



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN CENTRO ECUESTRE. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR.

Autor: Íñigo Rodríguez Armajach

Directores: Marta Revuelta Aramburu y Carlos Morales Polo

Madrid

Agosto de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN CENTRO ECUESTRE. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Íñigo Rodríguez Armajach

Fecha: 23/07/2023

Autorizada la entrega del proyecto
LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

Fdo.: Marta Revuelta Aramburu

Fecha: 30/08/2023

REVUELTA
ARAMBURU
MARTA -
02641691A

Firmado digitalmente por REVUELTA
ARAMBURU MARTA - 02641691A
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES,
serialNumber=IDCES-02641691A,
givenName=MARTA, sn=REVUELTA
ARAMBURU, cn=REVUELTA
ARAMBURU MARTA - 02641691A
Fecha: 2023.08.30 14:23:09 +02'00'

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: 30/08/2023

Firmado digitalmente por Carlos
Morales Polo
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=Carlos Morales Polo, o, ou,
email=cmorales@comillas.edu, c=ES
Fecha: 2023.08.30 15:58:59 +02'00'



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN CENTRO ECUESTRE. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR.

Autor: Íñigo Rodríguez Armajach

Directores: Marta Revuelta Aramburu y Carlos Morales Polo

Madrid

Agosto de 2023

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN CENTRO ECUESTRE. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS Y ECONOMÍA CIRCULAR

Autor: **Rodríguez Armajach, Íñigo.**

Directores: Revuelta Aramburu, Marta; Morales Polo, Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

- INTRODUCCIÓN

Este trabajo de fin de máster pretende llevar a cabo un estudio de impactos ambientales de la situación actual del Centro Ecuestre Alameda del Pardo, una propuesta de revalorización de residuos y mejoras para poder reducir los impactos y finalmente, un segundo estudio de impactos ambientales con la implementación de las propuestas.

El Centro Ecuestre Alameda del Pardo está situado en la carretera de Fuencarral – El Pardo Km 2,300 en Madrid. El centro se encuentra situado en un entorno único como son los Montes del Pardo, a 10 minutos de la Plaza de Castilla y del centro de Madrid. Su cercana ubicación a Madrid, lo sitúa en un enclave estratégico, captando así clientes de la ciudad que buscan montar a caballo en el campo.

Los Montes del Pardo son una zona boscosa situada al norte del municipio de Madrid, considerado el bosque mediterráneo más importante de la Comunidad de Madrid y uno de los mejores conservados de Europa. La superficie de los montes alcanza las 15.821 hectáreas, extendiéndose alrededor del curso medio del río Manzanares. En 1987, fue declarado Zona Especial de Protección para Aves (ZEPA) con la referencia ZEPA ES0000011. Además, está dotado con el grado de protección de Parque regional de la cuenca alta del Manzanares.

El Centro Ecuestre Alameda del Pardo (CEAP) se inauguró el 7 de octubre de 1989, contando actualmente con un total de 19 personas al servicio del cliente. El CEAP ofrece servicios tanto de escuela como de pupilaje. Dentro de las actividades que se ofertan a través de la escuela, se incluyen las siguientes:

- Clases de salto y doma
- Galopes
- Pony club
- Paseos a caballo por los Montes del Pardo
- GREEN TEAM
- Equinoterapia

Actualmente, el CEAP cuenta con un total de 120 caballos, teniendo en cuenta tanto los particulares como los que son propiedad del centro, siendo la extensión total del centro 7 hectáreas.

- OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar una auditoría ambiental de la explotación del centro ecuestre, determinar qué actividades o partes de dicho centro son más perjudiciales para el medio ambiente, para más adelante poder plantear una serie de alternativas que puedan conseguir reducir dichos impactos y finalmente analizar la mejora a través de una nueva auditoría ambiental. Así, se pretende hacer uso de la economía circular, tratando de hacer el centro ecuestre más sostenible y comprometido con el medio ambiente. Para poder lograr dicho objetivo, se han de seguir los siguientes pasos:

- Analizar desde un punto de vista externo al centro, como afecta la presencia de este a la naturaleza que lo rodea y cuáles son las posibles áreas de mejora. Tras una primera auditoría ambiental del centro, y la consiguiente propuesta de soluciones, se realizará otra auditoría con estas mejoras implementadas. Así, se buscará determinar cómo las soluciones propuestas han mejorado los impactos ambientales del centro, haciéndolo más sostenible y comprometido con el medio ambiente.
- Tras una primera auditoría, se analizará que soluciones pueden aplicarse y como estas logran mejorar los impactos ambientales del centro. El objetivo de esta propuesta consiste en proponer una serie de mejoras o alternativas que reduzcan los impactos negativos y logren una mayor sostenibilidad. Para ello, se deberá determinar si tienen sentido en este tipo de instalaciones y si es factible su implementación. Se intentarán aplicar las tecnologías más innovadoras del momento, de tal forma que el proyecto este lo más actualizado posible.

- RESULTADOS

Los resultados y decisiones tomadas acerca de los diferentes estudios y propuestas han sido los siguientes:

Estudio de impactos ambientales de la situación actual.

Los impactos identificados como más graves, y, por lo tanto, con mayor potencial de perjudicar al medioambiente son: pérdida de suelo permanente y compactación, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

La hipótesis inicial era que estos impactos podían ser reducidos gracias a la implementación de una planta de biogás que aprovechara el estiércol generado por los caballos y se ha podido comprobar que esto es así.

Por otro lado, el impacto producido sobre el paisaje también fue considerado como grave, pero en este caso, dicho impacto no se podría reducir salvo que el centro ecuestre fuera desmantelado, al igual que la pérdida de suelo permanente.

Propuesta de revalorización de residuos.

De acuerdo con la información proporcionada por el dueño del centro, el número de caballos que viven actualmente en el centro ecuestre es 120. Teniendo en cuenta que un

caballo produce 23kg de estiércol diariamente, en el centro ecuestre se generan en total a diario 2760kg de estiércol, es decir, anualmente 1007,4 toneladas.

Los resultados más relevantes obtenidos del diseño del digestor son: en cuanto a dimensiones, consta con una altura de 3 metros, siendo el fondo cónico de un metro, un diámetro interno de 5,2 metros y finalmente un volumen de 71,7 metros cúbicos. Se ha obtenido un caudal diario de fangos a digerir de 3,6 metros cúbicos, dando lugar a una producción diaria de gas de 260,6 metros cúbicos. Sobre el balance energético, los calores teóricos y reales disponibles del gas de digestión son, 54.283,2 kcal/h y 35.284,1 kcal/h respectivamente. Por último, se ha obtenido un exceso de calor en las condiciones de cálculo de 32.293,2 kcal/h.

Una vez el digestor había sido diseñado, se le debía dar un uso al biogás generado. En esta línea, se optó por estudiar la posibilidad de aprovechar el exceso de calor del digestor para calentar las instalaciones del Centro Ecuestre Alameda del Pardo durante los meses de invierno y utilizar el biogás en verano para producir energía eléctrica y abastecer el centro.

Para la primera propuesta era necesario calcular la potencia calorífica requerida para calentar el centro. Dicha potencia se estimó en 34.706,1 W o 29.847,2 kcal/h. Dado que el exceso de calor generado en el reactor es superior a la potencia calorífica necesaria, se puede satisfacer la demanda térmica del centro ecuestre durante los meses de invierno.

En cuanto al uso del biogás como energía eléctrica, teniendo en cuenta que se considera que 1 m³ de biogás usado como combustible en una microturbina genera 2,8 kWh de energía eléctrica y 47.559,5 m³ de biogás generados durante los meses de verano, se pueden producir 133.166,6 kWh de energía eléctrica en ese periodo. Se obtiene una potencia instalada de la microturbina de 17,75 kW.

El coste de inversión de la planta se calculó en 31.536€, con unos costes de mantenimiento y operación de 1.261,4€ anuales. El coste de inversión de la microturbina se estimó en 13.180,7€. Por otro lado, los ingresos anuales son de 4.500€, que corresponden a la eliminación de la factura del gas. Teniendo en cuenta que el ciclo de vida de la planta son 25 años y una tasa de descuento del 4%, se obtiene un VAN de 5.651€, una TIR del 5,21% y un payback period de 14 años aproximadamente.

Estudio de impactos ambientales con la implementación de la propuesta.

Los resultados obtenidos en el segundo estudio de impactos ambientales, habiendo implementado la planta de biogás fueron:

La pérdida de suelo permanente y compactación mantiene su impacto de gravedad ya que las instalaciones del centro siguen estando edificadas sobre el terreno, y, por lo tanto, afectando al suelo.

El impacto sobre la hidrología superficial y subterránea reduce su gravedad a un valor medio, dado que ahora el estiércol es introducido casi de manera instantánea al digestor anaerobio cuando es expulsado por los caballos, minimizando así el contacto con el terreno.

La emisión de gases contaminantes también pasa a ser de gravedad media, ya que se minimiza el tiempo de exposición del estiércol al aire.

Se elimina la emisión de malos olores al minimizar dicho tiempo.

Se reducen las filtraciones por estiércol al suelo ya que se minimiza el contacto del residuo con este.

Finalmente, la implementación de una planta de biogás en el centro ecuestre supone un impacto positivo al medio socioeconómico por diversos motivos, por ejemplo, supone una creación de empleo durante la construcción y explotación. Como ya se ha comentado anteriormente, hay ciertos impactos que no logran reducirse ya que la planta de biogás no aplica sobre ellos.

- CONCLUSIONES

Por un lado, en el ámbito de revalorización de residuos, se le da un uso al estiércol generado por los caballos muy beneficioso para el medio ambiente. Si no fuese utilizado para generar biogás, el estiércol sería recogido sin darle ningún tipo de uso posterior debido a sus características.

De esta forma, se consigue aumentar enormemente la sostenibilidad del Centro Ecuestre Alameda del Pardo, haciendo uso de la economía circular.

La planta de biogás diseñada puede lograr el objetivo de vertido cero de desperdicios al proporcionar valor a los mismos, en forma de energía y abonos, para así conseguir cerrar el ciclo del carbono.

Además, al utilizar el biogás generado por la planta para autoconsumo, tanto como energía térmica como energía eléctrica, hace que el centro ecuestre sea casi completamente sostenible, salvo por el suministro de electricidad durante los meses de invierno.

De igual manera, gracias a la generación de biogás, se promueve una transición hacia el uso de energías renovables que es necesaria para poder reducir o eliminar la dependencia sobre los combustibles fósiles.

Así, se consigue utilizar una de las tecnologías más innovadoras del panorama tecnológico para luchar contra el cambio climático, comprometiéndose de esta manera el centro con las directrices propuestas por el parlamento europeo.

Dado que el VAN es positivo y la TIR mayor que la tasa de descuento utilizada, se concluye que el proyecto de revalorización de residuos es rentable económicamente, generando beneficios en un plazo de 25 años. Además, el payback period es de 14 años aproximadamente, estando dentro de los valores lógicos de una instalación de este tipo.

Por otro lado, gracias al análisis de los resultados de las auditorías ambientales llevadas a cabo durante el proyecto, se puede concluir rotundamente que la planta de biogás del centro ecuestre reduce de manera considerable casi todos los impactos identificados durante estos estudios.

Además, se cumple uno de los objetivos propuestos inicialmente, identificar los impactos que más daño producen al medio ambiente y utilizar alguna de las tecnologías más innovadoras de hoy en día para paliar dichos efectos.

Se concluye que, gracias a la planta de biogás, los impactos reducen su gravedad en gran medida, incluso llegándose a eliminar por completo. Se debe comentar que la pérdida de suelo permanente, el impacto sobre el paisaje y la contaminación acústica no se logran reducir como estaba previsto en un primer momento ya que la planta de biogás no aplica a ninguno de estos impactos.

Íñigo Rodríguez Armajach
RESUMEN DEL PROYECTO

De esta forma, se comprueba mediante una auditoría ambiental cómo la implementación de una planta de biogás en un centro ecuestre es capaz de hacer que este sea más sostenible, reduciendo su impacto negativo sobre el medio ambiente, y, por lo tanto, ayudando a combatir el cambio climático.

STUDY OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF AN EQUESTRIAN CENTER. BIOGAS GENERATION FROM WASTE AND CIRCULAR ECONOMY.

Author: **Rodríguez Armajach, Íñigo.**

Directors: Revuelta Aramburu, Marta; Morales Polo, Carlos.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

PROJECT SUMMARY

- INTRODUCTION:

This master's thesis aims to carry out a study of environmental impacts of the current situation of the Alameda del Pardo Equestrian Center, a proposal for waste revaluation and improvements to reduce the impacts and finally, and a second study of environmental impacts with the implementation of the proposals.

The Alameda del Pardo Equestrian Center is located on the Fuencarral - El Pardo road, Km 2.300 in Madrid. The center is located in the unique setting of the Montes del Pardo, 10 minutes from the Plaza de Castilla and the center of Madrid. Its close location to Madrid, places it in a strategic enclave, thus attracting clients from the city who are looking for horseback riding in the countryside.

Montes del Pardo is a wooded area located in the north of the municipality of Madrid, considered the most important Mediterranean forest in the Community of Madrid and one of the best preserved in Europe. The area of the mountains reaches 15,821 hectares, extending around the middle course of the Manzanares River. In 1987, it was declared a Special Protection Area for Birds (ZEPA) with the reference ZEPA ES0000011. It is also endowed with the degree of protection of Regional Park of the upper basin of the Manzanares.

The Centro Ecuestre Alameda del Pardo (CEAP) was inaugurated on October 7, 1989, and currently has a total of 19 people at customer service. CEAP offers both schooling and livery services. Among the activities offered through the school, the following are included:

- Jumping and dressage lessons
- Gallops
- Pony club
- Horseback riding in the Pardo Mountains
- GREEN TEAM
- Equine therapy

Currently, CEAP has a total of 120 horses, considering both private horses and those owned by the center, with a total extension of 7 hectares.

- **OBJECTIVES:**

The main objective of this work consists of carrying out an environmental audit of the equestrian center's operation, analyzing which aspects are most harmful, proposing a series of alternatives to alleviate these aspects and finally analyzing the improvement through a new environmental audit. In this way, the objective is to make use of the circular economy, trying to make the equestrian center more sustainable and committed to the environment.

- The main objective of the study of the environmental impacts of an equestrian center is to determine which activities or parts of the center are most harmful to the environment, to later be able to propose a series of alternatives that can reduce this impact. In this way, the aim is to analyze, from an external point of view, how the presence of the center affects the surrounding nature and what are the possible areas for improvement. After a first environmental audit of the center, and the consequent proposal of solutions, another audit will be carried out with these implemented improvements. Thus, we will seek to determine how the proposed solutions have improved the environmental impacts of the center, making it more sustainable and committed to the environment.
- After an initial audit, an analysis will be made of the solutions that can be applied and how they can improve the environmental impacts of the center. The objective of this proposal is to propose a series of improvements or alternatives that reduce negative impacts and achieve greater sustainability. To do so, it will be necessary to determine if they make sense in this type of facilities and if their implementation is feasible. We will try to apply the most innovative technologies of the moment, so that the project is as up to date as possible.

- **RESULTS:**

The results and decisions taken on the different studies and proposals were as follows:

Study of environmental impacts of the current situation.

The impacts identified as most serious, and, therefore, with the greatest potential to harm the environment are loss of permanent soil and compaction, contamination of surface and groundwater, and the emission of polluting gases into the atmosphere.

The initial hypothesis was that these impacts could be reduced thanks to the implementation of a biogas plant that would take advantage of the manure generated by the horses.

On the other hand, the impact on the landscape was also considered serious, but in this case, this impact could not be reduced unless the equestrian center was dismantled, as well as the loss of permanent soil.

Waste revaluation proposal.

According to the information provided by the owner of the center, the number of horses currently living in the equestrian center is 120. Considering that one horse produces 23kg of manure daily, the equestrian center generates a total of 2760kg of manure daily, i.e., 1007.4 tons annually.

The most relevant results obtained from the design of the digester are, in terms of dimensions, it has a height of 3 meters, with a conical bottom of one meter, an internal diameter of 5.2 meters and finally a volume of 71.7 cubic meters. The daily flow of sludge to be digested was 3.6 cubic meters, resulting in a daily gas production of 260.6 cubic meters. On the energy balance, the theoretical and real available heats of the digestion gas are 54,283.2 kcal/h and 35,284.1 kcal/h respectively. Finally, an excess heat of 32,293.2 kcal/h has been obtained under the calculation conditions.

Once the digester had been designed, the biogas generated had to be used. In this line, it was decided to study the possibility of using the excess heat from the digester to heat the facilities of the Alameda del Pardo Equestrian Center during the winter months and use the biogas in summer to produce electricity and supply the center.

For the first proposal it was necessary to calculate the heating power required to heat the center. This power was estimated at 34,706.1 W or 29,847.2 kcal/h. Since the excess heat generated in the reactor is greater than the necessary heating power, the thermal demand of the equestrian center can be satisfied during the winter months.

As for the use of biogas as electrical energy, considering that 1 m³ of biogas used as fuel in a microturbine generates 2.8 kWh of electrical energy and 47,559.5 m³ of biogas generated during the summer months, 133,166.6 kWh of electrical energy can be produced during that period. The installed power of the microturbine is 17.75 kW.

The investment cost of the plant was calculated at €31,536, with maintenance and operation costs of €1,261.4 per year. The investment cost of the microturbine was estimated at €13,180.7. On the other hand, the annual income is €4,500, which corresponds to the elimination of the gas bill. Considering that the life cycle of the plant is 25 years and a discount rate of 4%, the NPV is €5,651, the IRR 5.21% and a payback period of approximately 14 years.

Study of environmental impacts with the implementation of the proposal.

The results obtained in the second study of environmental impacts, having implemented the biogas plant were:

The loss of permanent soil and compaction maintains its severity impact since the center's facilities continue to be built on the ground, and therefore affecting the soil.

The impact on surface and subway hydrology reduces its severity to a medium value, since now the manure is introduced almost instantaneously to the anaerobic digester when it is expelled by the horses, thus minimizing contact with the ground.

The emission of polluting gases also becomes of medium gravity since the exposure time of the manure to the air is minimized.

The emission of bad odors is eliminated by minimizing this time.

Manure leaks to the soil are reduced since the contact of the waste with the soil is minimized.

Finally, the implementation of a biogas plant in the equestrian center has a positive impact on the socioeconomic environment for several reasons, for example, it means the creation of employment during construction and operation. As mentioned above, there are certain impacts that cannot be reduced because the biogas plant does not apply to them.

- **CONCLUSIONS:**

On the one hand, in the field of waste revaluation, the use of manure generated by horses is very beneficial for the environment. If it were not used to generate biogas, the manure would be collected without any further use due to its characteristics.

In this way, the sustainability of the Alameda del Pardo Equestrian Center is greatly increased, making use of the circular economy.

The biogas plant designed can achieve the goal of zero waste disposal by providing value to the waste, in the form of energy and fertilizers, to close the carbon cycle.

In addition, by using the biogas generated by the plant for self-consumption, both as thermal energy and electrical energy, it makes the equestrian center almost completely sustainable, except for the supply of electricity during the winter months.

Likewise, thanks to the generation of biogas, a transition towards the use of renewable energies is promoted, which is necessary to reduce or eliminate dependence on fossil fuels.

In this way, it is possible to use one of the most innovative technologies in the technological panorama to fight against climate change, thus committing the center to the guidelines proposed by the European Parliament.

Given that the NPV is positive, and the IRR is higher than the discount rate used, it is concluded that the waste revaluation project is economically profitable, generating benefits within 25 years. In addition, the payback period is approximately 14 years, which is within the logical range for a facility of this type.

On the other hand, thanks to the analysis of the results of the environmental audits carried out during the project, it can be categorically concluded that the biogas plant of the equestrian center considerably reduces almost all the impacts identified during these studies.

In addition, one of the initially proposed objectives has been met: to identify the impacts that cause most damage to the environment and to use some of today's most innovative technologies to mitigate these effects.

It is concluded that, thanks to the biogas plant, the impacts are greatly reduced in severity, and even eliminated completely. It should be noted that the loss of permanent soil, the impact on the landscape and noise pollution are not reduced as initially foreseen, since the biogas plant does not apply to any of these impacts.

In this way, the second environmental audit shows how the implementation of a biogas plant in an equestrian center can make it more sustainable, reducing its negative impact on the environment and, therefore, helping to combat climate change.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación Centro Ecuestre Alameda del Pardo. (Fuente: Google Maps)	31
Ilustración 2. Localización del Monte del Pardo en Madrid. (Fuente: El Pardo)	32
Ilustración 3. Instalaciones del CEAP. (Fuente: Google Maps)	35
Ilustración 4. Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. (Fuente: CIEMAT)	54
Ilustración 5. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia. (Fuente: CIEMAT)	55
Ilustración 6. Fases de la digestión anaerobia y poblaciones de microorganismos. (Fuente: GIRO).....	56
Ilustración 7. Ejemplo de digester anaerobio. (Fuente: Residuos profesional)	60
Ilustración 8. Zonas climáticas en invierno según el CTE. (Fuente: Caloryfrio)	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los aspectos a tener en cuenta en la valorización de los impactos. (Fuente: Orea, 2014).....	40
Tabla 2. Valoración de los impactos ambientales en función de la I_{est}	41
Tabla 3. Resumen de la valoración de impactos.	49
Tabla 4. Análisis detallado de una muestra de estiércol de caballo.....	53
Tabla 5. Parámetros de partida para el cálculo del digestor.	62
Tabla 6. Resultado del cálculo.....	63
Tabla 7. Parámetros de partida para el cálculo del balance térmico.....	65
Tabla 8. Resultado de cálculo del balance térmico.....	66
Tabla 9. Resumen de resultados del digestor anaerobio diseñado.....	67
Tabla 10. Cálculo de la potencia calorífica necesaria para calentar las instalaciones del centro.	69
Tabla 11. Resumen de la valoración de impactos ambientales con la implementación de las medidas.	82

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO	24
1.1. INTRODUCCIÓN	24
1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	25
1.3. MOTIVACIÓN.....	26
1.4. OBJETIVOS	27
1.4.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	27
1.4.2. OBJETIVO DE LA PROPUESTA DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS 27	
1.5. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	28
1.6. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	29
1.7. RECURSOS A EMPLEAR	30
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CENTRO ECUESTRE	31
2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA	31
2.1.1. LOS MONTES DEL PARDO.....	31
2.2. DESCRIPCIÓN Y SERVICIOS QUE OFRECE	33
3. ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA SITUACIÓN ACTUAL	37
3.1. MARCO LEGAL.....	37
3.2. ACCIONES CON POTENCIAL DE PRODUCIR IMPACTOS Y AFECCIONES MEDIOAMBIENTALES PREVISIBLES	38
3.3. MÉTODO ELEGIDO PARA LA VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS	39
3.4. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.....	41
3.4.1. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE.....	41
3.4.2. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD ACÚSTICA	43
3.4.3. IMPACTOS SOBRE EL SUELO	43
3.4.4. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	45
3.4.5. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	45
3.4.6. IMPACTOS SOBRE LA FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS	46
3.4.7. IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE.....	46
3.4.8. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO	47
3.5. RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	48
3.6. CONCLUSIONES	50
4. PROPUESTA DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y MEJORAS PARA REDUCIR LOS IMPACTOS	51
4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL.....	51
4.2. COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL.....	52
4.3. GENERACIÓN DE BIOGÁS	54
4.3.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA	55
4.3.2. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y OPERACIONALES	57

4.3.3.	ACONDICIONAMIENTO DEL SUSTRATO PREVIA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, GESTIÓN DEL APROVISIONAMIENTO Y DE LOS SUBPRODUCTOS	58
4.3.4.	PRINCIPALES BENEFICIOS DE PRODUCIR BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL ANIMAL.....	59
4.4.	DISEÑO DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE CABALLO Y AGUAS RESIDUALES.....	60
4.4.1.	PARÁMETROS DE CONTROL	61
4.4.2.	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL DIGESTOR.....	61
4.4.3.	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE TÉRMICO DEL DIGESTOR.....	64
4.4.4.	RESUMEN DE RESULTADOS DEL DIGESTOR ANAEROBIO OBTENIDO 66	66
4.5.	USO DEL BIOGÁS GENERADO DURANTE LA DIGESTIÓN	67
4.5.1.	USO DEL BIOGÁS COMO ENERGÍA TÉRMICA	67
4.5.2.	USO DEL BIOGÁS COMO ENERGÍA ELÉCTRICA	70
4.5.3.	UPGRADING DE BIOGÁS PARA CONVERTILRO EN BIOMETANO.....	71
4.6.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA.....	72
5.	ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	74
5.1.	VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE CON LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS	74
5.1.1.	IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE.....	74
5.1.2.	IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD ACÚSTICA	76
5.1.3.	IMPACTOS SOBRE EL SUELO	76
5.1.4.	IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	78
5.1.5.	IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.....	78
5.1.6.	IMPACTOS SOBRE LA FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS.....	79
5.1.7.	IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE.....	80
5.1.8.	IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO	80
5.2.	RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS.....	81
5.3.	CONCLUSIONES	83
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
6.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE BIOGÁS	85
6.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES	87
7.	CONCLUSIONES.....	88
8.	ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	90
9.	LÍNEAS FUTURAS	91
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	92

1. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

1.1. INTRODUCCIÓN

El sector ecuestre en España supone un 0,59% del PIB, con un total de 7.392.559.213€. Se estima que en España hay un total de 188.286 explotaciones cuya actividad principal es la hípica, incluyendo desde la crianza y entrenamiento de caballos hasta competiciones y turismo ecuestre. El número de caballos que habitan estos centros ecuestres asciende hasta 722.158, dando lugar a 3,8 caballos por centro. Dicho sector contribuye al mantenimiento de 149.863 puestos de trabajo.

