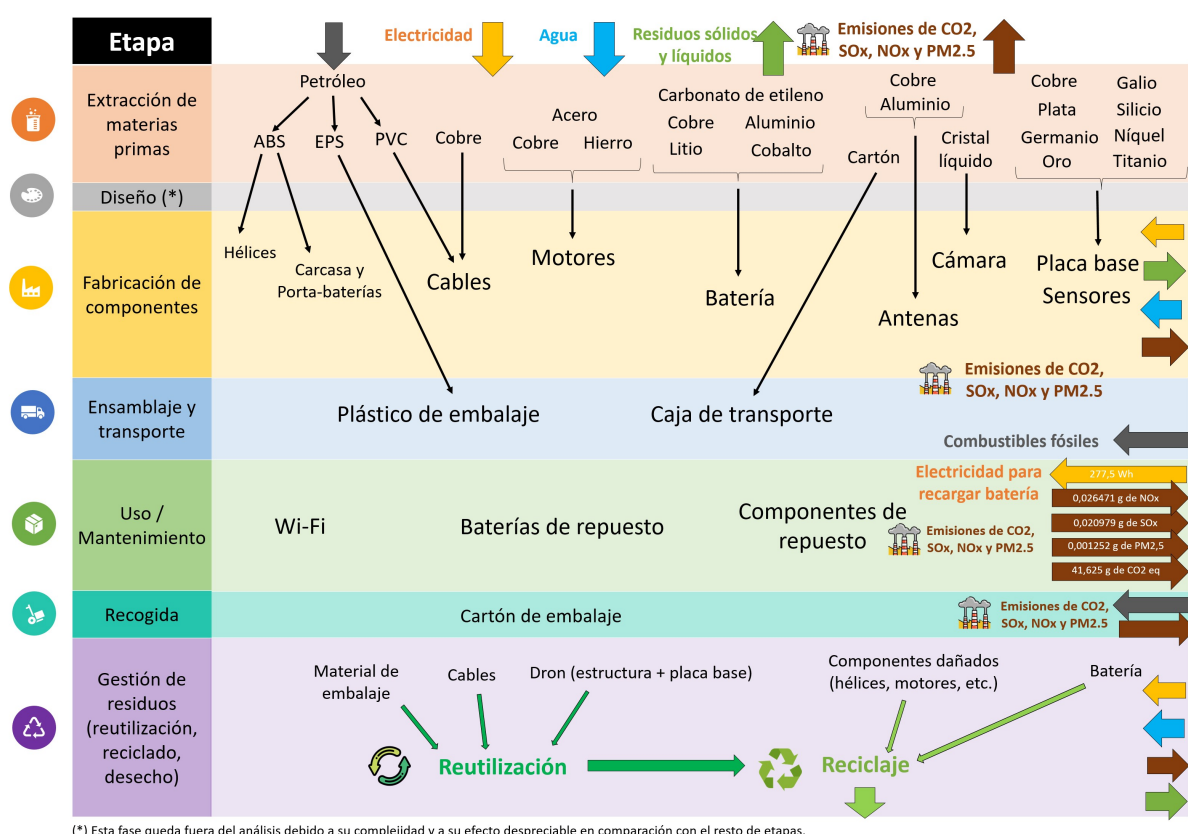


Figura B.3: Diagrama de flujo del ciclo de vida del dron Crazyflie 2.1.

A partir de este diagrama de flujo se determina que las categorías de impacto más importantes son el agotamiento de recursos minerales y naturales durante la fase de produc-

ción; el cambio climático (emisiones), la acidificación y la eutrofización durante las fases de producción, distribución y uso; y la ecotoxicidad terrestre y del agua dulce con una gestión inadecuada de los residuos durante la fase de fin de vida.