Se deben distinguir tres etapas en el ciclo de vida de un caballo:

- Cría: proceso que transcurre desde la inseminación de la yegua, pasando por el parto y destete del potro hasta que se comienza a invertir en su formación. Dicha etapa cuenta actualmente con un total de 157.262 caballos.
- Transformación: fase intermedia en la vida de un caballo, preparatoria para la actividad que está previsto que realice una vez llegue a la fase de explotación. En esta etapa se encuentran 110.722 caballos.
- Explotación: fase final en la que el caballo desempeña las actividades o disciplinas para las que se le ha entrenado. Por último, 454.174 caballos se encuentran actualmente en explotación. Como era de esperar, la etapa de mayor aporte económico es la de explotación, con un total de 5.110.421.998€.

Las comunidades autónomas con mayor censo equino son Andalucía con un 32,3%, Castilla – León con un 10,4% y Galicia con un 6,4%. Las actividades de explotación de los centros ecuestres se agrupan en 4 bloques: deporte, suponiendo un impacto económico de 2.487 M€, ocio con un 1.808 M€, equino terapia con 5,3 M€ y otros con 134 M€. Las actividades realizadas dentro de dichos grandes bloques son las siguientes:

- Deporte: licencias, clubes hípicos, competición y carreras.
- Ocio: turismo ecuestre, espectáculos, fiestas populares en torno al caballo y fincas privadas.
- Equino terapia: terapias asistidas con caballos.
- Otros: formación, Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FFCCSE) y sector cárnico.

El sector ecuestre es un fuerte dinamizador de zonas rurales, contribuyendo a la consolidación de población, evitando el despoblamiento y fomentando el desarrollo sostenible, la conservación de los paisajes y la biodiversidad, ya que su actividad y presencia mantiene las praderas naturales, fertilizando los suelos y contribuyendo a reducir el riesgo de incendios forestales. La equitación es uno de los pocos deportes en el que se compite en absoluta igualdad de género, además, las mujeres federadas representan el 70% de las licencias.

El estudio de impacto ambiental y propuesta de revalorización de residuos que se pretenden tratar en este proyecto se realizarán sobre un centro ecuestre situado en los Montes del Pardo, llamado Centro Ecuestre Alameda del Pardo.

1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La lucha contra el cambio climático y para conservar el medio ambiente es un tema muy presente en la sociedad de hoy en día. Por ello, todo tipo de organizaciones (gubernamentales, privadas, ...) toman medidas para participar en la defensa del planeta. De igual manera, a nivel individual, la población mundial cada vez está más concienciada sobre el problema que supone la contaminación, la destrucción de la capa de ozono, la deforestación y un sinnúmero de sucesos que están consumiendo el planeta poco a poco.

Debido a esto, todo tipo de actividades buscan ser más sostenibles, para así aportar todo lo posible en esta lucha. El sector ecuestre no se exime de estas responsabilidades, debe colaborar y ser participe. Si bien es verdad que las actividades que se desempeñan en una hípica no son las más contaminantes, siempre pueden buscarse soluciones y alternativas que protejan el medio que les rodea.

Este proyecto pretende de alguna manera ser más novedoso y buscar otro tipo de propuestas que quizás no han sido planteadas anteriormente. Cuando se quiere hacer una instalación más sostenible, se piensa en cómo mejorar la eficiencia energética o consumir menos electricidad o que esta provenga de una fuente limpia. Este trabajo no centrará sus esfuerzos en este tipo de alternativas que ya están asiduamente implementadas, intentará proponer otras soluciones más innovadoras.

Para poder estudiar este nuevo tipo de alternativas, es necesario realizar una auditoría ambiental y ver que actividades o partes del centro ecuestre son las que más perjudican el medio ambiente. Una vez realizado este estudio, se abordarán aquellas más perjudiciales para intentar paliar sus efectos. Cabe destacar que, tras una primera búsqueda de distintas alternativas, se ha identificado que poco a poco este sector comienza a innovar, habiéndose instalado en algún centro un generador de biogás a partir de estiércol. Si bien es verdad que el mundo equino tiene una tradición muy establecida ya que su actividad se remonta a tiempos muy lejanos, cada vez son más los centros que deciden comprometerse con la causa. Esto se debe al relevo generacional que se produce en la gestión de estos. Es necesario que se apliquen las tecnologías más punteras ya que la rapidez con la que de esta destruyendo el planeta es abrumadora.

Sin lugar a duda, tanto las auditorías como el estudio de revalorización de residuos se intentarán hacer de la forma más objetiva posible y atendiendo en todo momento a como poder proteger el medio ambiente y aumentar la sostenibilidad de este tipo de instalaciones al máximo.

En el apartado anterior se ha expuesto que este sector está muy presente en la economía española y puede considerarse que el número de centros ecuestres es razonablemente elevado. Así, si todos los centros participasen en proyectos como el que se pretende llevar a cabo, la repercusión sería considerable.

Por ello, se pretende que este trabajo sirva de ejemplo para otros centros y para terminar de afianzar en los gestores de los centros la consciencia de que deben involucrarse completamente en la lucha contra el cambio climático.

1.3. MOTIVACIÓN

La motivación del proyecto como tal, consiste en analizar de qué forma estos centros ecuestres pueden ser más sostenibles y colaborar con la lucha contra el cambio climático. Dada la creciente preocupación en la sociedad sobre el medio ambiente, existe un afán de intentar hacer este tipo de explotaciones lo menos perjudiciales posibles gracias a los nuevos avances de la sociedad, ya que cuando montaba a caballo, muchas de las tecnologías existentes, eran desconocidas e inimaginables. De esta forma, aportar mi granito de arena para combatir el cambio climático supone una motivación extra que sin duda alguna hará que este proyecto intente desarrollarse de la mejor manera posible. Considero que hoy en día todos debemos hacer algo para poder conservar nuestro planeta para las generaciones venideras, siendo responsables del mundo que dejamos y de mejorarlo en la medida de lo posible.

Por otro lado, la motivación personal de este proyecto procede de la pasión por la naturaleza y por los caballos. Desde pequeño, siempre he estado muy familiarizado con el mundo rural y con la naturaleza, ya sea mediante simples paseos por el campo hasta campamentos de verano. De manera más concreta, la hípica ha estado presente en gran parte de mi niñez, ya que los fines de semana acudíamos a clases de monta en un centro ecuestre. Desde mi punto de vista personal, estar en contacto con caballos y realizando una actividad, generalmente al aire libre, es muy beneficioso para el ser humano, ya que sirve para poder alejarse del bullicio de las ciudades. Realizar un Trabajo de Fin de Máster relacionado con la naturaleza ha sido algo que he tenido muy presente durante mi vida académica. Además, poder hacer un proyecto que tenga valor para la sociedad es algo que llamó mi atención desde el primer momento.

Otra de las motivaciones es poder participar en un proyecto aplicable a la vida real, es decir, que se puede llegar a implantar en un futuro o que puede servir como línea de investigación. Desde el punto de vista de un alumno, durante la vida académica existen pocas oportunidades para poder salir al mundo laboral mientras se estudia, proporcionando este proyecto una posibilidad de contactar con otros profesionales y adquirir experiencia para el futuro.

1.4. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto consiste en realizar el estudio de los impactos ambientales de un centro ecuestre, llevar a cabo un análisis de revalorización de residuos que se producen y proponer diferentes alternativas para hacer del centro un lugar más sostenible y comprometido con el medio ambiente. De esta forma, el objetivo reside en estudiar como la actividad que se desarrolla en el centro ecuestre impacta en el medio ambiente y utilizar alguna de las tecnologías más innovadoras de hoy en día para paliar dichos efectos. Para ello, se tendrán en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible, intentando alinear al máximo el proyecto con la consecución de estos.

1.4.1. OBJETIVO DEL ESTUDIO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

El objetivo prioritario del estudio de los impactos ambientales de un centro ecuestre consiste en determinar qué actividades o partes de dicho centro son más perjudiciales para el medio ambiente, para más adelante poder plantear una serie de alternativas que puedan conseguir reducir dicho impacto. De esta forma, se pretende analizar desde un punto de vista externo al centro, como afecta la presencia de este a la naturaleza que lo rodea y cuáles son las posibles áreas de mejora. Tras una primera auditoría ambiental del centro, y la consiguiente propuesta de soluciones, se realizará otra auditoría con estas mejoras implementadas. Así, se buscará determinar cómo las soluciones propuestas han mejorado los impactos ambientales del centro, haciéndolo más sostenible y comprometido con el medio ambiente. Se intentará concluir si dichas alternativas son factibles y si tienen cabida en unas instalaciones de este tipo. Dichos estudios de impacto se realizarán siguiendo las normas de los reglamentos existentes, debiéndose cumplir en todo momento con las diferentes normativas que apliquen.

1.4.2. OBJETIVO DE LA PROPUESTA DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Tras una primera auditoría, se analizará que soluciones pueden aplicarse y como estas logran mejorar los impactos ambientales del centro. El objetivo de esta propuesta consiste en proponer una serie de mejoras o alternativas que reduzcan los impactos negativos y logren una mayor sostenibilidad. Para ello, se deberá determinar si tienen sentido en este tipo de instalaciones y si es factible su implementación. Se intentarán aplicar las tecnologías más innovadoras del momento, de tal forma que el proyecto este lo más actualizado posible.

Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo consiste en realizar una auditoría ambiental de la explotación del centro ecuestre, analizar qué aspectos son más perjudiciales, proponer una serie de alternativas para paliar dichos aspectos y finalmente analizar la mejora a través de una nueva auditoría ambiental.

1.5. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Gran parte del proyecto se centrará en cumplir en la medida de lo posible los Objetivos de Desarrollo Sostenible, de modo que todos los análisis y propuestas que se lleven a cabo ayuden a proteger y mejorar el medio ambiente. Este trabajo se adaptará a la creciente tendencia actual de hacer que el mundo sea más sostenible y un mejor lugar para las generaciones futuras. Como se trata de un proyecto a largo plazo, es obligatorio que se alinee con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los objetivos que el proyecto pretende alcanzar y alinearse se describirán en detalle a continuación.

- **Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento.** Ante la creciente escasez de agua en el mundo, debido al aumento de las temperaturas, este proyecto buscará aumentar el uso eficiente del agua en todas las instalaciones del centro ecuestre. alguna de las alternativas a llevar a cabo estará relacionada con este objetivo ya que, en este tipo de instalaciones, el agua es un bien muy presente en todas las actividades que se realizan dentro del centro.
- **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura.** La inversión en innovación e infraestructura son los motores principales del desarrollo social y económico. De esta manera, la propuesta de las medidas de mejora sobre el centro será llevada a cabo en consonancia con las tecnologías y recursos actualizados hoy en día. A su vez, al ser un proyecto a largo plazo, se buscará que estas medidas no queden obsoletas en un corto periodo de tiempo y puedan persistir durante la vida útil del centro ecuestre.
- **Objetivo 12: Consumo y producción responsables.** Se promoverán prácticas sostenibles en la gestión y uso de los recursos, incluyendo la gestión de residuos y la protección del medio ambiente. Para ello, se realizará un estudio de revalorización de residuos generados por las actividades que se desarrollan en el centro. Se pretende que la gestión y uso de los recursos y residuos sea lo más sostenible posible. Se prevé que la mayoría de las alternativas a proponer estén relacionadas con este objetivo.
- **Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres.** Promoviendo la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, incluyendo la biodiversidad y los recursos forestales. Al igual que el objetivo 12, las medidas a implementar estarán relacionadas con este objetivo de forma que se conserve de la mejor manera posible el medio ambiente y la naturaleza.
- **Objetivo 13: Acción por el clima.** Este objetivo engloba básicamente los comentados anteriormente. Todos los análisis por realizar tendrán como objetivo cuidar el medio ambiente y luchar contra el cambio climático, contribuyendo a un mundo más sostenible.

1.6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En lo que ha metodología de trabajo se refiere, se buscará cumplir con las fechas establecidas por los directores y coordinador, teniendo en cuenta en todos los casos, el estar realizando un intercambio en el extranjero, con lo que eso supone. A continuación, se muestra un primer cronograma en el que se puede ver el trabajo realizado hasta el momento y la posible planificación hasta la finalización y defensa del proyecto. Dado que el curso en los países bajos termina a finales de junio, se pretende presentar el trabajo en el mes de julio. Para ello, se deben establecer unas pautas o hitos para poder organizarse de la mejor forma posible.

5 DE SEPTIEMBRE: Primeras conversaciones con los directores e inscripción en la oferta de trabajo.

SEPTIEMBRE-OCTUBRE Y DICIEMBRE: primeras reuniones para establecer el tema del proyecto y organizarlo. Búsqueda de información sobre el tema asociado y definición del alcance del proyecto.

DICIEMBRE: entrega del Anexo A.

20 DE ENERO – 5 DE FEBRERO: realización del Anexo B y entrega de este.

5 DE FEBRERO – ABRIL: primera auditoría ambiental sobre el centro ecuestre seleccionado.

29 DE MARZO: sesión de seguimiento con el coordinador del proyecto.

ABRIL – MAYO: análisis de revalorización de residuos y propuesta de mejora.

MAYO – JULIO: segunda auditoría ambiental, revisión global del TFM y ultimas correcciones para la defensa.

1.7. RECURSOS A EMPLEAR

En cuanto a los recursos que se pretenden emplear en este proyecto, primero se debe elegir un centro ecuestre sobre el que basar el trabajo. Para ello, se buscarán diferentes alternativas para poder escoger aquel del que se disponga más información. De esta forma, la información del centro es fundamental para realizar un buen proyecto ya que es la base de este. Por lo tanto, el principal recurso a emplear serán los datos proporcionados por el centro.

Para poder realizar los estudios de auditoria ambientales del centro, se buscará bibliografía actualizada y de primer orden para la búsqueda previa de información sobre auditorías ambientales y valorización de residuos llevadas a cabo en la industria.

A su vez, si aplica, se utilizarán los conocimientos adquiridos en la asignatura de Ingeniería Química, cursada durante el primer curso del Máster en Ingeniería de las Tecnologías Industriales. Es posible que estos sean necesarios durante la fase de revalorización de residuos, ya que algunas de las alternativas pueden estar relacionadas con la generación de biogás o el saneamiento de las aguas mediante algún aparato complejo para así poder reutilizarlas. De igual manera, seguramente sean necesarios los conocimientos del resto de asignaturas cursadas durante el Máster o el Grado.

En cuanto al marco normativo, se pretende estudiar las regulaciones y normas que apliquen a este sector y en concreto al medio ambiente. Al ser un proyecto enfocado a hacer el centro ecuestre más sostenible y cuidar o proteger el medio ambiente, hay numerosas normativas a tener en cuenta para poder hacer un trabajo viable.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CENTRO ECUESTRE

2.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El centro ecuestre sobre el que se realizarán los estudios de impactos ambientales y la propuesta de revalorización de residuos y mejoras para reducir dichos impactos se llama Centro Ecuestre Alameda del Pardo. Está situado en la carretera de Fuencarral – El Pardo Km 2,300 en Madrid. A continuación, se muestra un mapa en el que se puede ubicar el centro.

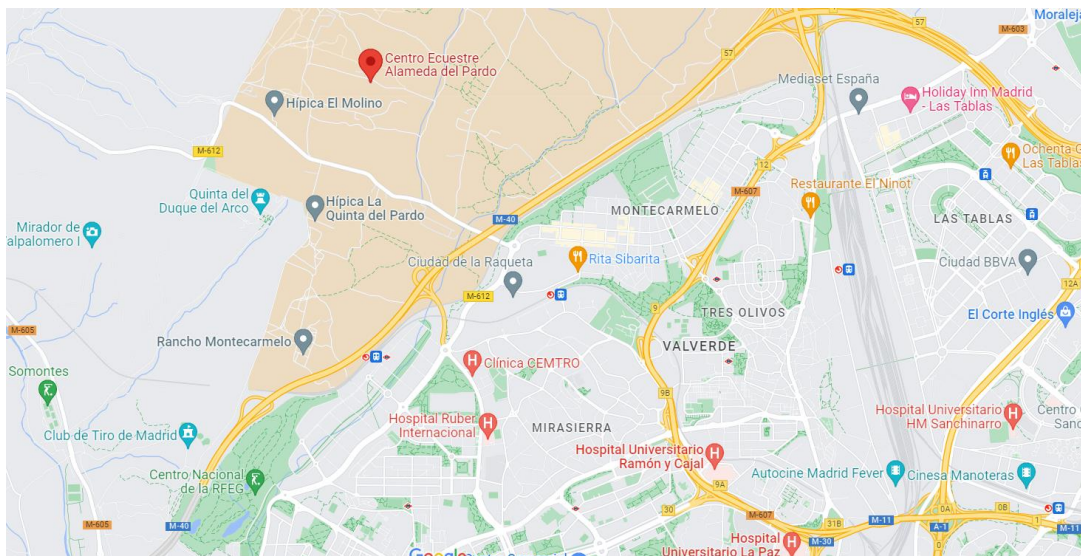


Ilustración 1. Ubicación Centro Ecuestre Alameda del Pardo. (Fuente: Google Maps)

El centro se encuentra situado en un entorno único como son los Montes del Pardo, a 10 minutos de la Plaza de Castilla y del centro de Madrid. Como se puede apreciar en la imagen superior, los Montes del Pardo son el lugar perfecto para montar a caballo, estableciendo un gran número de hípicas sus instalaciones en ellos, como por ejemplo Hípica El Molino o Hípica la Quinta del Pardo. Su cercana ubicación a Madrid, lo sitúa en un enclave estratégico, captando así clientes de la ciudad que buscan montar a caballo en el campo. Esto hace del centro ecuestre un lugar idóneo para estar en contacto con la naturaleza, ofreciendo la posibilidad de alejarse del bullicio de la ciudad. No es casualidad que muchas hípicas se establezcan en este paraje, el hecho de estar a tan solo 10 minutos del centro de Madrid hace que estos centros tengan una ventaja competitiva sobre el resto de los clubes situados a las afueras de Madrid.

2.1.1. LOS MONTES DEL PARDO

Dado que más adelante se realizará un estudio de impacto ambiental, es importante conocer el terreno en el que está ubicado el centro ecuestre elegido. De esta forma, se podrá analizar desde un punto de vista más crítico y objetivo el impacto que la actividad del centro supone para el medioambiente.

Los Montes del Pardo son una zona boscosa situada al norte del municipio de Madrid, como se puede ver en la siguiente imagen.

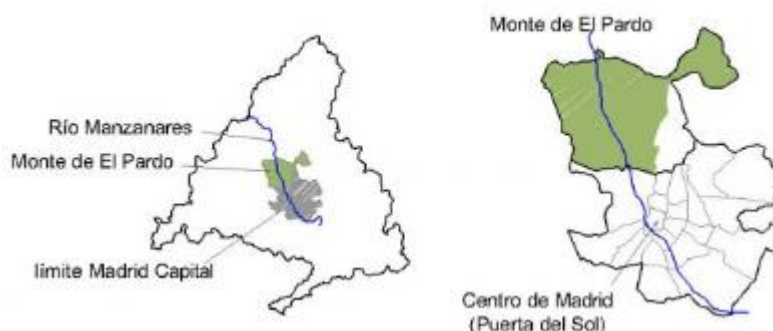


Ilustración 2. Localización del Monte del Pardo en Madrid. (Fuente: El Pardo)

Poseen una gran variedad de flora (120 especies catalogadas) y fauna (aproximadamente 200 especies vertebradas), siendo considerado el bosque mediterráneo más importante de la Comunidad de Madrid y uno de los mejores conservados de Europa. Suponen el 26,4% del término municipal de Madrid. La superficie de los montes alcanza las 15.821 hectáreas, extendiéndose alrededor del curso medio del río Manzanares. En 1987, fue declarado Zona Especial de Protección para Aves (ZEPA) con la referencia ZEPA ES0000011. Además, está dotado con el grado de protección de Parque regional de la cuenca alta del Manzanares. Su gestión recae íntegramente sobre el Patrimonio Nacional, organismo del gobierno que regula el patrimonio que estuvo en manos de la Corona y mantiene una política muy conservadora y restrictiva sobre el bosque. Casi toda su superficie (15.100 hectáreas, es decir, el 94,4%) se encuentra cercada mediante una valla que recorre su perímetro, a lo largo de 66 kilómetros. Está totalmente prohibida la visita a esta zona vallada.

El bosque está situado en un amplio valle formado por el río Manzanares en su curso medio. Su suelo está compuesto por elementos arenosos y detríticos derivados de la disgregación de materiales graníticos de la Sierra de Guadarrama, que la limita por el norte, y la Sierra de Hoyo de Manzanares, que lo hace por el noroeste. Como consecuencia, los suelos son muy inmaduros y vulnerables a los procesos de erosión, como lo demuestra la presencia de numerosos barrancos y torrenteras. A pesar de la acción erosiva ya comentada, la orografía de este enclave es poco accidentada. Su altitud media es de 681 metros, con un máximo de 860 metros y un mínimo de 600 metros. En cuanto al clima, la región tiene un clima mediterráneo continental, duro en el norte y templado en el sur. La precipitación media anual es de 500-600 mm.

Es un bosque mediterráneo continental compuesto por encinares adhesados y, en menor medida, densos, que dejan paso a pinos piñoneros, alcornoques, fresnos, chopos, quejigos, enebros y jaras. Los límites del río Manzanares presentan ecosistemas de tipo ribera. De entre las 200 especies de vertebrados catalogadas, 125 son aves, 35 mamíferos, 19 reptiles y 13 anfibios. Las especies cinegéticas son especialmente significativas debido a la condición histórica de los Montes como coto de caza, tanto de caza menor (conejo, perdiz...) como mayor (jabalí, ciervo...), estando las poblaciones superpobladas dada la escasez de depredadores en el lugar.

Cabe destacar que los Montes del Pardo cuentan con árboles centenarios, estando algunos de ellos incluidos en el Catálogo de Árboles Monumentales Madrileños. Es el

caso de dos olmos a los que se les atribuye una antigüedad de 200 años, situados junto al río Manzanares. En estos montes también se pueden encontrar alcornoques de grandes dimensiones.

2.2. DESCRIPCIÓN Y SERVICIOS QUE OFRECE

El Centro Ecuestre Alameda del Pardo (CEAP) se inauguró el 7 de octubre de 1989 por el cantante de ópera y gran aficionado a los caballos, Sergio de Salas. Actualmente, cuenta con un total de 19 personas al servicio del cliente, estando 10 de ellas contratadas y 9 son autónomos que colaboran en la enseñanza. Dada su ubicación en plenos Montes del Pardo, el CEAP ofrece la posibilidad de pasear a caballo por dichos montes. De manera periódica se celebran concursos de todas las modalidades posibles, en términos de hípica, siendo el alcance de estos concursos desde sociales hasta nacionales. Cuenta con una cafetería – restaurante para aquellas personas que no quieren montar a caballo y que van simplemente de acompañantes, pudiendo ver desde esta cómo los jinetes saltan y montan a caballo.

El CEAP ofrece servicios tanto de escuela como de pupilaje. Dentro de las actividades que se ofertan a través de la escuela, se incluyen las siguientes:

- **Clases de salto y doma:** los clientes pueden elegir entre clases particulares o grupales. Las clases particulares admiten de 1 a 3 personas como máximo. Las clases grupales están organizadas en 3 niveles: iniciación, intermedio y avanzado. En dichas clases se enseñan nociones básicas de doma, yendo estas de menor a mayor dificultad en función del nivel del jinete. Todas las clases impartidas, están orientadas principalmente al salto. En caso de que el cliente desee practicar la doma clásica, el centro ofrece la posibilidad de iniciarse en esta disciplina o simplemente perfeccionarla.
- **Galopes:** se trata de un programa de titulación de jinetes y amazonas que certifica el nivel de destreza a caballo de estos. Organizan mensualmente exámenes en sus instalaciones para la mejora y formación de los jinetes.
- **Pony Club:** se ofrecen paseos en pony para niños de 2 y 3 años y clases de pony para niños mayores de 4 años. La escuela cuenta con 10 ponis A y 6 ponis B y C para que los niños puedan iniciarse en la práctica de la hípica. Desde el 2015, en el pony club del CEAP se practica la disciplina ecuestre “Pony games”, unas mangas (juegos) muy cortas y rápidas que los alumnos, agrupados en equipos de 5, deben realizar con pericia y destreza. Esta novedosa disciplina, es apta para niños de 6 a 17 años y se practica con ponis de todas las tallas (A, B, C y D).
- **Paseos a caballo por los Montes del Pardo:** las rutas se realizan con reserva previa, con monitor especializado, tienen una duración de una o dos horas y son para grupos de 1 o más personas.
- **GREEN TEAM:** esta actividad es sólo apta para niños con nivel avanzado, y consiste en 1 hora de clase de salto y 1 hora de clase de pony games. Se enseña a los niños a limpiar y ensillar sus caballos y ponis y aprenden todo lo relacionado con el cuidado de los caballos.
- **Equinoterapia:** se trata de una terapia asistida con caballos. Profesionales de la salud física y mental, junto a técnicos de equitación, emplean esta técnica

para promover la rehabilitación de niños, adolescentes y adultos a nivel neuromuscular, psicológico, cognitivo y social, por medio del caballo como herramienta terapéutica y coadyuvante. La equinoterapia se recomienda para personas con discapacidades psíquicas, físicas o sensoriales, personas con trastornos psicológicos, del lenguaje o del aprendizaje y personas con problemas de autoestima o inadaptación social. Esta terapia puede llevarse a cabo de forma individual o en grupos de máximo 3 personas, siempre dependiendo de la patología del paciente.

Este centro también ofrece la posibilidad de realizar campamentos de equitación como, por ejemplo, en Navidad o durante la Semana Blanca.

En cuanto al servicio de pupilaje, el CEAP cuenta con 135 cuadras de 3x3 metros para albergar caballos particulares y de escuela. En 2013, el centro amplió las instalaciones mediante la adquisición de una parcela colindante de 21.000 metros cuadrados. La finalidad de este terreno era crear prados de descanso para yeguas de vientre, caballos de concurso y caballos retirados de la competición. A su vez, existen paddocks individuales para caballos en trabajo, de manera que se puede combinar a la perfección el trabajo diario en las instalaciones del centro con periodos de descanso en el centro. Para el pupilaje existen dos tipos de boxes, siendo los premium de 3,5x3,5 metros y los normales de 3x3 metros. En dicho servicio se incluye: atención completa de mozo 6 días a la semana, alimentación y cambio de cama. Además, el centro ofrece para las personas que deseen alquilar un caballo en vez de tenerlo en propiedad, la posibilidad de alquilar algunos caballos en régimen de pupilaje. Actualmente, el CEAP cuenta con un total de 120 caballos, teniendo en cuenta tanto los particulares como los que son propiedad del centro.

Esta hípica cuenta con pistas ecuestres Klaus Dammann, que incorporan un sistema de drenaje y control electrónico de la humedad, garantizando el uso y perfecto estado de las pistas independientemente de la meteorología gracias a la arena geotextil. Este sistema funciona regulando automáticamente el contenido de humedad en la capa de equitación, extrayendo del terreno el exceso de humedad y compensando totalmente la humedad evaporada. Gracias a esto, se consigue una humedad básica homogénea y constante en la capa de equitación, compacidad del suelo, capacidad de drenaje y elasticidad. A continuación, se enumeran las instalaciones del CEAP:

- Pista exterior de ensayo Klaus Dammann (45x40 metros)
- Pista exterior de competición Klaus Dammann (80x70 metros)
- Picadero cubierto Klaus Dammann (60x25 metros)
- Pista de doma Klaus Dammann (20x60 metros)
- Pista exterior cubierta para ponis
- Restaurante
- Cuadras: dos naves con 135 boxes para caballos particulares y de escuela de 3x3 metros
- Prados de descanso
- Caminador
- Nuevos boxes premium con suelo de goma (3,5x3,5 metros)

En total, la extensión del centro asciende hasta las 7 hectáreas, de las cuales 4 son propias y 3 alquiladas. En la siguiente imagen, se pueden apreciar las diferentes instalaciones del CEAP.

Íñigo Rodríguez Armajach
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CENTRO ECUESTRE

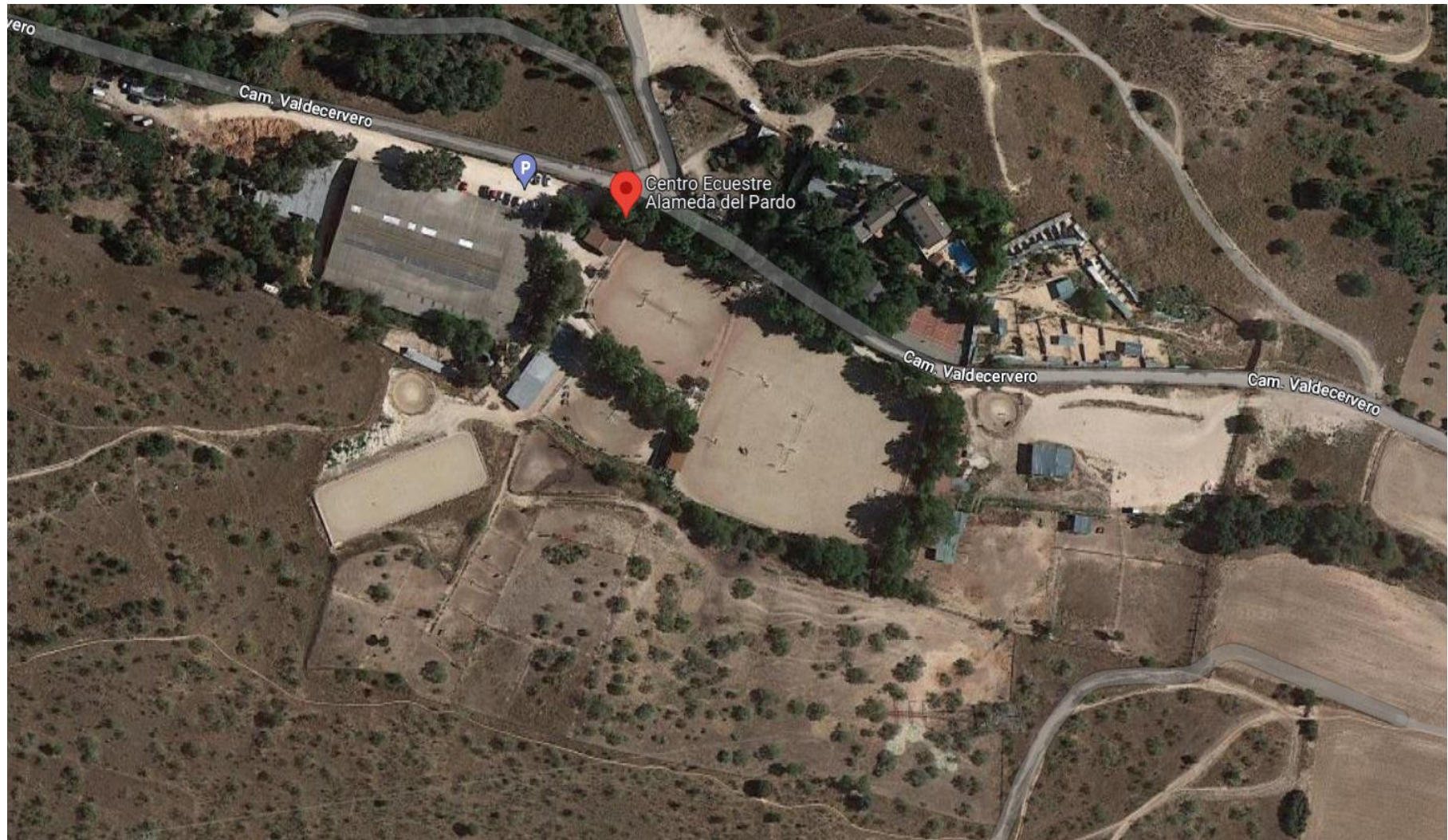


Ilustración 3. Instalaciones del CEAP. (Fuente: Google Maps)

Íñigo Rodríguez Armajach
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CENTRO ECUESTRE

El CEAP es considerado como uno de los mejores centros ecuestres de Madrid a nivel privado, entre otros motivos, por su excelente ubicación, su cuadrado de expertos profesionales, su alto nivel de calidad de enseñanza e instalaciones o por su increíble ambiente familiar.

3. ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Esta sección tiene como objetivo analizar los impactos ambientales, que debido a las actividades del centro ecuestre se pueden producir sobre cada uno de los aspectos del medio ambiente que rodea al centro. Para llevar a cabo este estudio, se detallarán los efectos ambientales que pueden desencadenarse a raíz de la ejecución de diferentes actividades en el centro, debiendo valorar los mismos. Cabe destacar que este trabajo tiene únicamente como objetivo analizar los impactos a causa de la explotación del centro y no de otras fases del ciclo de vida de este, como por ejemplo la fase de construcción o demolición. Esto se debe a que el CEAP se construyó en el año 1989 y, por lo tanto, escapa del alcance de este proyecto. Se debe dejar claro que en este caso la evaluación ambiental que se va a llevar a cabo no es obligatoria, simplemente tiene fines académicos y debe ser analizada de tal manera.

3.1. MARCO LEGAL

Para llevar a cabo una evaluación ambiental es necesario consultar las diferentes normativas ambientales de aplicación, poniendo énfasis en las comunes a todo el territorio español, a través de las normativas de tipo nacional, para más tarde, centrarse en las específicas de cada comunidad autónoma, en este caso las de la Comunidad de Madrid.

Es necesario tener en cuenta una serie de criterios para la valoración de dichos impactos, siendo los identificados para este trabajo los expuestos a continuación:

- Los recomendados en el Anexo I del Real Decreto 1131/88 de 30 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/86 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental (este último derogado).
- Los recomendados en el Anexo III del Real Decreto Legislativo 1/2008 de 11 de enero por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.
- El Título IV, Anexo Quinto y artículos 49, 50 y 72 de La Ley 2/2002 de 19 de junio de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid.
- La Ley 21/2013 de 9 de diciembre de Evaluación Ambiental

En el Anexo Quinto de La Ley 2/2002 de 19 de junio de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid, se establece lo siguiente: *“las instalaciones para el alojamiento temporal o recogida de animales y establecimientos destinados a su cría, venta, adiestramiento o doma se someterán al procedimiento de evaluación ambiental de actividades en la Comunidad de Madrid”*. Cabe destacar que de La Ley 2/2002 de 19 de junio de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid fue derogada por La Ley 4/2014, de 22 de diciembre de Medidas Fiscales y Administrativas, salvo los documentos comentados anteriormente.

3.2. ACCIONES CON POTENCIAL DE PRODUCIR IMPACTOS Y AFECCIONES MEDIOAMBIENTALES PREVISIBLES

Durante la fase de explotación, se han identificado una serie de actividades en el centro susceptibles de producir impactos negativos en el medioambiente que rodea al CEAP. Debe tenerse en cuenta que dichas acciones se han agrupado de manera general en varios grupos para que la evaluación ambiental pueda comprenderse de mejor manera y no sea excesivamente extensa. Más adelante, en el apartado de revalorización de residuos y planteamiento de propuestas para paliar los impactos negativos, se entrará en un mayor detalle de dichas acciones. Como se ha comentado anteriormente, no se van a tener en cuenta ni la fase de construcción ni de desmantelamiento ya que se pretende hacer un estudio ambiental actual. Si bien es verdad que quizás las evaluaciones ambientales tienen más sentido realizarlas antes de que el proyecto en cuestión sea ejecutado para así poder decidir si el proyecto es perjudicial para el medioambiente antes de llevarlo a cabo, y, por lo tanto, parar la construcción o ni si quiera empezarla.

De esta forma, las acciones llevadas a cabo en el centro ecuestre con potencial de producir impactos negativos y daños en el medioambiente son:

- **Presencia de las instalaciones:** se refiere al hecho de que el centro ecuestre se haya construido en un paraje como Los Montes del Pardo. A priori, esto puede estar ligado a la contaminación visual que generan unas instalaciones en mitad del campo, rompiendo con el paisaje habitual campestre.
- **Uso de las instalaciones por parte de los clientes y el personal:** engloba a las actividades que realizan tanto el personal como los clientes en el centro ecuestre.
- **Funcionamiento de las instalaciones:** hace referencia al mero funcionamiento del centro sin necesidad de que las personas realizan una acción en concreto.
- **Presencia y gestión de los caballos:** se trata de una de las acciones con mayor potencial de contaminación debido a los requerimientos exigidos para su cuidado y manutención.

En cuanto a los elementos del medioambiente que pueden verse perjudicados por la explotación del CEAP, también se ha decidido englobarlos en varios bloques, siendo los principales los siguientes:

- **Calidad del aire:** tanto los vehículos que acceden al centro como la maquinaria utilizada para las diferentes labores del centro emiten gases contaminantes (NO_x, SO₂, CO, HC, Pb y humos) que deben ser analizados. Los olores generados por la actividad de los caballos (estiércol) son minimizados a través de la limpieza diaria de las cuadras, aun así, se deben tener en cuenta.
- **Calidad acústica:** puede verse deteriorada por el uso de la maquinaria del centro y el tránsito de coches que busca acceder a las instalaciones, entre otras cosas. Dado que la actividad del centro cesa a las 21:00 horas, se supondrá que el ruido sólo es producido por el día.

- **Suelo:** filtraciones en el suelo debido a posibles vertidos accidentales o excrementos de los caballos. Compactación del suelo derivado del pisoteo de los caballos y posible pérdida de suelo permanente, debida a la ocupación del suelo a través de las instalaciones, pudiéndose modificar el drenaje interno y superficial.
- **Agua:** al tratarse de un recurso limitado, el consumo de este bien constituye de por sí un impacto sobre el medioambiente. Contaminación de las aguas superficiales o subterráneas debida al uso de productos químicos, generación y gestión del estiércol, y vertidos accidentales.
- **Generación de residuos:** se han identificado tres tipos de residuos que pueden perjudicar de forma negativa al medioambiente, siendo estos, aguas residuales (duchas de los caballos, bebederos...), los generados por los clientes (basura...) y los excrementos de los equinos (estiércol).
- **Fauna, flora y espacios naturales protegidos (Red Natura 2000):** los ruidos generados en el centro ecuestre pueden afectar a la fauna del lugar, además, la afluencia de personas (clientes y personal), el tránsito de los caballos y la presencia del centro dañan la cubierta vegetal y el hábitat de la fauna originaria de Los Montes del Pardo. Posible proliferación de insectos, que puede desencadenar en transmisión de enfermedades que afectan de manera directa a la fauna.
- **Paisaje:** variación de la estructura del paisaje debida a la construcción de nuevas instalaciones alterando visualmente el medioambiente.

3.3. MÉTODO ELEGIDO PARA LA VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

Para realizar la evaluación ambiental del centro ecuestre, es necesario un método que recoja la estimación cuantitativa de cada uno de los impactos ambientales. D. Domingo Gómez Orea propone en su libro llamado “Evaluación de impacto ambiental” una caracterización y evaluación de los impactos que consiste en la asignación de una serie de valores que varían entre un máximo para el caso más desfavorable y un mínimo para el más favorable. Después, se debe aplicar una fórmula y finalmente, en base a unas directrices se categoriza el impacto. En este apartado, se describe el método propuesto por el autor. A continuación, se muestra una tabla en la que se describen los aspectos a los que se les va a atribuir un valor para cada uno de los impactos ambientales identificados en este trabajo. Esta tabla forma parte del libro de D. Domingo Gómez Orea.

Íñigo Rodríguez Armajach
ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Código	Valor	Clasificación	Impacto	Explicación
S	Signo	+	Beneficioso	Beneficioso para el Medio Ambiente
		-	Perjudicial	Nocivo para el Medio Ambiente
		x	Difícil de clasificar	Datos insuficientes
I	Inmediatez	3	Directo	Efecto directo o primario con repercusión inmediata sobre algún factor ambiental
		1	Indirecto	Efecto secundario. Deriva de otro primario
A	Acumulación	3	Acumulativo	Incrementa progresivamente su gravedad
		1	Simple	Se manifiesta en un único componente ambiental. No induce efectos secundarios, ni acumulativos, ni sinérgicos
SI	Sinergia	3	Fuerte	Sinérgico: refuerza efectos simples
		2	Media	
		1	Leve	
M	Momento	1	Largo plazo	> 5 años
		2	Medio plazo	Antes de 5 años
		3	Corto plazo	Ciclo anual
P	Persistencia	3	Permanente	Alteración de duración indefinida
		1	Temporal	Alteración temporal, de duración limitada
Rv	Reversibilidad	1	Corto plazo	Efecto reversible: Puede ser asimilado por procesos naturales Efecto Irreversible: No puede ser asimilado o sólo después de mucho tiempo
		2	Medio plazo	
		3	Largo plazo	
Rc	Recuperabilidad	1	Fácil	Efecto recuperable: Puede eliminarse o reemplazarse por la acción natural o humana Efecto irrecuperable: No puede eliminarse o reemplazarse por la acción natural o humana
		2	Media	
		3	Difícil	
C	Continuidad	3	Continuo	Produce alteración constante en el tiempo
		1	Discontinuo	Se manifiesta de forma intermitente o irregular
P	Periodicidad	3	Periódico	Aparece de forma cíclica o recurrente
		1	Irregular	Impredecible en el tiempo

Tabla 1. Descripción de los aspectos a tener en cuenta en la valorización de los impactos.
(Fuente: Orea, 2014)

Una vez valorado el impacto a través de la tabla anterior, se debe calcular la incidencia típica a través de la siguiente fórmula:

$$I_{típica} = 2I + 3A + M + P + 2Rv + Rc$$

Como se puede apreciar en la fórmula expuesta anteriormente, hay algunos aspectos de la Tabla 1 que no se tienen en cuenta para calcular la incidencia típica, en concreto: la sinergia, la continuidad y la periodicidad. Se ha decidido no valorar estos aspectos ya que se considera que quedan relegados a un segundo plano, además de que puede ser complicado atribuirles un valor específico debido a la falta de una mayor profundidad en la explicación.

Más tarde, se procede a calcular el índice de incidencia estandarizado de la siguiente manera:

$$I_{est} = \frac{I_{tip} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

Siendo:

I_{max} : $I_{típica}$ en caso de asignarle a cada uno de los atributos el máximo valor.

I_{min} : $I_{típica}$ en caso de asignarle a cada uno de los atributos el mínimo valor.

Seguidamente, se establece que si el impacto I_{est} es:

- Cercano a 0: se considera como un impacto de escasa intensidad, reversible, simple, no sinérgico, poco extenso y con efectos a largo plazo.
- Cercano a 1: se considera como un impacto intenso, permanente, irreversible, irrecuperable, acumulativo, sinérgico, extenso y de efectos inmediatos.

Por último, para categorizar mejor los impactos ambientales, se ha decidido dividir el rango comentado anteriormente en cuatro intervalos ya que este era muy genérico y no permitía establecer un juicio preciso.

Intervalo I_{est}	Valoración del impacto
[0, 0.25)	Impacto leve o nulo sobre el medio (LE)
[0.25,0.5)	Impacto medio sobre el medio (ME)
[0.5,0.75)	Impacto grave sobre el medio (GR)
[0.75,1]	Impacto crítico sobre el medio (CR)

Tabla 2. Valoración de los impactos ambientales en función de la I_{est} .

3.4. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

Para una mejor comprensión de la valoración de los impactos sobre el medio ambiente, se va a analizar por separado cada uno de los elementos del medio ambiente que pueden verse perjudicados por la explotación del centro ecuestre. Para ello, se procede a detallar el porqué de los valores escogidos para cada uno de los aspectos mostrados en el apartado anterior, dando las explicaciones pertinentes de un trabajo de fin de máster de estas magnitudes.

3.4.1. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Los impactos que han sido identificados como perjudiciales para la calidad del aire son: incremento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y la emisión de olores generados por la actividad de los caballos. A continuación, se detalla la valoración de cada uno de los impactos.

3.4.1.1. INCREMENTO DE LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

Tanto la maquinaria utilizada en el centro ecuestre como los vehículos de los clientes que acceden al centro emiten gases contaminantes y de efecto invernadero como, por ejemplo: NO_x , CO, SO_2 , HC, Pb y diferentes humos. Estos gases dañan la capa de ozono y contribuyen al cambio climático de manera exhaustiva y peligrosa, además tienen efectos muy negativos sobre el sistema respiratorio de la población, disminuyendo enormemente la calidad del aire. Muchos de estos gases son generados en procesos de combustión.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** dado que su emisión se produce directamente a la atmósfera y por consiguiente al aire, se le asigna un valor de 3, correspondiente a efecto directo o primario con repercusión inmediata.
- **Acumulación:** aunque no aumenta progresivamente su gravedad, se ha considerado que afecta a más de un componente ambiental como es la fauna y la flora. Por lo tanto, se le ha asignado un valor medio de 2.
- **Momento:** el efecto de estos gases es inmediato, por ello el valor es de 3.
- **Persistencia:** la alteración sobre la calidad del aire y la atmósfera es temporal, pudiendo ser eliminada con el cese de dichas emisiones. Valor 1.
- **Reversibilidad:** su efecto puede ser asimilado a medio plazo, ya que es suficientemente grave, dando un valor de 2.
- **Recuperabilidad:** dado que cada vez se usan más combustibles alternativos como la electricidad o el hidrógeno, se ha optado por un valor de 2, correspondiente a medio plazo. Este proceso de transición todavía está en desarrollo, necesitándose más tiempo para su total adopción.

3.4.1.2. EMISIÓN DE OLORES POR LA ACTIVIDAD DE LOS CABALLOS

Los caballos emiten olores que pueden perjudicar a la calidad del aire, pudiendo ser este olor reconocible incluso fuera del centro ecuestre. Dichos olores provienen fundamentalmente del estiércol y de la orina de los caballos que viven en el centro.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** al igual que los gases contaminantes, su emisión se produce directamente al aire, siendo el efecto inmediato. Valor 3.
- **Acumulación:** en este caso solo afecta al aire, siendo la acumulación simple, asignándole un valor de 1.
- **Momento:** el efecto es inmediato y por ello se asigna un valor de 3.
- **Persistencia:** los olores se pueden minimizar rápidamente a través de la limpieza de cuadras y pistas de entrenamiento, pero el estiércol se acumula en unos depósitos hasta que una vez por semana una empresa externa al centro se los lleva. Se asigna un valor de 2.
- **Reversibilidad:** el efecto es asimilado a corto plazo, siendo poca la gravedad que supone. Valor 1.
- **Recuperabilidad:** como se ha comentado anteriormente, se pueden eliminar los malos olores a través de una limpieza periódica, pero el hecho de que se acumule en depósitos y sea recogido únicamente una vez por semana agrava la situación. Valor de 2.