Considerando la importancia de dichos impactos, la capacidad de incidir en ellos dentro del proyecto y la facilidad de profundizar en su análisis, se seleccionan tres impactos de entre todos ellos: un impacto positivo ambiental, la utilización de cartón reciclado para la construcción de obstáculos; un impacto negativo ambiental, la contribución del proyecto al cambio climático por generación de CO₂; y una problemática social observada en la clase, la desigualdad de género. La justificación de la selección de estos impactos para su análisis se ha detallado en la sección 2.2.

Las entradas y salidas del diagrama son las siguientes:

- A. **Obtención de materias primas:** Entradas: energía eléctrica, agua (para la extracción de algunos minerales), combustibles fósiles (para la maquinaria utilizada en la extracción y transporte de las materias primas). Salidas: emisiones de gases de efecto invernadero, residuos sólidos y líquidos (como productos químicos utilizados en la extracción de los minerales)
- B. **Fabricación de componentes:** Entradas: energía eléctrica, agua (para el enfriamiento y limpieza de la maquinaria utilizada en la fabricación). Salidas: emisiones de gases de efecto invernadero (debido al consumo de electricidad), residuos sólidos y líquidos (como productos químicos utilizados en el proceso de fabricación).
- C. **Transporte y recogida:** Entradas: combustibles fósiles (para el transporte de las materias primas y componentes). Salidas: emisiones de gases de efecto invernadero.
- D. **Uso:** Entradas: energía eléctrica (para cargar la batería del dron). Salidas: emisiones de gases de efecto invernadero (debido al consumo de electricidad).
- E. **Fin de vida:** Entradas: energía eléctrica, agua (para el proceso de reciclaje). Salidas: residuos sólidos (componentes y materiales del dron que no pueden ser reciclados o reutilizados), emisiones de gases de efecto invernadero (debido al proceso de reciclaje).

C. Estudio de la etapa de uso

En este anexo se analiza el impacto medioambiental en la etapa de uso del dron, es decir, durante su vida útil. En esta etapa, el impacto medioambiental surgirá de la carga del dron, la cual se realizará con energía de la red eléctrica. Para cuantificar el impacto medioambiental, se utilizará la hipótesis de que la energía proveniente de la red es la del mix energético nacional, y por tanto, lo que se ha de analizar es el impacto de la generación de la cantidad de energía utilizada por dron a lo largo de su vida útil.

En primer lugar, se ha de calcular cuánta energía necesitará el dron. Un dron de características similares a este suele durar unos 300 vuelos, y la batería dura unos 7 minutos, lo que significa 2100 minutos de vuelo, o lo que es lo mismo, **35 horas de vuelo**. La batería tiene una diferencia de potencial de 3,7 V entre sus bornes, y una capacidad de 250 mAh, lo que da un resultado de 0,925 Wh por cada carga de la batería. Las 300 cargas de la batería suponen, por tanto, **277,5 Wh de gasto de electricidad en su vida útil**.

Según los datos del mix energético español proporcionados por Red Eléctrica Española (REE), cada MWh producido libera 0,15 toneladas de CO₂ equivalente a la atmósfera. Teniendo en cuenta que el dron utilizará 277,5 Wh, se estiman unas **emisiones de 41,625 g de CO₂ equivalente**. Las Figuras C.1 y C.2 muestran los factores de emisiones para cada tecnología o combustible sin y con cogeneración respectivamente.

Tecnología/combustible (sin cogeneración)	Factor de emisión (g/kWh generado)									
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO _x	COVNM	NH ₃	PM _{2,5}	PM ₁₀
Calderas de carbón	335-469	0,01-0,05	0,007	338-469	0,63	1,3-4,1	0,063-0,113	0	0,150	0,420
Calderas de coque	440	0,005-0,063	0,013	445	0,65	1,5-1,9	0,050-0,063	0	0,147	0,251
Calderas de fuelóleo	314	0,012	0,006	317	0,68	2,1-5,6	0,041	0	0,145	0,16-0,21
Calderas de gasóleo	292	0,010	0,003	293	0,28	0,4	0,060	0	0,020	0,020
Calderas de GLP	260	0	0,010	263	0,25	0	0,008	0	0,001	0,001
Calderas de biogás	0	0,010	0,007	2,38	0,24	0	0,010	0	0,020	0,020
Calderas de gas natural	224	0,006	0,004	225	0,25	0	0,020	0	0,001	0,001

Figura C.1: Factores de emisión por kWh de energía térmica en calderas en el sector industrial (Lumbreras y cols., 2009).

Tecnología/combustible (con cogeneración)	Factor de emisión (g/kWh generado)									
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	NO _x	SO _x	COVNM	NH ₃	PM _{2,5}	PM ₁₀
Turbinas de gas (gas natural)	269	0,019	0,006	271	0,8	0	0,027	0	0,001	0,001
Turbinas de gas (gasóleo)	350	0,019	0,009	354	1,7	0,45	0,014	0	0,024	0,024
Turbinas de gas (fuelóleo)	365	0,014	0,008	368	1,7	2,39	0,017	0	0,168	0,19-0,24
Motores estacionarios (gas de acería)	839	0,001	0,011	842	0,4	0	0,005	0	0,023	0,023
Motores estacionarios (gasóleo)	329	0,007	0,008	331	5,4	0,42	0,016	0	0,023	0,023
Motores estacionarios (fuelóleo)	342	0,014	0,008	345	5,2	2,24	0,225	0	0,158	0,18-0,23
Motores estacionarios (gas natural)	248	0,225	0,006	254	1,7	0	0,900	0	0,001	0,001

Figura C.2: Factores de emisión por kWh de energía térmica + eléctrica en instalaciones de cogeneración en el sector industrial (Lumbreras y cols., 2009).

Además de las emisiones de CO₂ equivalente, que son las que contribuyen al calentamiento global, también es importante fijarse en las emisiones de otros contaminantes derivados de la producción de electricidad, tales como el SO_x, los NO_x y el material particulado (estudiaremos el PM_{2,5} por ser más nocivo para la salud que el PM₁₀). En el mix energético español, el carbón y el gas natural son los causantes de la mayor parte de estas emisiones.

Como se puede apreciar en las imágenes, al quemar carbón para producir electricidad, se generan unas emisiones de 0,63 g de NO_x, 2,7 g de SO_x y 0,15 g de PM_{2,5} por cada kWh producido sólo con carbón. En cuanto al gas natural, este tiene unas emisiones de 0,25 g de NO_x y 0,001 g de PM_{2,5} por cada kWh producido, pero no produce SO_x.

Recuérdese que a partir del carbón se produce el 2,8 % de la electricidad en España, y a partir del gas natural se produce el 24,7 + 6,4 = 31,1 %. Por tanto, cada kWh del mix energético español emite:

$$0,63 \cdot 0,028 + 0,25 \cdot 0,311 = 0,09539 \text{ g de NO}_x \quad (\text{C.1})$$

$$2,7 \cdot 0,028 + 0 \cdot 0,311 = 0,0756 \text{ g de SO}_x \quad (\text{C.2})$$

$$0,15 \cdot 0,028 + 0,001 \cdot 0,311 = 0,004511 \text{ g de PM}_{2,5}. \quad (\text{C.3})$$

Como el dron necesita 277,5 Wh, **las emisiones asociadas a toda la electricidad que consume el dron a lo largo de su vida útil de esos gases y material particulado son de 0,026471 g de NO_x, 0,020979 g de SO_x, y 0,001252 g de PM_{2,5}.**

Las emisiones de 41,625 g de CO₂ equivalente son la medida de la categoría de impacto de cambio climático durante la etapa de uso del dron, las emisiones de 0,020979 g de SO_x son la medida de la categoría de impacto de acidificación (si se consideran en su mayor parte SO₂) y las emisiones de 0,026471 g de NO_x suponen una medida de la categoría de impacto de eutrofización del agua marina (ya que las emisiones de NO_x suponen una fuente de nitrógeno en la atmósfera que contribuye a la eutrofización de las aguas).