3.4.2. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD ACÚSTICA

En cuanto a los impactos que perjudican a la calidad acústica, se ha identificado únicamente el ruido generado por la maquinaria usada en el centro para poder desarrollar su actividad y el generado por los vehículos de los clientes en su entrada y desplazamiento por el centro. Se descarta que el ruido generado por los caballos pueda deteriorar la calidad acústica ya que es casi despreciable.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** el efecto producido sobre la calidad del sonido es inmediato. Valor de 3.
- **Acumulación:** afecta únicamente a la calidad acústica y por tanto la acumulación es simple, asignándole un valor de 1.
- **Momento:** el efecto es notable a corto plazo, inmediatamente el ruido es producido. Se asigna un valor de 3.
- **Persistencia:** al tratarse de un efecto que cesa cuando la actividad del centro concluye, sobre las 21.00 horas, se considera temporal y por tanto el valor es de 1.
- **Reversibilidad:** se ha decidido considerar que este impacto es reversible a medio plazo los causantes de este ruido podrían disminuirlo o minimizarlo a través de maquinaria más silenciosa y vehículos eléctricos, ambas alternativas siendo cada vez más utilizadas, pero con recorrido todavía. Valor de 2.
- **Recuperabilidad:** en este caso se le ha asignado un valor de 1, pudiendo ser eliminado o reemplazado por la acción humana fácilmente a través de las soluciones comentadas anteriormente.

3.4.3. IMPACTOS SOBRE EL SUELO

Durante la explotación del centro ecuestre pueden producirse filtraciones en el suelo debido a posibles vertidos accidentales de fluidos contaminantes o a los excrementos de los caballos (estiércol). Dichos impactos hacen que la calidad del suelo en el que se emplaza el CEAP se vea deteriorada. A su vez, el terreno puede verse compactado por el pisoteo de los caballos, además de la pérdida de suelo permanente que suponen las edificaciones del centro.

3.4.3.1. FILTRACIONES EN EL SUELO POR VERTIDOS ACCIDENTALES O ESTIÉRCOL

Es posible que de manera accidental fluidos contaminantes utilizados en la maquinaria o en las instalaciones del centro puedan ser vertidos sobre el suelo dañándolo de manera considerable. A su vez, la materia orgánica presente en el estiércol de los caballos también puede ser filtrada a través del suelo.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** dado que las filtraciones requieren cierto tiempo para producirse, es decir no son exactamente inmediatas, se le ha asignado un valor intermedio de 2.
- **Acumulación:** se ha considerado que estas filtraciones aumentan su gravedad de manera progresiva cuando se van acumulando, generando más daño cuanto más vertido es filtrado. Valor de 3.
- **Momento:** el impacto de estas filtraciones se puede apreciar a medio plazo ya que es un proceso que requiere tiempo. Valor de 2.
- **Persistencia:** si bien es cierto que las filtraciones solo son producidas de manera ocasional, el daño producido sobre el suelo es irreparable. Por ello se ha asignado un valor de 2.
- **Reversibilidad:** al ser un impacto muy ocasional, se considera reversible a corto plazo. Valor de 1.
- **Recuperabilidad:** se trata de un impacto que fácilmente puede ser eliminado por el ser humano mediante inspecciones periódicas de la maquinaria y especial cuidado por parte de los empleados del centro ecuestre. Valor de 1.

3.4.3.2. PÉRDIDA DE SUELO PERMANENTE Y COMPACTACIÓN

La edificación de las instalaciones del CEAP en el terreno de Los Montes del Pardo, suponen una pérdida permanente del suelo del lugar. De esta manera, se modifica por completo el drenaje interno y superficial del terreno. También, el pisoteo de los caballos sobre el suelo produce una compactación de este, reduciendo su capacidad para absorber las precipitaciones, y, por lo tanto, aumenta la escorrentía y la erosión. Además, las plantas tienen problemas para crecer en este tipo de suelos.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** se trata de un impacto directo sobre el terreno. Valor de 3.
- **Acumulación:** simple, ya que no induce efectos secundarios sobre ningún otro componente medioambiental. Valor de 1.
- **Momento:** el impacto se puede apreciar a corto plazo sobre el suelo. Valor de 3.
- **Persistencia:** como se ha comentado anteriormente, este impacto daña el terreno de manera permanente, tanto a través de las edificaciones como por la compactación (es un efecto muy recurrente). Valor de 3.
- **Reversibilidad:** dado que se trata de una pérdida permanente, este impacto no puede ser asimilado por procesos naturales. Valor de 3.
- **Recuperabilidad:** de igual manera, la pérdida de suelo es permanente y, por lo tanto, de ninguna forma puede recuperarse a través de la acción natural o humana. Valor de 3.

3.4.4. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La explotación y actividades del centro pueden afectar negativamente a la calidad de las aguas superficiales del terreno en el que se encuentra edificado. Cabe destacar que el mero hecho de consumir agua es un impacto negativo sobre este componente medioambiental al tratarse de un recurso limitado en el planeta. Hoy en día la contaminación de las aguas es un asunto que tratar delicadamente por su importancia en la vida de los seres vivos. Las principales afecciones identificadas son: vertido de productos químicos o aceites procedentes de la maquinaria usada en el centro y generación, gestión y almacenamiento de los estiércoles de los caballos. En relación con el estiércol, el aspecto más preocupante es la generación de lixiviados que puedan discurrir hacia dichas aguas superficiales.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** en este caso, se ha considerado que el impacto de estas afecciones no es exactamente inmediato ya que requiere cierto tiempo para alcanzar las aguas superficiales de la zona. A pesar de ello, como tiene un efecto directo, se le ha asignado un valor de 2.
- **Acumulación:** cuantos más contaminantes tengan las aguas superficiales, más grave es este impacto. Al incrementar progresivamente su gravedad, se le asigna un valor de 3.
- **Momento:** se trata de un impacto a corto plazo, actuando en menos de un año desde que la afección es producida. Valor de 3.
- **Persistencia:** eliminar este tipo de sustancias de las aguas superficiales requiere tiempo, pero no puede considerarse una afección permanente. Valor de 2.
- **Reversibilidad:** como se ha comentado anteriormente, puede ser asimilado por procesos naturales, pero a medio plazo. Valor de 2.
- **Recuperabilidad:** si se presta la atención y cuidado necesario, además de una buena gestión del estiércol, puede llegar a ser eliminado por la acción humana fácilmente. Valor de 1.

3.4.5. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La explotación y actividades del centro pueden afectar negativamente a la calidad de las aguas subterráneas del terreno en el que se encuentra edificado. Para poder llevar a cabo un mejor análisis de este impacto se debería hacer un estudio de las aguas subterráneas de la parcela en la que está construida el centro, pero esto escapa de los objetivos y alcance del proyecto. Aun así, es importante tener en cuenta la contaminación que puede existir sobre este tipo de hidrología, pudiendo ser causada por la percolación de las mismas afecciones expuestas en el apartado anterior (productos químicos, aceites o lixiviados del estiércol). Además, de existir acuíferos en dicha zona, la tasa de recarga de estos se vería probablemente disminuida debido a la ocupación del suelo por las instalaciones del CEAP.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** valor de 2.
- **Acumulación:** valor de 3.

- **Momento:** valor de 3.
- **Persistencia:** valor de 2.
- **Reversibilidad:** valor de 2.
- **Recuperabilidad:** valor de 1.

Las explicaciones de porqué se han elegido estos valores son exactamente iguales que las expuestas para los impactos sobre la hidrología superficial. Por ello, se ha procedido simplemente a presentarlos directamente.

3.4.6. IMPACTOS SOBRE LA FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La fauna y flora que habitan en los alrededores del centro ecuestre pueden verse gravemente perjudicadas por diferentes motivos. En este caso, se ha decidido agruparlos y analizarlos conjuntamente. Las afecciones más remarcables son: posible proliferación de insectos que pueden transmitir enfermedades de manera directa a la fauna, incremento de los niveles sonoros en su hábitat y cambios en la vegetación. Modificar el hábitat de la fauna y flora autóctonas de la zona puede acabar con su presencia

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** valor de 2 ya que el efecto sobre la fauna y los demás componentes no es del todo inmediato si no que requiere de tiempo.
- **Acumulación:** se ha optado por considerar que es complicado que este impacto tenga una gravedad considerable sobre los factores expuestos anteriormente. Valor de 2.
- **Momento:** se trata de un impacto a corto plazo, valor de 3.
- **Persistencia:** se ha optado por un valor de 2, ya que, la transmisión de enfermedades tiene una duración indefinida pero las demás afecciones son temporales.
- **Reversibilidad:** se considera que puede ser asimilado por procesos naturales a corto plazo (si llegasen a acostumbrarse los animales a la acción humana), valor de 1.
- **Recuperabilidad:** con las medidas veterinarias pertinentes se puede llegar a controlar y recuperar la fauna, además de que el ruido puede ser minimizado y el impacto sobre la flora es mínimo. Valor de 1.

3.4.7. IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE

Debido a la mera presencia de las instalaciones del centro ecuestre se modifica la estructura del paisaje, alterando visualmente el medioambiente de Los Montes del Pardo.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** como era de esperar, el efecto sobre el paisaje es inmediato y perceptible fácilmente. Valor de 3.
- **Acumulación:** valor de 1 ya que la gravedad no aumenta con el tiempo.
- **Momento:** como ya se ha dicho, el impacto sobre el paisaje es notable desde el primer momento, valor de 3.

- **Persistencia:** temporal, ya que en cuanto las instalaciones sean destruidas el impacto desaparece. Valor de 1.
- **Reversibilidad:** en este caso se trata de un impacto reversible a largo plazo o directamente irreversible si no se demuelen las instalaciones. Valor de 3.
- **Recuperabilidad:** se puede intentar mimetizar al máximo las instalaciones con el entorno, a pesar de esto el impacto no desaparece. Valor de 2.

3.4.8. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO

Aunque el foco del estudio de impactos ambientales se ha puesto sobre aquellos que potencialmente pueden dañar el medioambiente, se considera necesario analizar el impacto que tiene la explotación del Centro Ecuestre Alameda del Pardo sobre el medio socioeconómico. En este caso, se trata de un impacto de signo claramente positivo ya que las actividades llevadas a cabo benefician de forma económica o social a la población de los alrededores del centro ecuestre y a sus clientes. Cabe destacar que no se pueden asignar valores a este impacto ya que los atributos comentados en las secciones anteriores aplicaban exclusivamente a impactos negativos. Por lo tanto, se han identificado los siguientes aspectos que contribuyen a la mejora del medio socioeconómico:

- **Creación de empleo:** el CEAP da trabajo a 19 personas directamente, estando 10 de ellas contratadas y 9 son autónomos que colaboran en la enseñanza de la hípica. Además, debe tenerse en cuenta el trabajo indirecto que el centro proporciona a los profesionales, como, por ejemplo, un trabajador debe ir cada semana a recoger el estiércol generado en el centro y transportarlo a otro lugar para que sea tratado, o servicios de fontanería, electricidad, etc. De esta forma, las diferentes actividades realizadas en el centro colaboran a reducir un problema de tanta importancia en España como es el paro.
- **Actividades de ocio, deportivas y equinoterapia:** muchos de los servicios ofrecidos en el centro están orientados a que los clientes se diviertan, hagan deporte y puedan conectar de una forma más pura con la naturaleza. No cabe duda de que estas actividades benefician socialmente a las personas, algo tan necesario hoy en día, dado que cada vez la tecnología como los smartphones o las videoconsolas ocupa la mayor parte del tiempo de los más jóvenes. De igual manera, aunque ya se ha comentado anteriormente, la equinoterapia ayuda a rehabilitar y tratar a personas con discapacidades de muchos tipos, contribuyendo de esta manera al bien de la sociedad.

3.5. RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

A continuación, se adjunta una tabla a modo de resumen en la que se muestran los valores asignados a los diferentes atributos necesarios para realizar la valoración de impactos ambientales. A su vez, se puede observar los cálculos de incidencia típica, incidencia máxima y mínima y el índice de incidencia estandarizado. Finalmente, se muestra la categorización del impacto en función de este último índice según los estándares comentados en secciones anteriores.

Íñigo Rodríguez Armajach
ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA SITUACIÓN ACTUAL

IMPACTO	S	I	A	M	P	Rv	Rc	I_{tip}	I_{max}	I_{min}	I_{est}	Ctg IMPACTO
<u>CALIDAD DEL AIRE</u>												
Emisión de gases contaminantes	-	3	2	3	1	2	2	22	30	10	0,6	GRAVE
Emisión de malos olores (caballos)	-	3	1	3	2	1	2	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>CALIDAD ACÚSTICA</u>												
Contaminación acústica por la maquinaria	-	3	1	3	1	2	1	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>SUELO</u>												
Filtraciones por vertidos accidentales o estiércol	-	2	3	2	2	1	1	20	30	10	0,5	GRAVE
Pérdida de suelo permanente y compactación	-	3	1	3	3	3	3	24	30	10	0,7	GRAVE
<u>HIDROLOGÍA SUPERFICIAL</u>												
Contaminación de las aguas por productos químicos, lixiviados...	-	2	3	3	2	2	1	23	30	10	0,65	GRAVE
<u>HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA</u>												
Percolación de productos químicos, lixiviados...	-	2	3	3	2	2	1	23	30	10	0,65	GRAVE
<u>FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS</u>												
Transmisión de enfermedades por insectos, modificación del hábitat...	-	2	2	3	2	1	1	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>PAISAJE</u>												
Presencia de las instalaciones	-	3	1	3	1	3	2	21	30	10	0,55	GRAVE
<u>MEDIO SOCIOECONÓMICO</u>												
Generación de empleo	+											
Actividades de ocio, deportivas y equinoterapia	+											

Tabla 3. Resumen de la valoración de impactos.

3.6. CONCLUSIONES

Mediante el análisis del resumen de la valoración de impactos expuesto en la página anterior, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El impacto más grave es debido a la pérdida de suelo permanente y compactación. Esto se debe a que el mero hecho de la existencia de las instalaciones hace que el suelo pierda sus propiedades esenciales. Una vez se construye sobre este suelo, es imposible que recupere su estado natural, de modo que, aunque se desmantelara el centro, el suelo seguiría estando dañado. En este caso, no se identifica ningún tipo de acción humana que pueda revertir la situación o minimizar el impacto ya que se trata de un efecto intrínseco del centro sobre el que no se tiene control ninguno.
- Los impactos sobre la hidrología subterránea y superficial son los segundos más graves. Cabe destacar que en este caso sí que se identifican ciertas líneas de mejora para reducir este impacto, como, por ejemplo, concienciar a los empleados del centro que tengan más cuidado al manipular productos químicos o aceites usados en la maquinaria. En cuanto a los lixiviados procedentes del estiércol de los caballos, a través de una gestión óptima de este residuo, pueden ser minimizados. Dicha gestión se propondrá en el siguiente apartado. De igual manera, el impacto sobre el suelo debido a filtraciones por vertidos accidentales o estiércol, también categorizado como grave, se verá disminuido con las líneas de mejora comentadas anteriormente.
- En tercer lugar, se encuentra la emisión de gases contaminantes debido a la maquinaria usada para la explotación del centro y los vehículos de los clientes. Se prevé que este impacto se reduzca con el tiempo gracias a la adopción de combustibles alternativos menos dañinos para el medio ambiente. Además, se planteará que el calor producido en la generación de biogás pueda ser utilizado como fuente de energía para la calefacción o el agua caliente del centro. De esta forma, se eliminan equipos como calderas u otras alternativas que siguen utilizando la combustión como fuente de calor.
- Por último, cabe destacar el impacto producido sobre el paisaje debido a la presencia de las instalaciones. Al igual que el primer impacto comentado, este es debido al mero hecho de que haya construcciones sobre un paisaje rural. En este caso, el impacto desaparece con el desmantelamiento del centro.

Debe tenerse en cuenta que solo se han comentado los impactos considerados como más graves y aquellos que pueden ser reducidos o minimizados gracias a la generación de biogás a partir del estiércol generado por los caballos y las aguas residuales producidas en el centro ecuestre. Los demás impactos identificados no tienen una gran repercusión sobre el medio ambiente, aunque en el siguiente apartado se explorará si pueden ser también reducidos a través de la generación de biogás.

4. PROPUESTA DE REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS Y MEJORAS PARA REDUCIR LOS IMPACTOS

En este apartado se tratará de reducir los impactos que perjudican con mayor gravedad al medio ambiente que rodea al Centro Ecuestre Alameda del Pardo. Para ello, se va a proponer la generación de biogás a través del estiércol producido por los caballos y las aguas residuales generadas gracias a la actividad del centro. Esta idea surge tras el análisis de los impactos elaborado anteriormente y gracias a los directores del proyecto. Para poder justificar correctamente la implementación de dicha propuesta, primero se debe analizar la gestión actual del estiércol de los caballos, para más adelante poder diseñar un digestor anaerobio capaz de producir biogás a través de estiércol y aguas residuales. Se prevé que este digestor contribuya a reducir varios de los impactos categorizados como graves, además de aportarle un alto grado de innovación y tecnología al centro ecuestre, de manera que pueda convertirse en un centro pionero del sector y poco a poco cada vez más instalaciones de este tipo puedan atreverse a implementar este tipo de soluciones tan novedosas y que sin ninguna duda son el futuro hacia un planeta más sostenible.

4.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

Para poder diseñar el digestor anaerobio que produce biogás, es necesario analizar cómo se realiza actualmente la gestión del estiércol por parte del Centro Ecuestre Alameda del Pardo.

El estiércol de los caballos es el producto que se obtiene de las heces de dichos animales. Además de las heces, el estiércol incluye los materiales de la cama de la cuadra (paja, heno...) y la orina absorbida en dichos materiales (Bellido, 2023). Este residuo es generado mayoritariamente en las cuadras, donde duermen y pasan la mayor parte del tiempo. También puede ser recogido en otros lugares que transitan dichos animales, como las pistas de entrenamiento o los prados de descanso. Tras una serie de conversaciones con el dueño del centro ecuestre, Sergio, se ha podido conocer cómo se realiza la gestión actual del estiércol. Se trata de un proceso muy sencillo que no requiere ninguna labor específica o compleja. Cada día, el estiércol es recogido de los boxes donde viven los caballos, además de en otras instalaciones como las pistas de entrenamiento. Esta labor la llevan a cabo los mozos de cuadra, encargados de limpiar los boxes y demás instalaciones. Una vez recogido todo el estiércol, este se deposita en un contenedor de unos 30m³, que en realidad es una caja de camión. Finalmente, una vez a la semana, la caja de camión es recogida por una persona ajena al centro ecuestre y es llevada a un campo agrícola en el que se vierte el estiércol sobre el terreno. Cabe destacar que, tras contactar con dicha persona, este, explicó que no tenía función de fertilizante, sino que simplemente servía como paja. Desde el punto de vista económico, el centro ecuestre paga para que el estiércol sea retirado de sus instalaciones, por lo tanto, no obtiene ningún beneficio económico de la producción del estiércol, si no que le cuesta dinero.

En el Real Decreto 804/2011, de 10 de junio, por el que se regula la ordenación zootécnica, sanitaria y de bienestar animal de las explotaciones equinas y se establece el plan sanitario equino, se concluye que *“para la gestión de los estiércoles generados en las instalaciones de estabulación, estas deberán disponer de estercoleros*

impermeabilizados natural o artificialmente, que eviten el riesgo de filtración y contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, con capacidad suficiente para permitir la gestión adecuada de los mismos". En el caso del CEAP, el centro no dispone de estercolero, por lo que, por obligación, debe ser retirado del centro una vez almacenado.

4.2. COMPOSICIÓN DEL ESTIÉRCOL

Primero, se debe tener en cuenta la cantidad de estiércol producido en el centro gracias a sus caballos. Un caballo típico como los que se pueden encontrar en el CEAP pesa de media unos 450 kilogramos y produce una media de 31 gramos de heces y 20 ml de orina por cada kilogramo de peso corporal todos los días. De esta forma, un caballo del CEAP produce diariamente 14 kg de heces y 9 litros de orina, dando lugar a 23kg de estiércol. Anualmente, esta cifra asciende a 8,5 toneladas por caballo (Wheeler, 2009). Teniendo en cuenta que el CEAP tiene actualmente 120 caballos, esto daría lugar a una producción diaria de 2760kg de estiércol, y de manera anual 1007,4 toneladas. Es importante tener en cuenta estos datos para el posterior diseño del digestor anaerobio.

El estiércol de caballo no es exactamente perfecto, pero es muy bueno, debe ser mezclado y compostado para llegar a ser un elemento de fertilización de los huertos y jardines de alta calidad. Como no podía ser de otra forma, el estiércol depende mayoritariamente del tipo de metabolismo de los animales y su alimentación.

Particularmente, el estiércol de caballo es considerado como un buen estiércol, equilibrado, pero algo flojo en algunos nutrientes. Contiene una fracción seca elevada, más que el de vaca, aunque menos que el de oveja y cabra. La cantidad de nitrógeno es un poco escasa, aunque la relación con el carbono no es mala. Otro tipo de estiércol como el de oveja es más agresivo, con mayor contenido en nitrógeno, lo que le hace más fuerte y ser considerado como mejor fertilizante. A pesar de esto, el estiércol de caballo se considera bueno. A continuación, se muestra un análisis detallado de una muestra de estiércol de caballo. Los datos están expresados sobre materia seca, el pH y conductividad eléctrica en un extracto acuoso 1:10 (J. A. Albuquerque, 2009).

Humedad (%)	19,5
pH	7,24
Conductividad eléctrica (dS/m)	16,74
Materia orgánica (%)	57,8
Lignina (%)	20,1
Carbono orgánico total (COT, %)	31,1
Nitrógeno total (NT, g/kg)	15,3
Relación C/N	20,4
Contenido graso (%)	0,3
Fósforo (g/kg)	2,3
Potasio (g/kg)	21,2
Calcio (g/kg)	58,6
Magnesio (g/kg)	14,9
Sodio (g/kg)	5,0

Azufre (g/kg)	8,8
Hierro (mg/kg)	3541
Cobre (mg/kg)	42
Manganeso (mg/kg)	218
Cinc (mg/kg)	45

Tabla 4. Análisis detallado de una muestra de estiércol de caballo.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, la relación C/N es óptima, alrededor de 20. Debe tenerse en cuenta que la cantidad absoluta de nutrientes no es la misma que la cantidad de nutrientes disponible. En este caso, el potasio, el fósforo e incluso el nitrógeno se encuentran en formas químicas no disponibles para las plantas. Dicha disponibilidad se va consiguiendo a medida que pasa el tiempo (Angulo, 2023). La pregunta que surge a continuación es si este estiércol puede ser utilizado directamente como compostaje para los cultivos. Todos los expertos coinciden en la misma respuesta, no. El estiércol recogido se encuentra en unas condiciones bioquímicas muy inestables que de primeras pueden ser perjudiciales para el cultivo, como por ejemplo el nitrógeno amoniacal. De hecho, los procesos de fermentación pueden llegar a quemar las raíces de los cultivos al aumentar la temperatura del suelo. Para que esto no se produzca, es necesario un proceso de maduración o estabilización. Esta estabilización puede ser considerada como compostaje, aunque este requiere otros factores y elementos en la mezcla a tratar. En el caso de que la mezcla sea 100% estiércol, sin otras materias, se considera estabilización y no compostaje. No es lo mismo, aunque comparten procesos como la fermentación.

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la filtración de lixiviados con nitrógeno derivados del estiércol, son una fuente de contaminación para aguas subterráneas, superficiales y el suelo. En España, existen unos límites establecidos para la aplicación de fertilizantes, procediendo dichos límites de una directiva europea. Para evitar que las aguas subterráneas y superficiales se contaminen, el máximo nitrógeno permitido es de 170kg/ha. Dicha directiva es la 91/676/CEE. Este límite es altamente necesario ya que grandes cantidades de nitrógeno en el agua provocan la proliferación excesiva de algas y microorganismos, lo que se conoce como eutrofización. Debido a este desequilibrio, el oxígeno presente en el agua disminuye, matando fauna y flora. Además, por salud pública, se establece un límite de nitrógeno en el agua para consumo humano.

4.3. GENERACIÓN DE BIOGÁS

El biogás es un gas renovable compuesto mayoritariamente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) que se obtiene a partir de la degradación anaerobia (sin oxígeno presente) de residuos orgánicos mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores. Dicho proceso se lleva a cabo en un biodigestor, que es básicamente un contenedor cerrado donde se almacena dicha materia orgánica. El producto resultante es una mezcla constituida por CH_4 en una proporción que puede variar entre el 50-70% y 25-30% de CO_2 , además de pequeñas cantidades de otros gases, como, por ejemplo, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. La composición del substrato a digerir influye en la composición del biogás extraído, así, las grasas producen más metano que las proteínas y estas a su vez más que los carbohidratos. La relación C/N de la mezcla usada como alimentación tiene una gran influencia sobre la producción de biogás. Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³) (IDAE, 2007). En la ilustración siguiente se pueden observar las equivalencias de biogás comparado con otras fuentes de energía.

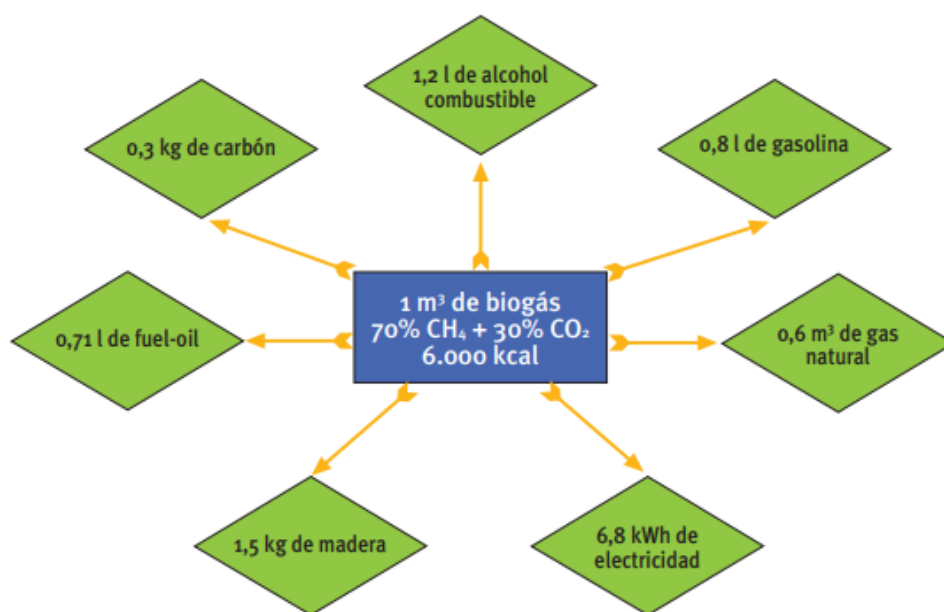


Ilustración 4. Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía. (Fuente: CIEMAT)

El biogás puede ser utilizado para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o también para producir energía térmica que puede ser aprovechada en hornos, estufas, calderas, etc. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España, el biogás es “la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante”. También, el biogás puede ser refinado para reducir el porcentaje de CO_2 y así poder inyectarlo a la red convencional de gas natural. De esta forma, pasaría a llamarse biometano o metano de origen renovable, producto que también se podría utilizar como biocombustible en algunos vehículos preparados para ello.

4.3.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso biológico espontáneo en el que participan una serie de microorganismos que degradan la biomasa en ausencia de oxígeno. Se trata de un proceso considerado muy útil para tratar residuos biodegradables debido a que, mediante la digestión en ausencia de oxígeno, se consigue producir un combustible de valor además de generar un efluente (digestato) que puede usarse como abono genérico para los campos de cultivo o huertos.

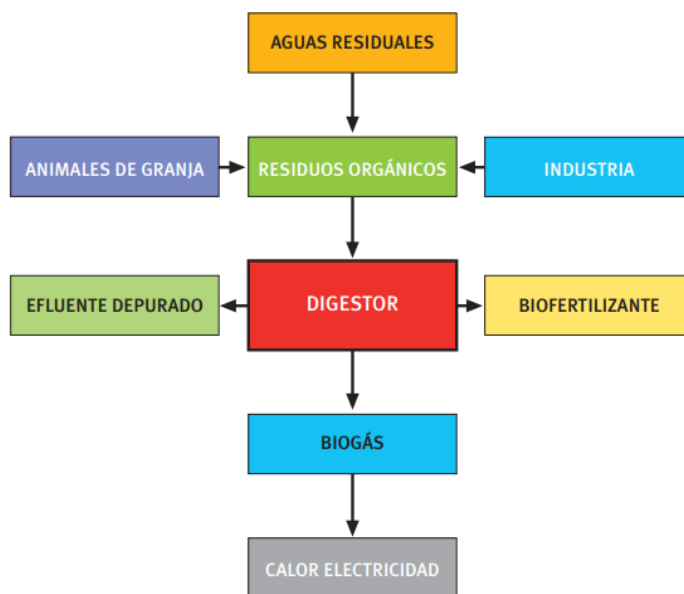


Ilustración 5. Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia. (Fuente: CIEMAT)

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en el crecimiento bacteriano. El hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte muy favorable económicamente, permitiendo en muchos casos la autonomía o autosuficiencia de las plantas de tratamiento (Lorenzo Acosta, 2005).

En este proceso, se degrada la materia orgánica en sucesivas etapas a través de un gran número de microorganismos que trabajan en serie o serie-paralelo, siendo estas:

- **Hidrólisis:** en esta etapa se descomponen las cadenas más largas de materia orgánica en otras más cortas. La materia orgánica se descompone debido a la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como, proteínas, carbohidratos y grasas, transformándolas en polímeros más simples. Enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular, denominadas exoenzimas, solubilizan los compuestos orgánicos antes mencionados. Por tanto, la hidrólisis consiste en la conversión de polímeros en sus correspondientes monómeros. En esta etapa ya se produce CO₂.
- **Acidogénesis:** en esta etapa los productos solubles obtenidos durante la etapa de hidrólisis son transformados mediante la acción de microorganismos y

bacterias fermentativas a través de una fermentación, produciendo ácidos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Estas dos primeras fases son llevadas a cabo a través de un grupo de bacterias, las hidrolíticas-acidogénicas. La concentración de hidrógeno formado en esta fase influye en el tipo de producto final obtenido durante el proceso de fermentación.

- **Acetogénesis:** las bacterias acetogénicas transforman los compuestos intermedios (ácido propiónico, butírico...) resultantes de la etapa acidogénica en hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético. En esta fase las bacterias homoacetogénicas transforman el hidrógeno y dióxido de carbono en ácido acético.
- **Metanogénesis:** tras la formación del ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, aparecen en el digestor los microorganismos responsables de la formación del metano. Existen dos tipos diferentes: las bacterias metanogénicas acetoclásticas que degradan el ácido acético en metano y CO₂, y las bacterias metanogénicas hidrogenófilas que generan metano y agua a partir del hidrógeno y CO₂ producidos anteriormente. El metano del biogás final es producido principalmente por la vía acetoclástica (alrededor del 70%). Esta etapa debe producirse bajo condiciones anaeróbicas estrictas. La metanogénesis es un paso crítico durante la digestión anaerobia, siendo la reacción bioquímica más lenta del proceso.

En la siguiente ilustración se muestran los diferentes procesos y las comunidades de bacterias que intervienen en ellos, siendo la numeración de microorganismos: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

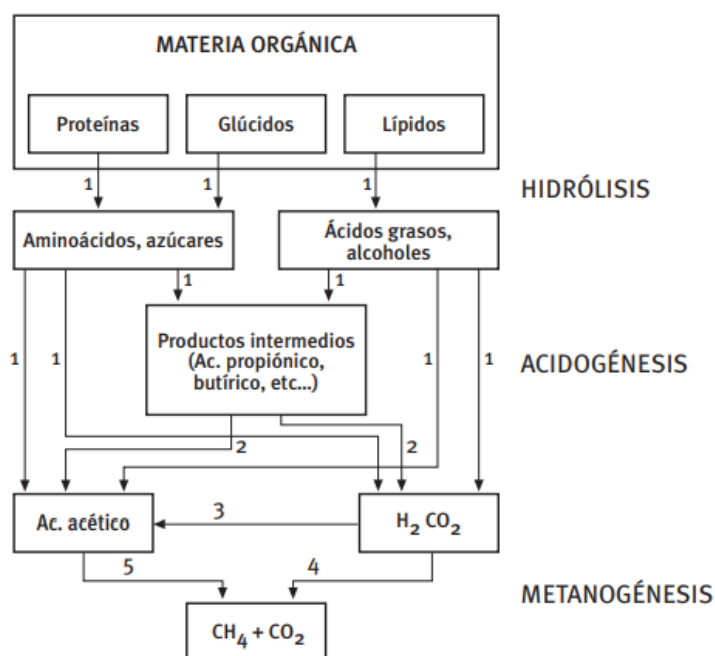


Ilustración 6. Fases de la digestión anaerobia y poblaciones de microorganismos. (Fuente: GIRO)

La disminución de la DBO de la materia orgánica introducida en el digestor no ocurre en todas las etapas descritas. Por ejemplo, durante la hidrólisis la variación de DBO es indetectable. A su vez, durante la acidificación también es mínima la variación, siendo por lo tanto la metanogénesis la etapa en la que mayores disminuciones de DBO se producen. Las cinco comunidades de bacterias que intervienen en las distintas fases de la digestión anaerobia se caracterizan por tener diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor. Por ello, cada etapa tiene velocidades de reacción diferentes dependiendo de la composición del sustrato. Por otro lado, se considera que las bacterias metanogénicas son la población de microorganismos que determina el éxito del proceso debido a su baja velocidad de crecimiento y los estrictos requerimientos de bajo potencial redox (-300 mV) y de pH, además de por su alta sensibilidad a la inhibición por presencia de oxígeno molecular.

4.3.2. PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y OPERACIONALES

Para la obtención de biogás, se deben mantener y asegurar una serie de condiciones presentes en el medio durante el desarrollo del proceso de digestión anaerobia. Los factores físicos, químicos y operacionales que influyen principalmente en el proceso son:

- Composición del sustrato
- Temperatura: existen tres rangos de funcionamiento, psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (temperaturas en torno a 35°C) y termófilico (temperaturas en torno a los 55°C). Al aumentar la temperatura, aumentan las tasas de crecimiento y reacción, pero también la sensibilidad de algunos inhibidores como el NH₃. En el rango termófilico se alcanzan tasas superiores de destrucción de patógenos. Se suele establecer el óptimo de funcionamiento en torno a los 35°C.
- Acidez: determina el porcentaje y la cantidad de metano en el biogás, siendo el valor óptimo de pH entre 6,6 y 7,6. Dicho valor se consigue mediante parámetros de proceso o adición de nutrientes.
- Alcalinidad: superior a 1,5 g/l CaCO₃ para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación.
- Potencial redox: como ya se ha comentado en el apartado anterior, se recomiendan valores inferiores a -350 mV.
- Nutrientes en cantidades suficientes que aseguren el crecimiento y actividad de las bacterias. Estos microorganismos deben disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales. Se recomienda un valor de C/N de 30/1.
- Tóxicos e inhibidores: su concentración debe ser la mínima posible. Además del oxígeno, la digestión es inhibida por concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas, aparte de metales pesados, alcalinos y alcalinotérreos.
- Agitación: en función del tipo de reactor usado, se debe proporcionar el nivel de energía requerido al sistema para facilitar la transferencia del sustrato a cada población o agregados de bacterias, a la vez que homogeneizar para mantener unas concentraciones de inhibidores promedio baja. Suelen recomendarse valores superiores a 30 W·h/m³ ·día, y puede ser mecánica o neumática, pero nunca violenta.

- Tiempo de retención: se trata del cociente entre el volumen y caudal de tratamiento, en otras palabras, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, mientras es sometido a la acción de microorganismos. Se debe tener en cuenta que hay un tiempo de retención mínimo por debajo del cual no hay actividad en el reactor y que la eliminación de materia orgánica se comporta de forma asintótica, lográndose la eliminación completa a tiempo infinito.
- Velocidad de carga orgánica: cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. A velocidades bajas, disminuye la concentración del influente y aumenta el tiempo de retención. Un aumento de la velocidad de carga orgánica supone una reducción en la producción de biogás por unidad de materia orgánica introducida. De esta forma, se debe encontrar un valor óptimo desde el punto de vista técnico y económico dependiendo de la instalación y residuo a introducir.

4.3.3. ACONDICIONAMIENTO DEL SUSTRATO PREVIA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS, GESTIÓN DEL APROVISIONAMIENTO Y DE LOS SUBPRODUCTOS

Como en muchos procesos de este tipo, es necesario someter los residuos orgánicos a una serie de operaciones de acondicionamiento antes de introducirlos en el reactor. El grado de pretratamiento del sustrato depende del tipo de reactor escogido. El objetivo de estas operaciones es introducir el residuo con las condiciones físicas, químicas y operacionales óptimas para el proceso al que se va a someter, de la manera más homogénea posible y sin elementos dañinos para el digestor. Algunas de las operaciones de acondicionamiento más comunes son: reducción del tamaño de partícula, calentamiento, control de pH, espesamiento, eliminación de gérmenes patógenos y eliminación de metales.

Para que una planta de digestión anaerobia sea rentable, se debe garantizar el suministro de materia prima, tanto en tiempo como en calidad. Como se ha comentado anteriormente, es muy importante introducir el sustrato lo más homogéneo posible en el reactor para conseguir una eficiencia y rendimiento elevado de biogás.

Los subproductos generados durante la digestión anaerobia son agua y digestato. Se debe consultar la legislación vigente en materia de vertidos y las composiciones de los efluentes del proceso de cara a su posterior uso. Es posible que no puedan ser utilizados tal y como salen del digestor, por lo tanto, es necesario aplicar una serie de tratamientos como decantación, sedimentación, secado, etc. De esta forma, pueden ser utilizados para riego en el caso del agua, o como compost en el caso del digestato.

4.3.4. PRINCIPALES BENEFICIOS DE PRODUCIR BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL ANIMAL

Gracias a la producción de biogás a partir de estiércol, se logra reducir el daño que habitualmente generan estos desechos animales al medioambiente. Se trata de una importante e innovadora fuente de energía renovable. Además, se caracteriza por tener los siguientes beneficios:

- Se logra aprovechar en mayor medida el amoníaco – al almacenar el estiércol animal para la producción de fertilizantes, se pierde hasta un 50% del amoníaco presente en este desecho. Mediante la producción de biogás a partir de estiércol, además de conservar todo el amoníaco que contiene, se puede aumentar su contenido en un 15%.
- Al tratar el estiércol en los biodigestores, el digestato obtenido apenas contiene semillas de malas hierbas, habiendo reducido las restantes prácticamente toda capacidad de germinar. Este tipo de semillas se pueden encontrar fácilmente en el estiércol y pueden germinar, aunque hayan sido digeridas por los animales.
- A menudo el estiércol contiene microorganismos perjudiciales para la salud de los animales, pero la microflora patógena es eliminada por completo en las plantas de biogás.
- Al producir biogás a partir de estiércol, es posible conservar elementos como el amoníaco que conllevan una activación de los microorganismos presentes en el suelo. De esta forma, se logra acelerar los procesos microbiológicos en gran medida.
- Los biofertilizantes (digestato) obtenidos a través del proceso de digestión anaerobia, se pueden aplicar directamente sobre los cultivos y con una efectividad instantánea, sin necesidad de tener que almacenar el estiércol previamente durante un largo periodo de tiempo.
- Este tipo de biofertilizantes son más duraderos y efectivos, ya que no desaparecen de la tierra con la lluvia, mientras que los fertilizantes químicos sí lo hacen. Por ello, menores cantidades de estos biofertilizantes tienen efectos más duraderos.
- Los biofertilizantes producidos mediante este procedimiento son ecológicos y respetuosos con el medioambiente, siendo una forma totalmente sostenible de fertilizar los cultivos. Por el contrario, los fertilizantes químicos son perjudiciales y contaminantes para el suelo y aguas.

4.4. DISEÑO DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE CABALLO Y AGUAS RESIDUALES

En este apartado se procede a diseñar un digestor anaerobio para producir biogás a partir del estiércol de caballo producido en el CEAP y las aguas residuales generadas en el propio centro. El tipo de digestor seleccionado para el centro ecuestre es el reactor de mezcla completa sin recirculación. Este tipo de reactor logra mantener una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos. Para ello, debe tener un sistema de agitación, ya sea mecánica o neumática y nunca violenta. Estos reactores no suponen grandes problemas de diseño y es el que más se utiliza en la industria para tratar residuos. Si se compara con otro tipo de reactores, el tiempo de retención es alto, dado que la concentración de cualquier especie, mantenida en régimen estacionario en el reactor, se pretende que sea la misma que en el efluente.

Para el diseño del reactor de mezcla completa, se va a utilizar el procedimiento presentado por el autor Ricardo Isla de Juana en su libro “Proyectos de plantas de tratamientos de aguas” (Isla de Juana, 2015). En este libro, el autor, dedica un capítulo entero a explicar que es la digestión anaerobia, sus características, parámetros a controlar, cómo calcular los digestores necesarios y más información acerca de este proceso biológico. De esta manera, se seguirá paso por paso el proceso explicado por Ricardo para el dimensionamiento del digestor a implementar en el Centro Ecuestre Alameda del Pardo. Se ha optado por este método por ser un procedimiento razonablemente sencillo, completo y fácil de seguir para un proyecto de fines académicos.

En principio se plantea la construcción de un único reactor para así simplificar el proceso, pero debido a la gran cantidad de estiércol de caballo generado diariamente en el centro ecuestre, puede darse el caso que sean necesarios dos reactores para poder digerir la totalidad del residuo producido. Si el reactor primario obtenido es demasiado grande, entonces se optará por construir un segundo reactor. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de un digestor anaerobio de mezcla completa como el que va a ser utilizado en este proyecto.



Ilustración 7. Ejemplo de digestor anaerobio. (Fuente: Residuos profesional)

4.4.1. PARÁMETROS DE CONTROL

El fango debe ser controlado a la entrada del digestor, durante la digestión y una vez ha sido retirado de este. De igual manera, se debe controlar el sobrenadante y el gas, purgado por la parte superior del digestor. Igualmente, la temperatura y cantidad de combustible consumido para calentar los fangos deben ser monitorizados. En lo que respecta a los fangos de entrada, es necesario conocer su caudal, y como mínimo los siguientes parámetros:

- Sólidos suspendidos.
- Sólidos volátiles.
- Sólidos totales.
- pH.
- Alcalinidad.
- Temperatura.

Por otro lado, durante la digestión del sustrato se necesita conocer:

- Tanto por ciento de sólidos volátiles eliminados.
- pH (es posible que se solidifique cal en la puesta en marcha).
- Temperatura.
- Concentración del fango digerido.
- Gas formado, si disminuye la concentración de CH₄ se debe a que hay problemas en el digestor.
- Ácidos volátiles (fórmico, acético, propiónico, butírico y valérico).
- Alcalinidad.

4.4.2. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL DIGESTOR

Para calcular los digestores (1° y 2°), es necesario tener en cuenta una serie de parámetros que se utilizan en el diseño. Estos, se han dividido en dos grupos. Como se ha comentado anteriormente, se sigue el método explicado por (Isla de Juana, 2015) para el cálculo del digestor.

Parámetros de partida:

- **Tiempo de retención del digestor primario (sin zona de gas):** se trata del tiempo medio que permanecerá el fango en los digestores primarios bajo las condiciones de diseño. Valor recomendado de 20 días.
- **Altura cilíndrica útil del digestor primario (sin zona de gas):** altura cilíndrica del digestor ocupada por el fango.
- **Altura del fondo cónico del digestor primario:** el volumen del fondo cónico de los digestores se considera en el cálculo como parte integral del digestor.
- **Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir:** porcentaje de los sólidos alimentados al digestor que son volátiles. Se establece un rango habitual de 40 a 70%.

- **Reducción de volátiles esperada en el fango digerido:** porcentaje de los sólidos volátiles eliminados del fango durante la digestión. Valor recomendado de 42% para 20 días de retención y 35°C.
- **Sólidos contenidos en los fangos primarios:** kilos de sólidos de tipo primario enviados diariamente al digestor. Al solo haber un tipo de fangos, el estiércol de caballo, se puede hablar únicamente de fangos primarios.

Parámetros en el resultado del cálculo:

- **Sólidos contenidos en los fangos a digerir:** kilos de sólidos alimentados al día a digestores.
- **Concentración de los fangos a digerir:** kilos de sólidos contenidos en cada metro cúbico de fangos alimentados a los digestores.
- **Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir:** kilos de sólidos volátiles alimentados diariamente a los digestores.
- **Volumen total de digestores primarios (sin zona de gas):** volumen ocupado por los fangos en un digestor primario, incluida la parte cilíndrica y el fondo cónico.
- **Carga de sólidos volátiles en digestores primarios:** relación entre los sólidos volátiles alimentados a los digestores diariamente y el volumen de digestores primarios.
- **Gas producido en la digestión:** producción de gas esperada en el digestor.
- **Sólidos contenidos en los fangos digeridos:** kilos de sólidos que salen diariamente en el efluente del digestor.
- **Sólidos volátiles contenidos en los fangos digeridos:** kilos de sólidos volátiles que salen diariamente en el efluente del digestor.
- **Concentración de los fangos digeridos:** concentración del fango efluente de los digestores.
- **Tiempo de retención de sólidos:** relación entre los sólidos contenidos en el digestor y los que salen diariamente del digestor.

Para poder realizar los cálculos pertinentes, se usará un documento de Microsoft Excel en el que se introducirán los datos requeridos y las fórmulas indicadas por el autor (Isla de Juana, 2015).

Parámetros de partida	Valor seleccionado
Tiempo de retención del digestor primario (d) (sin zona de gas)	20
Altura cilíndrica útil del digestor primario (m) (sin zona de gas)	3
Altura del fondo cónico del digestor primario (m)	1
Número de digestores primarios	1
Sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir (%)	75
Reducción de volátiles esperada en el fango digerido (%)	42
Caudal de fangos primarios (m ³ /h)	0,15
Caudal de fangos secundarios (m ³ /h)	0
Sólidos contenidos en los fangos primarios (kg/d)	919,1
Sólidos contenidos en los fangos secundario (kg/d)	0
Tiempo de retención del digestor secundario	0
Altura cilíndrica útil del digestor secundario	0
Altura del fondo cónico del digestor secundario	0
Número de digestores secundarios	0

Tabla 5. Parámetros de partida para el cálculo del digestor.

En la tabla anterior se pueden observar los parámetros de partida seleccionados para el diseño del digestor anaerobio. Los valores de las líneas 1 y 6 han sido escogidos según recomendación del libro comentado anteriormente (Isla de Juana, 2015). Se ha optado por escoger 3 metros como altura cilíndrica del digestor primario, siendo este un valor común para este tipo de aplicaciones. Se ha elegido 1 metro como altura del fondo cónico, este valor debe asegurar una pendiente suficiente para que discurra el fango ya digerido hacia la salida. Se prevé que con un digestor primario en principio debe ser suficiente. En cuanto al porcentaje de sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir, se ha optado por un valor de 75% (Pérez Castellón & Reyes Aguilera, 2019). Para el caudal de fangos primarios, se ha utilizado el dato de kilogramos de estiércol producidos diariamente en el centro (2760 kg) y la densidad del estiércol de caballo, siendo esta de 770 kg/m³ (Rynk, 2022), después, se ha dividido el volumen entre las 24 horas del día. Finalmente, para los sólidos contenidos en los fangos primarios, se ha usado el porcentaje de masa seca en un kilo de estiércol de caballo, 33,3% (Pérez Castellón & Reyes Aguilera, 2019), y los 2760 kilogramos de estiércol producidos al día.

Partiendo de los datos comentados anteriormente, se han obtenidos los siguientes parámetros de cálculo:

Resultado de cálculo	Valor obtenido
Caudal de fangos a digerir (m ³ /h)	0,15
Sólidos contenidos en los fangos a digerir (kg/d)	919,1
Concentración de los fangos a digerir (kg/m ³)	256,4
Caudal diario de fangos a digerir (m ³ /d)	3,6
Sólidos volátiles contenidos en los fangos a digerir (kg/d)	689,3
Volumen total de digestores primarios (m ³) (sin zona de gas)	71,7
Volumen unitario de digestor primario (m ³) (sin zona de gas)	71,7
Carga de sólidos volátiles en digestores primarios (kg/m ³ ·d)	9,6
Diámetro interno del digestor primario (m)	5,2
Volumen total de digestores secundarios (m ³) (sin zona de gas)	0
Volumen unitario de digestor secundario (m ³) (sin zona de gas)	0
Diámetro interno del digestor secundario (m)	0
Carga de sólidos volátiles en digestores 1 ^{os} + 2 ^{os} (kg/m ³ ·d)	9,6
Gas producido por la digestión (m ³ /d)	260,6
Sólidos contenidos en los fangos digeridos (kg/d)	629,6
Sólidos volátiles contenidos en los fangos digeridos (kg/d)	399,8
Concentración de los fangos digeridos (kg/m ³)	175,6
Tiempo de retención de sólidos (d)	20

Tabla 6. Resultado del cálculo.

4.4.3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL BALANCE TÉRMICO DEL DIGESTOR

En este apartado se comentarán los parámetros utilizados para el cálculo del balance térmico del digestor. Como en el anterior caso, se han dividido en dos grupos.

Parámetros de partida:

- **Temperatura del digestor:** temperatura en el digestor a considerar como temperatura de diseño. Valor recomendado de 35°C.
- **Temperatura del aire a considerar en el cálculo:** temperatura de diseño a considerar para el aire circundante al digestor.
- **Temperatura del suelo a considerar para el cálculo:** temperatura de diseño a considerar para el terreno circundante al digestor.
- **Altura enterrada de la virola (a efectos del cálculo térmico):** altura de la virola en la que se considera que la conductividad térmica es la correspondiente a la parte enterrada de la misma, suele ser uno o dos metros menor que la altura enterrada normal.
- **Espesor del hormigón en la cúpula:** valor recomendado de 0,3 metros.
- **Espesor de hormigón en la virola:** valor recomendado de 0,3 metros.
- **Espesor del aislamiento:** espesor del aislamiento colocado por fuera del muro y cúpula del hormigón, el cálculo no considera aislamiento en las superficies enterradas. Si no se aísla al digestor, se dará el valor cero. Valor recomendado de 0,3 metros.
- **Conductividad térmica del hormigón:** valor recomendado de 1,64 kcal/°C.h.m²/m.
- **Coefficiente global U de la parte enterrada:** coeficiente global de transmisión de calor de la parte enterrada, considerando no solo el digestor sino también el terreno circundante al digestor. Puede variar en función de que el terreno este o no mojado y del tipo de suelo. Valor recomendado de 0,63 kcal/°C.h.m².h.
- **Poder calorífico del gas de digestión:** kilocalorías teóricas que se generan por la combustión de un metro cúbico de gas de digestión de buena calidad, es decir entre un 65% y un 70% de metano. Valor recomendado de 5.000 kcal/m³.
- **Pérdidas de calor en tuberías:** este dato permite incluir en el balance térmico las pérdidas de calor producidas en las tuberías del circuito de agua caliente y de fangos calientes y en los intercambiadores. El valor de estas pérdidas sería objeto de un cálculo térmico independiente.
- **Rendimiento de la producción de calor a partir de gas de digestión:** indica el rendimiento del sistema utilizado para quemar el gas de digestión, caldera o motogeneración. Valor recomendado de 65%.

Parámetros en el resultado del cálculo:

- **Coefficiente global de la cúpula:** coeficiente global de transmisión de calor de la cúpula, considerando el hormigón y el aislamiento especificado.
- **Coefficiente global U de la virola:** coeficiente global de transmisión de calor de la virola no enterrada a efectos térmicos, considerando el hormigón y el aislamiento especificado.

- **Pérdidas de calor por cada digestor:** pérdidas totales de calor (cúpula + virola + cono inferior) en un digestor en las condiciones de diseño. El resultado de cálculo es una aproximación en la que no se considera el efecto de convección y la radicación.
- **Calor necesario para el calentamiento del fango alimentado:** calor que es necesario aportar al fango a alimentar al digestor para aumentar su temperatura hasta la temperatura de digestión.
- **Calor total necesario para la digestión:** suma del calor necesario para el calentamiento del fango más el calor necesario para compensar las pérdidas totales de los digestores.
- **Calor total necesario:** suma del calor total necesario para la digestión más el necesario para compensar las pérdidas en tuberías y para la calefacción de edificios.
- **Calor teórico disponible del gas de digestión:** kilocalorías teóricas que se producirán por la combustión del gas de digestión producido en los digestores en una hora y en las condiciones de diseño.
- **Calor real disponible del gas de digestión:** el calor real disponible es el resultado de multiplicar el calor teórico disponible por el rendimiento de la producción de calor en la caldera o motogenerador.
- **Exceso de calor en las condiciones de cálculo:** resultado positivo o negativo del balance térmico.

Al igual que se ha hecho para el cálculo del digestor, se usará un documento de Microsoft Excel en el que se introducen los datos requeridos y las fórmulas indicadas por el autor (Isla de Juana, 2015). En las tablas adjuntadas a continuación se pueden ver el valor de todos los parámetros.

Parámetros de partida	Valor seleccionado
Temperatura del digestor (°C)	35
Temperatura del aire a considerar para el cálculo (°C)	7
Temperatura del suelo a considerar para el cálculo (°C)	7
Temperatura del fango alimentado al digestor (°C)	43,5
Altura enterrada de la virola (m) (a efectos de cálculo térmico)	0,5
Espesor del hormigón en la cúpula (m)	0,3
Espesor del hormigón en la virola (m)	0,3
Espesor del aislamiento (m)	0,3
Conductividad térmica K del hormigón (kcal/°C.h.m ² /m)	1,64
Conductividad térmica K del aislamiento (kcal/°C.h.m ² /m)	0,03
Coeficiente global U de la parte enterrada (kcal/°C.h.m ² .h)	0,63
Poder calorífico del gas de digestión (kcal/m ³)	5.000
Altura de la cúpula (m) (casquete esférico)	1
Pérdidas de calor en tuberías (kcal/h)	3.528,4
Rendimiento de la producción de calor a partir del gas de digestión (%)	65

Tabla 7. Parámetros de partida para el cálculo del balance térmico.

En la tabla superior se pueden apreciar los parámetros de partida para el cálculo del balance térmico del digestor anaerobio. En aquellos parámetros en los que el procedimiento explicado por el autor recomendaba unos valores específicos se han seguido sus recomendaciones. En cuanto a la temperatura del aire, para hacerlo de forma totalmente precisa, se deberían considerar dos casos, invierno y verano. De esta forma, se calcularían ambas situaciones y se optaría por la más desfavorable, que es invierno, ya

que en verano las necesidades térmicas son menores. Por ello, se ha optado por una temperatura media del invierno en Madrid de 7°C, basada en datos históricos. De igual manera, el suelo sigue la misma temperatura que el aire aproximadamente, por ello también se ha escogido 7°C. En condiciones normales, la temperatura del estiércol fresco de caballo oscila entre los 38°C y 49°C. Dado que el estiércol es introducido en el digestor cuando es recogido, se ha optado por la media de estos dos valores, 43,5°C. Se ha escogido un valor de 0,5 metros para la altura enterrada de la virola ya que el fondo cónico tiene una altura de 1 metro. Para la conductividad térmica K del aislamiento, se ha elegido un valor estándar de 0,03 kcal/°C.h.m²/m al igual que en el ejemplo mostrado en el libro. De la misma forma que en dicho ejemplo, para altura de la cúpula se ha seleccionado un valor de 1 metro. Finalmente, en cuanto a las pérdidas de calor en tuberías, tras consultar diferentes estimaciones realizadas en otros trabajos en los que se diseñaban digestores anaerobios con más profundidad, se ha optado por estimarlas como un 10% del calor real disponible del gas de digestión.

Resultado de cálculo	Valor obtenido
Coefficiente global U de la cúpula (kcal/°C.h.m ² .h)	0,1
Superficie de la cúpula (m ²)	24,6
Calor perdido por la cúpula (kcal/h)	67,8
Coefficiente global U de la virola (kcal/°C.h.m ² .h)	0,1
Superficie de la virola (m ²)	41,1
Calor perdido por la virola (kcal/h)	113
Superficie enterrada (m ²)	31,2
Calor perdido por la superficie enterrada (kcal/h) (virola + cono)	551,1
Pérdidas de calor por cada digestor (kcal/h)	731,9
Pérdidas totales de calor (kcal/h)	731,9
Calor necesario para el calentamiento del fango alimentado (kcal/h)	-1.269,5
Calor total necesario para la digestión (kcal/h)	-537,6
Calor total necesario (kcal/h)	2.990,8
Calor teórico disponible del gas de digestión (kcal/h)	54.283,2
Calor real disponible del gas de digestión (kcal/h)	35.284,1
Exceso de calor en las condiciones del cálculo (kcal/h)	32.293,2

Tabla 8. Resultado de cálculo del balance térmico.

4.4.4. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DIGESTOR ANAEROBIO OBTENIDO

Una vez el digestor anaerobio ha quedado completamente diseñado, se ha decidido dedicar una sección para resumir los resultados más relevantes obtenidos durante el proceso de cálculo. Estos parámetros incluyen básicamente las dimensiones del digestor, la cantidad de biogás generado, y otros datos acerca del balance energético.

Parámetro	Valor obtenido
Número de digestores primarios	1
Altura cilíndrica útil del digestor primario (m) (sin zona de gas)	3
Altura del fondo cónico del digestor primario (m) (sin zona de gas)	1
Volumen total del digestor primario (m ³) (sin zona de gas)	71,7
Diámetro interno del digestor primario (m)	5,2
Caudal diario de fangos a digerir (m ³ /d)	3,6
Gas producido por la digestión (m ³)	260,6

Calor teórico disponible del gas de digestión (kcal/h)	54.283,2
Calor real disponible del gas de digestión (kcal/h)	35.284,1
Exceso de calor en las condiciones de cálculo (kcal/h)	32.293,2

Tabla 9. Resumen de resultados del digestor anaerobio diseñado.

Como se puede observar en la tabla superior, se confirma la hipótesis inicial de que solo iba a ser necesario un reactor para este tipo de instalación. En cuanto a las dimensiones del digestor, este consta con una altura de 3 metros, siendo el fondo cónico de un metro, un diámetro interno de 5,2 metros y finalmente un volumen de 71,7 metros cúbicos. Se ha obtenido un caudal diario de fangos a digerir de 3,6 metros cúbicos, dando lugar a una producción diaria de gas de 260,6 metros cúbicos. En cuanto al balance energético, los calores teóricos y reales disponibles del gas de digestión son, 54.283,2 kcal/h y 35.284,1 kcal/h respectivamente. Por último, se ha obtenido un exceso de calor en las condiciones de cálculo de 32.293,2 kcal/h. En el siguiente apartado se explorará que uso se le va a dar a este exceso de calor de forma que se cumpla el objetivo principal de este trabajo de fin de máster, conseguir un centro ecuestre más sostenible y hacer uso de la economía circular.

4.5. USO DEL BIOGÁS GENERADO DURANTE LA DIGESTIÓN

Una vez se ha diseñado el digestor anaerobio para poder obtener biogás, se debe plantear qué hacer con el exceso de calor que este biogás puede proporcionar. Existen diferentes alternativas para utilizar el biogás, por ejemplo, como energía eléctrica a través de un cogenerador, como energía térmica para calentar edificios, a través de un upgrading podría ser inyectado a la red de gas natural convencional o como biocombustible. Finalmente, se ha optado por estudiar la posibilidad de aprovechar el exceso de calor del digestor para calentar las instalaciones del Centro Ecuestre Alameda del Pardo durante los meses de invierno y utilizar el biogás en verano para producir energía eléctrica y abastecer el centro. De esta forma, el centro contribuiría en la lucha contra el cambio climático, siendo su actividad significativamente más sostenible, disminuyendo el impacto medioambiental producido y haciendo uso de la economía circular. A su vez, al usar el biogás, se alinea claramente el proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, concretamente, los objetivos 9, 12, 13 y 15.

4.5.1. USO DEL BIOGÁS COMO ENERGÍA TÉRMICA

Como se ha comentado anteriormente, se pretende utilizar el exceso de calor del biogás para calentar las instalaciones del centro ecuestre durante los meses de invierno (desde noviembre hasta abril). Para ello, se debe calcular la potencia calorífica necesaria. El principal fenómeno por el cual se transmite calor a las instalaciones del centro es por radiación. Se trata de una energía en forma de ondas electromagnéticas, emitida por la materia que está por encima del cero absoluto y resulta ser un método muy complejo de utilizar ya que la mayoría de las superficies no se comportan como el cuerpo negro. Por lo tanto, la radiación se puede emitir y reflejar en ciertas direcciones preferentes, dotando de gran dificultad a los problemas de radiación. Este fenómeno está gobernado por una

gran cantidad de leyes que dotan de una elevada complejidad al cálculo de la potencia calorífica necesaria para cada instalación.

Por este motivo, se ha optado por utilizar un método adoptado entre muchos profesionales de la climatización que simplifica en gran medida los cálculos y problemas comentados previamente. Dicho procedimiento es aplicado con asiduidad en proyectos industriales reales, ya que permite realizar una estimación adecuada acerca de la potencia calorífica necesaria y supone un ahorro de tiempo considerable. En dicho método se propone una fórmula para calcular la potencia calorífica, siendo una ecuación en la que deben considerarse una serie de parámetros específicos:

- **Orientación de la estancia a calentar (A):** de la orientación de la vivienda depende que reciba una mayor o menor cantidad de luz solar. De manera ilustrativa, una vivienda con orientación sur siempre será más calurosa que una con orientación norte. Este parámetro vale 1 cuando la orientación es este u oeste, cuando es sur vale 0,92 y 1,12 cuando es norte.
- **Aislamiento (B):** el aislamiento es un parámetro básico que determina una mejor o peor eficiencia energética de un edificio. Un aislamiento bajo, significa pérdidas de calefacción y por lo tanto de energía. Cuanto menor es el aislamiento, mayor es el consumo de calefacción y, al contrario. De esta forma se establecen tres posibilidades:
 - Buen aislamiento: doble ventanal y doble tabique, con un valor de 0,93.
 - Aislamiento sencillo: ventanal sencillo y tabique doble o ventanal doble y tabique sencillo, con un valor de 1.
 - Sin aislamiento: ventanal sencillo y tabique sencillo, valor 1,10.
- **Zona climática (C):** el Código Técnico de la Edificación establece en el DB H1 las zonas climáticas en las que se divide España. Este código, establece una letra para la división de invierno y un número para verano. Dado que se está realizando el estudio de calefacción, se utilizará lo respectivo a las zonas climáticas en invierno. La Comunidad de Madrid pertenece a la zona D, que corresponde a un valor de 1,12.



Ilustración 8. Zonas climáticas en invierno según el CTE. (Fuente: Caloryfrio)

Finalmente, la ecuación propuesta para calcular la potencia calorífica necesaria por metro cuadrado es la siguiente:

$$P = A \times B \times C \times 85$$

Al no disponer de los planos de las instalaciones del centro para poder establecer la orientación de cada una de ellas, se ha optado por escoger orientación norte para todos los edificios, de modo que se realiza la estimación para el escenario con la potencia calorífica más alta, es decir, el caso más desfavorable. Se opta por utilizar un valor de aislamiento de 0,93 para todas las instalaciones, correspondiente a buen aislamiento. Esto se debe a que, por indicación del dueño del centro, son instalaciones relativamente nuevas.

Las instalaciones del Centro Ecuestre Alameda del Pardo que necesitan ser calentadas son: oficina, restaurante, vestuarios de los mozos y casa de los mozos. La casa de los mozos es el lugar donde viven los empleados del centro que cuidan de los caballos diariamente. En cuanto a las naves de las cuadras, se ha optado por no calefactar estas instalaciones ya que los propios caballos en invierno generan el calor suficiente como para tener una temperatura de confort. Además, debido a la gran extensión de estas, supondría un gran gasto. Las superficies de las instalaciones han sido indicadas por el dueño del centro aproximadamente.

OFICINA				
Orientación	Aislamiento	Zona climática	Superficie	Potencia necesaria
Norte = 1,12	Buen aislamiento = 0,93	D = 1,12	20 m ²	1.983,2 W
RESTAURANTE				
Orientación	Aislamiento	Zona climática	Superficie	Potencia necesaria
Norte = 1,12	Buen aislamiento = 0,93	D = 1,12	200 m ²	19.832,1 W
VESTUARIOS MOZOS				
Orientación	Aislamiento	Zona climática	Superficie	Potencia necesaria
Norte = 1,12	Buen aislamiento = 0,93	D = 1,12	80 m ²	7.932,8 W
CASA MOZOS				
Orientación	Aislamiento	Zona climática	Superficie	Potencia necesaria
Norte = 1,12	Buen aislamiento = 0,93	D = 1,12	50 m ²	4.958 W

Tabla 10. *Cálculo de la potencia calorífica necesaria para calentar las instalaciones del centro.*

Finalmente, la potencia calorífica necesaria total para calentar las instalaciones del centro se obtiene sumando todos los valores, dando lugar a 34.706,1 W o 29.847,2 kcal/h. Se debe recordar que el exceso de calor obtenido en las condiciones de cálculo es de 32.293,2 kcal/h. Como se puede observar, el exceso de calor obtenido del biogás es superior a la potencia calorífica necesaria para calentar las instalaciones, por lo tanto, se dispone de calor suficiente como para satisfacer la demanda térmica del Centro Ecuestre Alameda del Pardo. Cabe destacar que es necesario contar con un sistema de almacenamiento de biogás para poder satisfacer las fluctuaciones de la demanda térmica

y de la generación propia de biogás. Dicho sistema se instalará en el propio centro. El uso de biogás para calefacción es una práctica que cada vez se lleva más a cabo. Se trata de un sistema muy sencillo, el biogás reemplaza el gas natural habitual de las calderas que es quemado para producir calor. En este caso, la caldera debe estar adaptada para la quema de biogás.

Para concluir, al disponer de calor suficiente para satisfacer la demanda térmica del centro, se cumple con los objetivos de este trabajo y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Además, usar el biogás generado para la calefacción del centro, supone un ahorro económico ya que se elimina la factura de gas para calentar estas instalaciones, siendo este reemplazado por el biogás generado en el digestor anaerobio. Debe recordarse que los cálculos realizados son estimaciones y que pueden estar sujetos a variaciones.

4.5.2. USO DEL BIOGÁS COMO ENERGÍA ELÉCTRICA

Dado que durante los meses de verano no es necesario calentar las instalaciones del centro ecuestre, surge la posibilidad de utilizar el biogás para producir energía eléctrica. Dicha energía eléctrica sería de autoconsumo, de modo que la demanda de electricidad del centro queda satisfecha.

La energía eléctrica se consigue a través de una microturbina de gas, que produce simultáneamente electricidad y energía calorífica. Cabe destacar que en principio solo se plantea el aprovechamiento de la energía eléctrica producida, pero también podría aprovecharse la energía térmica. Se trata de turbinas de combustión de pequeño tamaño, con potencias que actualmente varían entre 15 kW y 200 kW. En el interior de la microturbina se produce la combustión del biogás, que se convierte en energía eléctrica en los alternadores. El funcionamiento de una microturbina es similar a una turbina convencional; inicialmente el gas de combustión se expande en una o más secciones de la turbina produciendo energía mecánica rotacional mediante un eje para accionar el compresor y el generador eléctrico. Las microturbinas pueden tener o no sistemas de recuperación. Estos sistemas de recuperación son intercambiadores de calor de aire-gas, que usan el calor de los gases de escape de la turbina (alrededor de 650° C) para precalentar el aire de compresión (alrededor de 150 °C a 205°C) antes de que el aire entre a la cámara de combustión y producir calor para aplicaciones como calentamiento de agua y calentamiento de espacios. Adicionalmente los gases de escape también pueden ser empleados para refrigeración mediante un sistema por absorción (Esperanza Hernández & Sebastián Gómez, 2023). Es posible alcanzar un rendimiento eléctrico de hasta el 33%, comparable al de turbinas mucho mayores.

Estos equipos presentan una gran variedad de ventajas económicas, ambientales y operativas debido a su sencillo funcionamiento y su alta flexibilidad:

- Su baja relación tamaño-peso hace que sean fáciles de instalar en plantas de escala reducida.
- Presentan un funcionamiento continuo con pocas paradas de mantenimiento.
- Son fáciles de operar y presentan bajos niveles de ruido.
- Las emisiones de gases de efecto invernadero como los NO_x son muy reducidas. Además, no es necesario sistema de post-combustión, ofreciendo un beneficio ambiental muy considerable.

- Pueden operar con gran variedad de combustibles, como, por ejemplo, gas natural, biocombustibles, biogás, etc.

Se considera que 1 m³ de biogás utilizado como combustible en este tipo de equipos genera 2,8 kWh de energía eléctrica. Durante los meses de verano, la planta de biogás diseñada en este trabajo produce 47.559,5 m³ de biogás. Por lo tanto, se puede generar hasta un total de 133.166,6 kWh de energía eléctrica, que, siendo aprovechados para autoconsumo, suponen un beneficio tanto económico como ambiental para el centro ecuestre y la sociedad.

4.5.3. UPGRADING DE BIOGÁS PARA CONVERTIRLO EN BIOMETANO

Otra de las alternativas estudiadas es realizar un upgrading del biogás para convertirlo en biometano y así poder inyectarlo a la red de gas natural, utilizarlo como biocombustible par vehículos, etc. El biometano es una de las energías renovables más apreciadas en la actualidad por ser ecológico, renovable y sostenible.

Dicho upgrading es un proceso realizado al biogás para conseguir aumentar la concentración de CH₄ y separar el CO₂, se trata de un proceso de depuración y limpieza. El producto conseguido, biometano, es muy similar en composición, características, posibilidad de usos y potencial energético al gas natural, de ahí que se pueda inyectar posteriormente a la red. En el proceso de upgrading existen distintas técnicas de absorción: cambios de presión, uso de membranas, absorción de carbón activo, absorción química y métodos biológicos. El biometano producido se define como un gas natural renovable, es decir, una versión mejorada y refinada del biogás. En este tipo de procesos también se podría llegar a contemplar la valorización del CO₂ separado, así como su licuefacción para facilitar la venta y el transporte.

El biometano puede ser utilizado para generar electricidad, alimentar sistemas de calefacción, como biocombustible para vehículos, para combustión en motores de generación y para ser inyectado a la red de gas natural. Esta última alternativa supone una considerable revalorización del biocombustible renovable y de origen natural. No obstante, para inyectar el biometano en la red de gas natural, este tiene que estar adecuadamente depurado para poder alcanzar una serie de requerimientos de calidad idénticos al gas natural, cumpliendo con los estándares de calidad normativizados y regulados. Dicha depuración consiste en:

- Eliminación de H₂S, H₂O, CO₂ y otras partículas sólidas. Al reducir dichos compuestos, por causa-efecto se produce un aumento significativo del porcentaje de CH₄.
- Medición y control de la densidad de energía, índice de Wobbe y presión hasta los niveles exigidos.
- Se debe alcanzar un determinado poder calorífico, teniendo que agregar a veces propano.
- Se le agrega un olor característico.

Otra de las aplicaciones del biometano es propulsar vehículos mediante Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Natural Licuado (GNL). El primero es gas natural almacenado a altas presiones, compuesto principalmente de metano. El segundo es gas natural en fase

líquida y a una temperatura de -160°C , considerado gas criogénico y con un porcentaje de metano alrededor del 95%.

El gran problema de esta alternativa es el elevado coste tanto de la planta de upgrading como de la conexión a la red de gas natural. Además, la planta diseñada tiene un caudal de $10,85\text{ m}^3/\text{h}$, lo que la convierte en una planta de pequeña escala. Casi todos los fabricantes realizan proyectos de plantas de upgrading con caudales mayores a $50\text{ m}^3/\text{h}$, ya que, por debajo de esa cifra, no tiene viabilidad desde el punto de vista económico porque no se produce suficiente biogás para compensar los elevados costes. Sin embargo, una startup está trabajando en proyectos de upgrading de biogás a biometano a pequeña escala. Actualmente, han escalado y desarrollado la primera planta industrial demo. Tras unas conversaciones con los fundadores de la empresa, estos afirmaron que técnicamente no habría problema en implementar su proceso de upgrading en el Centro Ecuestre Alameda del Pardo junto a la planta de biogás, logrando la calidad para inyección según la normativa establecida.

Por todo lo comentado anteriormente, se concluye que a priori y con las tecnologías existentes, realizar un proceso de upgrading de biogás a biometano no tiene sentido en plantas de pequeña escala como la diseñada en este trabajo. Sin embargo, resulta una propuesta muy interesante a nivel teórico y desde el punto de vista desde la sostenibilidad, ya que se promueve el uso de la economía circular y se combate contra el uso masificado de los combustibles fósiles.

4.6. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

Una vez se ha diseñado el digester anaerobio y se ha planteado el uso del exceso de biogás para calentar las instalaciones del centro ecuestre en invierno y para generar energía eléctrica en verano, se debe realizar la valoración económica del proyecto. Dicha valoración podría hacerse teniendo en cuenta el coste de cada uno de los equipos de la instalación de biogás para así poder obtener un presupuesto más ajustado. Sin embargo, en este trabajo se ha optado por no entrar en tanta profundidad y el coste de la instalación se va a obtener comparándola con otros proyectos donde se haya realizado este tipo de análisis. Además, se calculará cuantos años son necesarios para rentabilizar la inversión.

Para hacer dicha valoración, se realizará un análisis del valor actual neto (VAN) y se calculará la tasa interna de retorno (TIR). Para ello, en el año actual (año 0), se computa el coste de la instalación, es decir la inversión inicial. Además, se tendrán en cuenta los costes anuales de mantenimiento y operación. La instalación como tal no tiene ingresos, si no que se consigue eliminar por completo la factura del gas para la calefacción del centro. Dicho importe se considera un ingreso anual para poder hacer el análisis. Se ha decidido que el ciclo de vida de la planta es 25 años.

Como se ha comentado anteriormente, el coste de la instalación de biogás se va a calcular comparando la planta diseñada con otra ya existente cuya inversión es conocida. Para ello, se ha utilizado el documento elaborado por el Ministerio De Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, llamado “El sector del biogás agroindustrial en España”. En dicho documento, se realiza la valoración económica de varias plantas de biogás que utilizan diferentes subproductos agroindustriales como alimentación para el digester. Tras analizar dichas valoraciones, se concluye que todas ellas tienen el mismo coste de inversión, siendo este, función únicamente de la cantidad de subproducto alimentado al

digestor. Así, las plantas del documento son alimentadas anualmente con 100.000 m³ de subproductos agroindustriales y tienen un coste de 2.400.000 € (Marino, 2010). Particularizando para el digestor diseñado en este trabajo, este es alimentado con 1.314 m³ de sustrato anualmente. De esta forma, con una simple regla de tres, la planta diseñada para el Centro Ecuestre Alameda del Pardo tendrá un coste aproximado de 31.536 €. En este mismo documento, establecen que los costes de mantenimiento y operación se calculan aproximadamente como un 4% del coste de la inversión (Marino, 2010). De este modo, dichos costes se estiman en 1.261,4 € anuales. Además, al utilizar el biogás para producir energía eléctrica renovable, es necesario instalar una microturbina que permita este tipo de aprovechamiento. Para calcular el coste de esta, se ha realizado el mismo procedimiento que con la planta de biogás. En el documento comentado anteriormente, también se establece el coste de inversión de un cogenerador. Dicho coste es función únicamente de la potencia eléctrica instalada, que se calcula dividiendo la generación de energía eléctrica calculada entre las horas de funcionamiento. Así, siendo la energía eléctrica 133.166,6 kWh y las horas de funcionamiento 7500 h, se obtiene una potencia eléctrica instalada de 17,75 kW. En el documento se establece que el coste de un cogenerador de 404 kW es 300.000€ (Marino, 2010), por lo tanto, utilizando una regla de tres, un cogenerador de 17,75 kW tendrá un coste de 13.180,7 € aproximadamente.

Por otro lado, en apartados anteriores se calculó la potencia calorífica necesaria para calentar las instalaciones del centro ecuestre. Dicha potencia es de 29.847,2 kcal/h. Para poder realizar el cálculo de la factura, se debe calcular el número de kcal anuales. Se ha optado por solo tener en cuenta los meses en los que la calefacción está encendida, siendo estos un total de 6 meses, desde noviembre hasta abril, incluidos ambos. De esta forma, se obtiene un total de 181 días, es decir, 2.896 horas (teniendo en cuenta que la calefacción está puesta 16 horas al día) y, por lo tanto, 86.437.491,2 kcal anuales. Después, este dato debe convertirse en kW·h, dando lugar a 100.459,6 kW·h. El precio del gas natural en la tarifa regulada a partir del 1 de abril de 2023 es de 0,04471 €/kW·h. Finalmente, al multiplicar el precio del gas natural por la cantidad consumida anualmente, se obtiene un total aproximado de 4.500 €. Se podría plantear la venta de electricidad al mercado eléctrico, pero en este trabajo se opta por utilizar la energía eléctrica generado para autoconsumo del centro ecuestre.

Para la tasa de descuento, tras consultar otros proyectos de este tipo donde se realiza una evaluación económica del proyecto en más profundidad, se ha optado por un valor de 4%.

De esta forma, se obtiene un VAN de 5.651 € y una TIR de 5,21%. Para saber en cuántos años se amortiza la inversión, se debe calcular el payback period. Este indicador se calcula dividiendo la inversión inicial entre el flujo de caja anual. De esta forma, siendo el flujo de caja anual 3.238,6 €, y la inversión inicial 44.716,7 € (teniendo en cuenta la planta de biogás y la microturbina), el payback period es de 14 años aproximadamente.

5. ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

Tras haber realizado la propuesta de revalorización de residuos y mejoras para reducir los impactos, se debe hacer un segundo estudio de los impactos ambientales del centro ecuestre. En este estudio se deben tener en cuenta los resultados obtenidos en el anterior apartado, resumidos básicamente en el uso del estiércol generado por los caballos para la generación de biogás, que más tarde será utilizado como fuente de energía térmica para calentar las instalaciones del centro y para generar energía eléctrica a través de una microturbina. A su vez, se debe destacar la construcción de la planta de biogás en el terreno del centro, junto a todos los equipos necesarios para su generación.

Para realizar este segundo y último estudio de impactos ambientales, se vuelve a utilizar el método expuesto por el autor D. Domingo Gómez Orea en su libro llamado "Evaluación de impacto ambiental". Dado que dicho procedimiento ha sido explicado al detalle con anterioridad en uno de los apartados del proyecto, se opta por proceder directamente con la valoración de los impactos sobre el medio ambiente.

5.1. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE CON LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS

Como ya se ha comentado, esta nueva valoración de los impactos se debe hacer teniendo en cuenta las medidas implementadas en la anterior sección, para así poder comprobar si los impactos más perjudiciales han disminuido con respecto al caso inicial. Cabe destacar que para la valoración no se tiene en cuenta el periodo de construcción de la planta de biogás, sino que, simplemente se analizan los impactos que puede tener esta durante la explotación.

5.1.1. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Los impactos que han sido identificados como perjudiciales para la calidad del aire son: incremento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y la emisión de olores generados por la actividad de los caballos. A continuación, se detalla la valoración de cada uno de los impactos.

5.1.1.1. EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

En este caso, gracias a la planta de biogás instalada, se logra reducir en gran medida la emisión de gases contaminantes a la atmósfera ya que se utilizará biogás para calentar las instalaciones del centro ecuestre y para producir electricidad que será aprovechada para autoconsumo en el propio centro ecuestre. Al no almacenar el estiércol en un espacio abierto como se hacía antes, también se reducen las emisiones de gases contaminantes

procedentes del estiércol, ya que, en este caso, el estiércol se lleva directamente al digestor.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** dado que su emisión se produce directamente a la atmósfera y por consiguiente al aire, se le asigna un valor de 3, correspondiente a efecto directo o primario con repercusión inmediata.
- **Acumulación:** se ha decidido reducir este aspecto dado que se logra reducir en gran medida los gases emitidos con las medidas implementadas. Por lo tanto, se asigna un valor de 1.
- **Momento:** el efecto de estos gases es inmediato, por ello el valor es de 3.
- **Persistencia:** la alteración sobre la calidad del aire y la atmósfera es temporal, pudiendo ser eliminada con el cese de dichas emisiones. Valor 1.
- **Reversibilidad:** se corrige el valor a 1 ya que se consigue reducir las fuentes de emisión de gases al mínimo posible, estos solo provendrían de los vehículos de los clientes o de los usados por el personal del centro.
- **Recuperabilidad:** se reduce el valor a 1 ya que se utilizan combustibles alternativos para producir electricidad y calor. Dicho combustible es el biogás.

5.1.1.2. EMISIÓN DE OLORES POR LA ACTIVIDAD DE LOS CABALLOS

Gracias a la planta de biogás diseñada, no hace falta almacenar el estiércol en un contenedor hasta que a final de semana este sea recogido por una tercera persona para llevarse. En este caso, el estiércol es recogido de los boxes de los caballos e introducido en el digestor para ser digerido. Por lo tanto, se reducen los malos olores que pudiese originar este residuo hasta el punto de poder eliminarlos por completo.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** dado que se prevé una eliminación de malos olores, se asigna un valor de 1.
- **Acumulación:** en este caso solo afecta al aire, siendo la acumulación simple, asignándole un valor de 1.
- **Momento:** al eliminarse los malos olores se asigna un valor de 1.
- **Persistencia:** dado que con la implementación de medidas el estiércol una vez es recogido se lleva al digestor para introducirlo, se asigna un valor de 1.
- **Reversibilidad:** el efecto es asimilado a corto plazo, siendo poca la gravedad que supone. Valor 1.
- **Recuperabilidad:** gracias a la planta de biogás se debe hacer una recogida periódica del estiércol, introduciéndolo inmediatamente al digestor. Valor de 1.

5.1.2. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD ACÚSTICA

En cuanto a los impactos que perjudican a la calidad acústica, se ha identificado únicamente el ruido generado por la maquinaria usada en el centro para poder desarrollar su actividad y el generado por los vehículos de los clientes en su entrada y desplazamiento por el centro. Se descarta que el ruido generado por los caballos pueda deteriorar la calidad acústica ya que es casi despreciable. En este caso, el impacto sobre la calidad acústica no se ve afectado por la implementación de las propuestas realizada anteriormente.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** el efecto producido sobre la calidad del sonido es inmediato. Valor de 3.
- **Acumulación:** afecta únicamente a la calidad acústica y por tanto la acumulación es simple, asignándole un valor de 1.
- **Momento:** el efecto es notable a corto plazo, inmediatamente el ruido es producido. Se asigna un valor de 3.
- **Persistencia:** al tratarse de un efecto que cesa cuando la actividad del centro concluye, sobre las 21.00 horas, se considera temporal y por tanto el valor es de 1.
- **Reversibilidad:** se ha decidido considerar que este impacto es reversible a medio plazo los causantes de este ruido podrían disminuirlo o minimizarlo a través de maquinaria más silenciosa y vehículos eléctricos, ambas alternativas siendo cada vez más utilizadas, pero con recorrido todavía. Valor de 2.
- **Recuperabilidad:** en este caso se le ha asignado un valor de 1, pudiendo ser eliminado o reemplazado por la acción humana fácilmente a través de las soluciones comentadas anteriormente.

5.1.3. IMPACTOS SOBRE EL SUELO

Durante la explotación del centro ecuestre pueden producirse filtraciones en el suelo debido a posibles vertidos accidentales de fluidos contaminantes o a los excrementos de los caballos (estiércol). Dichos impactos hacen que la calidad del suelo en el que se emplaza el CEAP se vea deteriorada. A su vez, el terreno puede verse compactado por el pisoteo de los caballos, además de la pérdida de suelo permanente que suponen las edificaciones del centro.

5.1.3.1. FILTRACIONES EN EL SUELO POR VERTIDOS ACCIDENTALES O ESTIÉRCOL

Como ya se ha comentado anteriormente, ya no es necesario almacenar el estiércol producido por los caballos durante una semana, sino que, es introducido de manera continua en el reactor. Por ello, se reducen las posibles filtraciones en el suelo procedentes de este residuo.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** dado que las filtraciones requieren cierto tiempo para producirse, es decir no son exactamente inmediatas, se le ha asignado un valor intermedio de 2.
- **Acumulación:** al reducir las posibles filtraciones en el suelo procedentes del estiércol, la acumulación es considerada como simple. Valor de 1.
- **Momento:** el impacto de estas filtraciones se puede apreciar a medio plazo ya que es un proceso que requiere tiempo. Valor de 2.
- **Persistencia:** al conseguir prácticamente eliminar las filtraciones del estiércol, la afección se considera temporal. Por ello se ha asignado un valor de 1.
- **Reversibilidad:** al ser un impacto muy ocasional, se considera reversible a corto plazo. Valor de 1.
- **Recuperabilidad:** se trata de un impacto que fácilmente puede ser eliminado por el ser humano mediante inspecciones periódicas de la maquinaria y especial cuidado por parte de los empleados del centro ecuestre. Valor de 1.

5.1.3.2. PÉRDIDA DE SUELO PERMANENTE Y COMPACTACIÓN

La edificación de las instalaciones del CEAP en el terreno de Los Montes del Pardo, suponen una pérdida permanente del suelo del lugar. De esta manera, se modifica por completo el drenaje interno y superficial del terreno. También, el pisoteo de los caballos sobre el suelo produce una compactación de este, reduciendo su capacidad para absorber las precipitaciones, y, por lo tanto, aumenta la escorrentía y la erosión. Además, las plantas tienen problemas para crecer en este tipo de suelos.

Dado que se debe construir la planta de biogás sobre el terreno del CEAP, este impacto debería aumentar ligeramente por ocupar más suelo, compactándolo y perdiendo dicho suelo permanente, pero se ha decidido no modificar los valores dado que la planta de biogás no requerirá un espacio excesivamente grande.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** se trata de un impacto directo sobre el terreno. Valor de 3.
- **Acumulación:** simple, ya que no induce efectos secundarios sobre ningún otro componente medioambiental. Valor de 1.
- **Momento:** el impacto se puede apreciar a corto plazo sobre el suelo. Valor de 3.
- **Persistencia:** como se ha comentado anteriormente, este impacto daña el terreno de manera permanente, tanto a través de las edificaciones como por la compactación (es un efecto muy recurrente). Valor de 3.
- **Reversibilidad:** dado que se trata de una pérdida permanente, este impacto no puede ser asimilado por procesos naturales. Valor de 3.
- **Recuperabilidad:** de igual manera, la pérdida de suelo es permanente y, por lo tanto, de ninguna forma puede recuperarse a través de la acción natural o humana. Valor de 3.

5.1.4. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La explotación y actividades del centro pueden afectar negativamente a la calidad de las aguas superficiales del terreno en el que se encuentra edificado. Cabe destacar que el mero hecho de consumir agua es un impacto negativo sobre este componente medioambiental al tratarse de un recurso limitado en el planeta. Hoy en día la contaminación de las aguas es un asunto que tratar delicadamente por su importancia en la vida de los seres vivos. Las principales afecciones identificadas son: vertido de productos químicos o aceites procedentes de la maquinaria usada en el centro y generación, gestión y almacenamiento de los estiércoles de los caballos. En relación con el estiércol, el aspecto más preocupante es la generación de lixiviados que puedan discurrir hacia dichas aguas superficiales.

Al introducir casi de manera instantánea el estiércol generado por los caballos en el digestor anaerobio, se reduce significativamente la probabilidad de generación de lixiviados que lleguen a las aguas superficiales, así como cualquier otro tipo de fluido derivado de este residuo.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** en este caso, se ha considerado que el impacto de estas afecciones no es exactamente inmediato ya que requiere cierto tiempo para alcanzar las aguas superficiales de la zona. A pesar de ello, como tiene un efecto directo, se le ha asignado un valor de 2.
- **Acumulación:** cuantos más contaminantes tengan las aguas superficiales, más grave es este impacto, pero debido a que se consigue reducir las fuentes que emiten esos contaminantes gracias al digestor anaerobio, se le asigna un valor de 2.
- **Momento:** se trata de un impacto a corto plazo, actuando en menos de un año desde que la afección es producida. Valor de 3.
- **Persistencia:** eliminar este tipo de sustancias de las aguas superficiales requiere tiempo, pero no puede considerarse una afección permanente. Valor de 2.
- **Reversibilidad:** al minimizar los contaminantes que llegan a las aguas superficiales, se asigna un valor de 1.
- **Recuperabilidad:** si se presta la atención y cuidado necesario, además de una buena gestión del estiércol, puede llegar a ser eliminado por la acción humana fácilmente. Valor de 1.

5.1.5. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

La explotación y actividades del centro pueden afectar negativamente a la calidad de las aguas subterráneas del terreno en el que se encuentra edificado. Para poder llevar a cabo un mejor análisis de este impacto se debería hacer un estudio de las aguas subterráneas de la parcela en la que está construida el centro, pero esto escapa de los objetivos y alcance del proyecto. Aun así, es importante tener en cuenta la contaminación que puede existir sobre este tipo de hidrología, pudiendo ser causada por la percolación de las mismas afecciones expuestas en el apartado anterior (productos químicos, aceites o lixiviados del estiércol). Además, de existir acuíferos en dicha zona, la tasa de recarga

de estos se vería probablemente disminuida debido a la ocupación del suelo por las instalaciones del CEAP.

De igual manera que con las aguas superficiales, gracias a la planta de biogás, se consigue reducir considerablemente el tiempo que el estiércol de los caballos está en contacto con el terreno, y, por tanto, se minimiza la percolación de los lixiviados y otros fluidos.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** valor de 2.
- **Acumulación:** valor de 2.
- **Momento:** valor de 3.
- **Persistencia:** valor de 2.
- **Reversibilidad:** valor de 1.
- **Recuperabilidad:** valor de 1.

Las explicaciones de porqué se han elegido estos valores son exactamente iguales que las expuestas para los impactos sobre la hidrología superficial. Por ello, se ha procedido simplemente a presentarlos directamente.

5.1.6. IMPACTOS SOBRE LA FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La fauna y flora que habitan en los alrededores del centro ecuestre pueden verse gravemente perjudicadas por diferentes motivos. En este caso, se ha decidido agruparlos y analizarlos conjuntamente. Las afecciones más remarcables son: posible proliferación de insectos que pueden transmitir enfermedades de manera directa a la fauna, incremento de los niveles sonoros en su hábitat y cambios en la vegetación. Modificar el hábitat de la fauna y flora autóctonas de la zona puede acabar con su presencia.

Al introducir directamente el estiércol generado por los caballos en el digestor, se logra reducir el contacto de este residuo con los insectos que habitan en la zona del centro ecuestre.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** valor de 2 ya que el efecto sobre la fauna y los demás componentes no es del todo inmediato si no que requiere de tiempo.
- **Acumulación:** se ha optado por considerar que es complicado que este impacto tenga una gravedad considerable sobre los factores expuestos anteriormente. Valor de 2.
- **Momento:** se consigue eliminar una fuente de proliferación de insectos como es el estiércol de los caballos. Por ello, se asigna un valor de 2.
- **Persistencia:** se ha optado por un valor de 2, ya que, la transmisión de enfermedades tiene una duración indefinida pero las demás afecciones son temporales.
- **Reversibilidad:** se considera que puede ser asimilado por procesos naturales a corto plazo (si llegasen a acostumbrarse los animales a la acción humana), valor de 1.

- **Recuperabilidad:** con las medidas veterinarias pertinentes se puede llegar a controlar y recuperar la fauna, además de que el ruido puede ser minimizado y el impacto sobre la flora es mínimo. Valor de 1.

5.1.7. IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE

Debido a la mera presencia de las instalaciones del centro ecuestre se modifica la estructura del paisaje, alterando visualmente el medioambiente de Los Montes del Pardo.

Al tener que construir la planta de biogás, aumenta el número de instalaciones del centro, teniendo así un mayor impacto sobre el paisaje, ya que se construyen edificaciones donde antes había terreno natural. De igual manera que con el impacto procedente de la pérdida de suelo permanente y compactación, la instalación de biogás no ocupará un terreno excesivamente grande y se buscará minimizar el impacto sobre el paisaje. Por ello, se opta por no modificar este impacto.

- **Signo:** negativo.
- **Inmediatez:** como era de esperar, el efecto sobre el paisaje es inmediato y perceptible fácilmente. Valor de 3.
- **Acumulación:** valor de 2 ya que la gravedad no aumenta con el tiempo.
- **Momento:** como ya se ha dicho, el impacto sobre el paisaje es notable desde el primer momento, valor de 3.
- **Persistencia:** temporal, ya que en cuanto las instalaciones sean destruidas el impacto desaparece. Valor de 1.
- **Reversibilidad:** en este caso se trata de un impacto reversible a largo plazo o directamente irreversible si no se demuelen las instalaciones. Valor de 3.
- **Recuperabilidad:** se puede intentar mimetizar al máximo las instalaciones con el entorno, a pesar de esto el impacto no desaparece. Valor de 2.

5.1.8. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO SOCIOECONÓMICO

Aunque el foco del estudio de impactos ambientales se ha puesto sobre aquellos que potencialmente pueden dañar el medioambiente, se considera necesario analizar el impacto que tiene la explotación del Centro Ecuestre Alameda del Pardo sobre el medio socioeconómico. En este caso, se trata de un impacto de signo claramente positivo ya que las actividades llevadas a cabo benefician de forma económica o social a la población de los alrededores del centro ecuestre y a sus clientes. Cabe destacar que no se pueden asignar valores a este impacto ya que los atributos comentados en las secciones anteriores aplicaban exclusivamente a impactos negativos. Por lo tanto, se han identificado los siguientes aspectos que contribuyen a la mejora del medio socioeconómico:

- **Creación de empleo:** el CEAP da trabajo a 19 personas directamente, estando 10 de ellas contratadas y 9 son autónomos que colaboran en la enseñanza de la hípica. Además, debe tenerse en cuenta el trabajo indirecto que el centro proporciona a los profesionales, como, por ejemplo, un trabajador debe ir cada semana a recoger el estiércol generado en el centro

y transportarlo a otro lugar para que sea tratado, o servicios de fontanería, electricidad, etc. De esta forma, las diferentes actividades realizadas en el centro colaboran a reducir un problema de tanta importancia en España como es el paro.

- **Actividades de ocio, deportivas y equinoterapia:** muchos de los servicios ofrecidos en el centro están orientados a que los clientes se diviertan, hagan deporte y puedan conectar de una forma más pura con la naturaleza. No cabe duda de que estas actividades benefician socialmente a las personas, algo tan necesario hoy en día, dado que cada vez la tecnología como los smartphones o las videoconsolas ocupa la mayor parte del tiempo de los más jóvenes. De igual manera, aunque ya se ha comentado anteriormente, la equinoterapia ayuda a rehabilitar y tratar a personas con discapacidades de muchos tipos, contribuyendo de esta manera al bien de la sociedad.
- **Implementación de una planta de biogás a pequeña escala:** este aspecto beneficia al medio socioeconómico de diversas formas. Por un lado, contribuye a la creación de empleo ya que, tanto durante la etapa de construcción como durante la explotación de la planta, es necesario contratar a personal ajeno al centro para realizar labores de mantenimiento, monitorización, etc. Por otra parte, la implementación de la planta supone un gran beneficio social al promover una transición hacia alternativas energéticas más sostenibles. Además de darle un uso al estiércol que de otra manera sería desperdiciado. El CEAP debe servir de ejemplo para todas las instalaciones de este tipo que quieran luchar contra el cambio climático y proteger el medio ambiente.

5.2. RESUMEN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS

A continuación, se adjunta una tabla a modo de resumen en la que se muestra la valoración de los impactos ambientales del centro, después de implementar las medidas propuestas para hacer el centro ecuestre más sostenible y hacer uso de la economía circular. En ella se puede apreciar los distintos cambios derivados de la instalación de la planta de biogás.

Íñigo Rodríguez Armajach
ESTUDIO DE IMPACTOS AMBIENTALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

IMPACTO	S	I	A	M	P	Rv	Rc	I_{tip}	I_{max}	I_{min}	I_{est}	Ctg IMPACTO
<u>CALIDAD DEL AIRE</u>												
Emisión de gases contaminantes	-	3	1	3	1	1	1	16	30	10	0,3	MEDIO
Emisión de malos olores (caballos)	-	1	1	1	1	1	1	10	30	10	0,0	LEVE
<u>CALIDAD ACÚSTICA</u>												
Contaminación acústica por la maquinaria	-	3	1	3	1	2	1	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>SUELO</u>												
Filtraciones por vertidos accidentales o estiércol	-	2	1	2	1	1	1	13	30	10	0,15	LEVE
Pérdida de suelo permanente y compactación	-	3	1	3	3	3	3	24	30	10	0,7	GRAVE
<u>HIDROLOGÍA SUPERFICIAL</u>												
Contaminación de las aguas por productos químicos, lixiviados...	-	2	2	3	2	1	1	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA</u>												
Percolación de productos químicos, lixiviados...	-	2	2	3	2	1	1	18	30	10	0,4	MEDIO
<u>FAUNA, FLORA Y ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS</u>												
Transmisión de enfermedades por insectos, modificación del hábitat...	-	2	2	2	2	1	1	18	30	10	0,35	MEDIO
<u>PAISAJE</u>												
Presencia de las instalaciones	-	3	1	3	1	3	2	21	30	10	0,55	GRAVE
<u>MEDIO SOCIOECONÓMICO</u>												
Generación de empleo	+											
Actividades de ocio, deportivas y equinoterapia	+											
Implementación de planta de biogás	+											

Tabla 11. Resumen de la valoración de impactos ambientales con la implementación de las medidas.

5.3. CONCLUSIONES

Mediante el primer estudio de impactos ambientales se identificaron aquellas afecciones que eran más perjudiciales sobre el medio ambiente. Dichos impactos eran: pérdida de suelo permanente y compactación, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, emisión de gases contaminantes a la atmósfera e impacto sobre el paisaje producido por las instalaciones del centro. Gracias al nuevo estudio de impactos ambientales realizado teniendo en cuenta la implementación de las medidas propuestas, es decir, generación de biogás a través del estiércol generado por los caballos para calentar las instalaciones y producir energía eléctrica, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Gracias a la planta de biogás, se logra reducir el impacto medioambiental del centro de manera global. Se consigue reducir considerablemente todos los impactos identificados menos la pérdida de suelo permanente y compactación, impacto visual de las instalaciones y contaminación acústica. Dichos impactos son categorizados como excepciones, ya que el mero hecho de que el centro este construido sobre el suelo y un terreno rural, y la propia actividad del centro, hacen que estas afecciones sean prácticamente imposibles de reducir. La única forma de reducir estos impactos sería eliminando las instalaciones del centro.

La emisión de gases contaminantes pasa a considerarse como un impacto medio, siendo antes de la implementación de las medidas grave. Esto se debe a que el estiércol pasa a almacenarse en un tanque cerrado, minimizando la emisión de gases procedentes de este residuo y a que las instalaciones del centro ecuestre pasan a calentarse mediante una caldera que quema biogás y se genera electricidad a través de una turbina que utiliza el biogás como recurso. De esta forma, se utiliza una fuente de energía renovable, limpia y sostenible.

De igual manera, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas pasa de tener un impacto grave a tener un impacto medio. Esto es debido a que al introducir casi de manera instantánea el estiércol generado por los caballos en el digestor anaerobio, se reduce significativamente la probabilidad de generación de lixiviados que lleguen a las aguas superficiales y subterráneas, así como cualquier otro tipo de fluido derivado de este residuo. A su vez, se minimiza la percolación de los fluidos producidos por el estiércol.

Se elimina por completo el impacto de emisión de malos olores derivados del estiércol ya que, en este caso, dicho residuo es introducido al reactor sin tener que estar expuesto al medio ambiente.

Las filtraciones por vertidos accidentales o estiércol pasan de ser un impacto grave a ser un impacto leve, siendo el impacto que más se reduce. Al igual que los otros casos, se debe a que, gracias a la planta de biogás, el estiércol prácticamente no se encuentra en contacto con el terreno y por lo tanto se minimizan las filtraciones procedentes de este residuo.

Por último, la implementación de la planta de biogás supone un nuevo impacto muy positivo al medio socioeconómico. La planta contribuye a la creación de empleo, al beneficio social al promover una transición hacia alternativas energéticas más sostenibles y se le da un uso a un recurso que sería desperdiciado en el mayor de los casos.

Por ello, se puede concluir que se logran reducir los impactos ambientales que tienen mayor potencial de dañar al medio ambiente, además de realizar una nueva aportación muy beneficiosa para el medio socioeconómico. Por otro lado, se logra cumplir uno de los objetivos más importantes de este trabajo, diseñar un centro ecuestre más sostenible que haga uso de la economía circular y que tenga el menor impacto medioambiental posible.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este apartado se ha dedicado exclusivamente para analizar los resultados del proyecto una vez se ha llevado a cabo el dimensionamiento de la planta de biogás, así como, el estudio de los impactos ambientales del centro ecuestre teniendo en cuenta la implementación de la planta. Este apartado se divide en dos secciones, por una parte, los resultados del diseño de la planta de biogás, y, por otra parte, los resultados de los estudios de impactos medioambientales. Además, se analizará la valoración económica de la planta.

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE BIOGÁS

Para poder analizar los resultados del dimensionamiento de la planta de biogás del centro ecuestre se debe recordar alguno de los datos utilizados a lo largo de este procedimiento. De acuerdo con la información proporcionada por el dueño del centro, el número de caballos que viven actualmente en el centro ecuestre es 120. Teniendo en cuenta que un caballo produce 23kg de estiércol diariamente, en el centro ecuestre se generan en total a diario 2760kg de estiércol, es decir, anualmente 1007,4 toneladas. Cabe destacar que el uso dado al estiércol sin la propuesta elaborada en este trabajo era nulo, ya que se almacenaba en una caja de camión y era recogido una vez a la semana por una empresa externa, teniendo el centro ecuestre que pagar por este servicio. Debido a su composición, el estiércol de caballo es un residuo considerado como bueno para poder hacer biogás a través de un digestor anaerobio.

En cuanto al biogás generado por la planta, este tiene un alto poder calorífico, siendo posible utilizarlo como fuente de energía térmica, eléctrica o inyectarlo en la red de gas natural tras llevar a cabo un upgrading. Una de las decisiones tomadas para hacer el diseño fue escoger el procedimiento expuesto por el autor Ricardo Isla de Juana en su libro “Proyectos de plantas de tratamientos de aguas”, en el que explica qué es la digestión anaerobia, las características, parámetros a controlar y cómo calcular los diferentes parámetros del digestor. Se eligió este método por ser razonablemente sencillo y acorde con un trabajo de fines académicos como este.

Desde el principio se planteó el diseño de un único digestor dadas las dimensiones del centro ecuestre y la cantidad de estiércol producido diariamente, más tarde se confirmaría esta hipótesis a través de los cálculos. El procedimiento propuesto por el autor exigía conocer una serie de parámetros de partida para poder empezar a hacer el diseño, expuestos en la Tabla 5. El tiempo de retención (20 días) y la reducción de volátiles (42%) fueron seleccionados según las indicaciones del libro. La altura cilíndrica se fijó en 3 metros, la altura del fondo cónico en 1 metro. Para el porcentaje de sólidos volátiles contenidos en el fango sin digerir, se optó por un 75% (Pérez Castellón & Reyes Aguilera, 2019). El caudal de fangos primarios se calculó a través de la cantidad de estiércol producida diariamente, la densidad de este y dividiéndolo entre las 24 horas del día. Finalmente, para los sólidos contenidos en los fangos primarios, se usó el porcentaje de masa seca en un kilo de estiércol de caballo, 33,3% (Pérez Castellón & Reyes Aguilera, 2019), y la cantidad de estiércol producida al día. Los resultados de cálculo pueden consultarse en la Tabla 6. Los más destacados son: 0,15 m³/h de fangos a digerir, volumen

del digestor 71,7 m³, diámetro interno del digestor 5,2 metros y 260,6 m³/d de gas producidos por la digestión.

A su vez, también era necesario realizar el balance térmico del digestor para poder determinar posteriormente el uso que se le iba a dar al biogás. En este caso, casi todos los parámetros de partida fueron escogidos según la recomendación del libro. La temperatura del aire y del suelo se fijó en 7°C, mientras que la del estiércol se fijó en 43,5 °C. Se optó por una altura enterrada de la virola de 0,5 metros y una altura de la cúpula de 1 metro. Finalmente, las pérdidas de calor en tuberías se estimaron en un 10% del calor real disponible del gas de digestión. Los datos se pueden observar en la Tabla 7.

Los resultados del cálculo del balance térmico se pueden consultar en la Tabla 8. En este caso, los más destacados son: calor teórico disponible del gas de digestión 54.283,2 kcal/h, calor real disponible del gas de digestión 35.284,1 kcal/h y finalmente, exceso de calor en las condiciones de cálculo de 32.293,2 kcal/h.

Una vez el digestor había sido diseñado, se le debía dar un uso al biogás generado. En esta línea, se optó por estudiar la posibilidad de aprovechar el exceso de calor del digestor para calentar las instalaciones del Centro Ecuestre Alameda del Pardo durante los meses de invierno y utilizar el biogás en verano para producir energía eléctrica y abastecer el centro. Para la primera propuesta era necesario calcular la potencia calorífica requerida para calentar el centro. Dicha potencia se estimó en 34.706,1 W o 29.847,2 kcal/h. Dado que el exceso de calor generado en el reactor es superior a la potencia calorífica necesaria, se puede satisfacer la demanda térmica del centro ecuestre durante los meses de invierno. En cuanto al uso del biogás como energía eléctrica, teniendo en cuenta que se considera que 1 m³ de biogás usado como combustible en una microturbina genera 2,8 kWh de energía eléctrica y 47.559,5 m³ de biogás generados durante los meses de verano, se pueden producir 133.166,6 kWh de energía eléctrica en ese periodo. Se obtiene una potencia instalada de la microturbina de 17,75 kW.

Otra de las posibilidades era realizar un upgrading del biogás para convertirlo en biometano y así poder inyectarlo en la red de gas natural. Tras analizar esta alternativa, se llegó a la conclusión de que económicamente no era viable, además de que, a tan pequeña escala, es un proceso que todavía está en vías de desarrollo.

En lo que respecta a la valoración económica del proyecto, se ha realizado un análisis del VAN y de la TIR, calculando además el payback period para ver en cuantos años se rentabiliza la inversión. El coste de inversión de la planta se calculó en 31.536€, con unos costes de mantenimiento y operación de 1.261,4€ anuales. El coste de inversión de la microturbina se estimó en 13.180,7€. Por otro lado, los ingresos anuales son de 4.500€, que corresponden a la eliminación de la factura del gas. Teniendo en cuenta que el ciclo de vida de la planta son 25 años y una tasa de descuento del 4%, se obtiene un VAN de 5.651€, una TIR del 5,21% y un payback period de 14 años aproximadamente. Dado que se obtiene un VAN positivo, tiene sentido llevar a cabo el proyecto ya que este generará beneficios en el futuro para el centro ecuestre. En cuanto a la TIR, es muy cercana a la tasa de descuento utilizada, lo que indica que no hay demasiado margen para que el proyecto sea rentable, pero si se cumplen las proyecciones estimadas, desde el punto de vista económico es un proyecto rentable. Si se produce algún cambio en las hipótesis propuestas, el VAN podría ser negativo o cercano a 0 y por lo tanto el proyecto debería desestimarse si se trata un análisis únicamente económico ya que generaría pérdidas. El payback period de una planta de biogás suele estar en torno a los 10 años, siendo en este caso ligeramente superior debido a que es una planta de pequeña escala en la que no se

comercializa ninguno de los usos de este gas, si no que se usará para consumo propio. De esta forma, la inversión inicial, planta de biogás y microturbina, se recuperará en 14 años, siendo el ciclo de vida de la planta 25 años, estando dentro de unos márgenes lógicos para este tipo de proyectos.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para realizar los estudios de impactos ambientales se ha utilizado el procedimiento expuesto por el autor D. Domingo Gómez Orea en su libro llamado “Evaluación de impacto ambiental”. Dicho método consiste en la asignación de una serie de valores que varían entre un máximo para el caso más desfavorable y un mínimo para el más favorable, después, se debe aplicar una fórmula y finalmente, en base a unas directrices se categoriza el impacto. Se debe tener en cuenta que solo se analizaron los impactos correspondientes a la explotación del centro.

Los elementos del medio ambiente que pueden ser perjudicados por la actividad del centro son: calidad del aire, calidad acústica, suelo, aguas superficiales y subterráneas, fauna, flora y espacios naturales protegidos y el paisaje. Dentro de estos elementos, los impactos identificados para cada caso son diferentes, teniendo en cuenta las distintas actividades del centro.

La manera más lógica de analizar los resultados de los estudios de impactos medioambientales es comparando ambos estudios. El primer estudio se realizó sin haber implementado en el centro ecuestre las medidas propuestas durante este proyecto. En dicho estudio, los impactos identificados como más graves, y, por lo tanto, con mayor potencial de perjudicar al medioambiente son: pérdida de suelo permanente y compactación, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. La hipótesis inicial era que estos impactos podían ser reducidos gracias a la implementación de una planta de biogás que aprovechara el estiércol generado por los caballos. Por otro lado, el impacto producido sobre el paisaje también fue considerado como grave, pero en este caso, dicho impacto no se podría reducir salvo que el centro ecuestre fuera desmantelado.

Los resultados obtenidos en el segundo estudio de impactos ambientales, habiendo implementado la planta de biogás fueron: la pérdida de suelo permanente y compactación mantiene su impacto de gravedad ya que las instalaciones del centro siguen estando edificadas sobre el terreno, y, por lo tanto afectando al suelo; el impacto sobre la hidrología superficial y subterránea reduce su gravedad a un valor medio, dado que ahora el estiércol es introducido casi de manera instantánea al digestor anaerobio cuando es expulsado por los caballos, minimizando así el contacto con el terreno; la emisión de gases contaminantes también pasa a ser de gravedad media, ya que se minimiza el tiempo de exposición del estiércol al aire; se elimina la emisión de malos olores al minimizar dicho tiempo; se reducen las filtraciones por estiércol al suelo ya que se minimiza el contacto del residuo con este; finalmente, la implementación de una planta de biogás en el centro ecuestre supone un impacto positivo al medio socioeconómico por diversos motivos, por ejemplo, supone una creación de empleo durante la construcción y explotación. Como ya se ha comentado anteriormente, hay ciertos impactos que no logran reducirse ya que la planta de biogás no aplica sobre ellos.

7. CONCLUSIONES

Por un lado, en el ámbito de revalorización de residuos, se le da un uso al estiércol generado por los caballos muy beneficioso para el medio ambiente. Si no fuese utilizado para generar biogás, el estiércol sería recogido sin darle ningún tipo de uso posterior debido a sus características. De esta forma, se consigue aumentar enormemente la sostenibilidad del Centro Ecuéstre Alameda del Pardo, haciendo uso de la economía circular. La planta de biogás diseñada puede lograr el objetivo de vertido cero de desperdicios al proporcionar valor a los mismos, en forma de energía y abonos, para así conseguir cerrar el ciclo del carbono.

Además, al utilizar el biogás generado por la planta para autoconsumo, tanto como energía térmica como energía eléctrica, hace que el centro ecuestre sea casi completamente sostenible, salvo por el suministro de electricidad durante los meses de invierno.

De igual manera, gracias a la generación de biogás, se promueve una transición hacia el uso de energías renovables que es necesaria para poder reducir o eliminar la dependencia sobre los combustibles fósiles que emiten una gran cantidad de gases contaminantes a la atmósfera, destruyendo el planeta.

Así, se consigue utilizar una de las tecnologías más innovadoras del panorama tecnológico para luchar contra el cambio climático, comprometiéndose de esta manera el centro con las directrices propuestas por el parlamento europeo.

A su vez, gracias a la revalorización de residuos, y consiguiente implementación de la planta de biogás, se logran reducir significativamente los impactos identificados como más perjudiciales para el medio ambiente. De este modo, el Centro Ecuéstre Alameda del Pardo puede ser un pionero de este tipo de alternativas para hacer el sector hípico más sostenible y comprometido con el medio ambiente, además de un ejemplo para otros centros del panorama nacional e internacional, al ser una propuesta rentable desde el punto de vista económico y muy beneficiosa tanto social como medioambientalmente.

Dado que el VAN es positivo y la TIR mayor que la tasa de descuento utilizada, se concluye que el proyecto de revalorización de residuos es rentable económicamente, generando beneficios en un plazo de 25 años. Además, el payback period es de 14 años aproximadamente, estando dentro de los valores lógicos de una instalación de este tipo. Aunque se trate de una inversión inicial razonablemente elevada, 44.716,7€, gracias al ahorro en la factura anual del gas (4.500€), el proyecto generará valor económico para el centro, y, por lo tanto, debe rotundamente llevarse a cabo.

Finalmente, la idea de realizar un upgrading del biogás para convertirlo en biometano e inyectarlo a la red de gas natural se descartó debido al elevado coste que tendría la inversión y la conexión a la red para una planta de biogás de tan pequeña escala como la diseñada en este trabajo.

Por otro lado, gracias al análisis de los resultados de las auditorías ambientales llevadas a cabo durante el proyecto, se puede concluir rotundamente que la planta de biogás del centro ecuestre reduce de manera considerable casi todos los impactos identificados durante estos estudios.

Además, se cumple uno de los objetivos propuestos inicialmente, identificar los impactos que más daño producen al medio ambiente y utilizar alguna de las tecnologías más innovadoras de hoy en día para paliar dichos efectos.

Se concluye que, gracias a la planta de biogás, los impactos reducen su gravedad en gran medida, incluso llegándose a eliminar por completo. Se debe comentar que la pérdida de suelo permanente, el impacto sobre el paisaje y la contaminación acústica no se logran reducir como estaba previsto en un primer momento ya que la planta de biogás no aplica a ninguno de estos impactos. La única alternativa para reducirlo o incluso eliminarlos sería dismantelar el centro ecuestre.

De esta forma, se comprueba mediante una auditoría ambiental cómo la implementación de una planta de biogás en un centro ecuestre es capaz de hacer que este sea más sostenible, reduciendo su impacto negativo sobre el medio ambiente, y, por lo tanto, ayudando a combatir el cambio climático.

8. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

En cuanto a la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se puede observar el compromiso llevado a cabo durante todo el proyecto con estos. La mayor contribución se ha realizado en torno a los objetivos 9, 12, 13 y 15:

- **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura.** Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la generación de biogás mediante residuos procedentes de los animales, en este caso estiércol de caballo, es una de las tecnologías más innovadoras y con mayor potencial de desarrollo en el futuro. Además, al utilizar el biogás generado en forma de energía térmica y energía eléctrica para autoconsumo, se fomenta la transición hacia las fuentes de energía renovables mediante tecnologías vanguardistas en el sector energético. No cabe duda de que el Centro Ecuéstre Alameda del Pardo puede ser uno de los pioneros en llevar a cabo este tipo de proyectos. De igual manera, se prevé que el ciclo de vida útil de la planta sea 25 años, lo que añade un valor extra al proyecto al no quedar las medidas propuestas obsoletas en un corto periodo de tiempo.
- **Objetivo 12: Consumo y producción responsables.** Al utilizar el biogás como energía térmica y eléctrica para autoconsumo, se promueve claramente el consumo y producción responsables. A su vez, se logra conseguir que la actividad del centro ecuestre sea sostenible, llevando a cabo una gestión y uso de los recursos comprometida con el medio ambiente para así poder protegerlo. Utilizar el estiércol generado por los caballos para producir biogás es un claro ejemplo de un uso sostenible de los desechos y una revalorización muy positiva de los residuos del centro.
- **Objetivo 13. Acción por el clima.** En los apartados anteriores queda evidenciado significativamente cómo el proyecto está completamente comprometido con la lucha contra el cambio climático y la protección del medio ambiente y el planeta. Se logra diseñar un centro ecuestre muy sostenible que usa una energía renovable para autoconsumo, reduciendo la dependencia sobre los combustibles fósiles para producir diferentes tipos de energía.
- **Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres.** Durante la elaboración del proyecto se ha promovido claramente la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, minimizándose gracias a la planta de biogás el impacto negativo del centro ecuestre sobre estos ecosistemas. A través del segundo estudio de impactos ambientales se puede observar esta contribución al objetivo tratado.

Por ello, el proyecto realizado ha superado con creces los objetivos propuestos en el inicio de este, logrando diseñar un centro ecuestre más sostenible, haciendo uso de la economía circular y contribuyendo en la lucha contra el cambio climático, gracias a una fuente de energía renovable en auge.

9. LÍNEAS FUTURAS

En cuanto a las líneas futuras a diseñar y estudiar, se ha identificado uno de los temas tratados durante el trabajo como principal objetivo: upgrading del biogás generado por la planta para convertirlo en biometano.

Como se ha repetido en varias ocasiones, el problema de esta propuesta es el elevado coste de la conexión a la red de gas natural y la instalación. Desde el punto de vista técnico y legal, no habría problema en realizar este tipo de proceso, aunque hoy en día, las empresas que se dedican a este sector están explorando como poder hacer un upgrading en plantas de pequeña escala como la diseñada para el Centro Ecuestre Alameda del Pardo para que sean rentables.

Otra de las opciones que se podrían valorar en un futuro es descartar la idea de inyectar el biometano en la red de gas natural, para poder aprovecharlo como biocombustible en los vehículos que se utilicen en el centro ecuestre. Así, el coste de la conexión sería suprimido, pero la rentabilidad de la propuesta dependería de la cantidad de combustible que se utiliza actualmente en dichos vehículos. Si hay varios vehículos en el centro que utilizan gasolina o gasoil y tienen un consumo anual elevado, al utilizar el biometano como alternativa podría ser rentable desde el punto de vista económico. Si el uso de los vehículos es reducido, entonces la inversión sería muy superior al ahorro que puede conllevar el uso del biometano.

Por tanto, como línea futura se plantea la instalación de una planta de upgrading de biogás a biometano, existiendo dos posibilidades de uso de este último, inyección a la red de gas natural o uso como biocombustible en vehículos. La consecución del proyecto dependerá de la rentabilidad económica que este dé al centro ecuestre.

10.BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, J. R. (12 de Abril de 2023). *Agromática*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/estiercol-de-caballo/>
- Bellido, A. (12 de Abril de 2023). *Sembrar100*. Obtenido de <https://www.sembrar100.com/estiercol/caballo/#:~:text=%C2%BFSab%C3%ADas%20que%20un%20caballo%20produce,para%20tu%20jard%C3%ADn%20o%20huerto.>
- Capstone Green Energy*. (20 de Junio de 2023). Obtenido de <https://www.capstonegreenenergy.com/products/energy-generation-technologies/capstone-microturbines/c65>
- Esperanza Hernández, L., & Sebastián Gómez, J. (28 de 06 de 2023). *CDT de Gas*. Obtenido de https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu5/4_Micro_turbinas.pdf
- Genia Bioenergy*. (12 de Julio de 2023). Obtenido de <https://geniabioenergy.com/descubre-el-upgrading-el-paso-entre-el-biogas-y-el-biometano/>
- Genia Bioenergy*. (14 de Mayo de 2023). Obtenido de <https://geniabioenergy.com/ventajas-de-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-estiercol-animal/>
- Genia Bioenergy*. (7 de Mayo de 2023). Obtenido de <https://geniabioenergy.com/que-es-la-digestion-anaerobica-y-sus-beneficios/>
- IDAE. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid.
- Isla de Juana, R. (2015). *Proyectos de plantas de tratamientos de aguas*. Bellisco.
- Iturbe, M. (21 de Junio de 2023). *Caloryfrio*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calefaccion-instalaciones-componentes/calcular-la-potencia-calorifica-para-una-casa-o-habitacion.html>
- J. A. Alburquerque, I. B.-C.-d.-I.-F. (2009). Co-composting an animal fatty-proteinaceous waste with a solid lignocellulosic by-product from the olive oil industry ('alperujo'). *Chemical Technology and Biotechnology*.
- Lorente Sistiaga, J. (2021). *Evaluación técnico económica de las plantas de biogás agroindustriales de Eslovenia y diseño de una planta centralizada tipo en base a la información recabada*. Madrid.
- Lorenzo Acosta, Y. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA*, 35-48.
- Marino, M. d. (2010). *EL SECTOR DEL BIOGÁS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA*.
- Naturgy*. (10 de Junio de 2023). Obtenido de https://www.naturgy.es/empresas/blog/microturbinas_a_gas_flexibilidad_para_sistemas_de_microcogeneracion

- Navarro Casado, M. (2015). *Estudio de impacto ambiental ordinario: instalaciones para club hípico en San Martín de Valdeiglesias*.
- News Soliclíma. (16 de Junio de 2023). Obtenido de <https://news.soliclíma.com/noticias/biomasa/microturbina-a-biogas-en-vertedero-de-basuras-urbanas>
- Orea, D. G. (2014). *Evaluación de impacto ambiental*. Mundi Prensa Libros.
- Pérez Castellón, E., & Reyes Aguilera, E. A. (2019). Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las excretas de ganado, caballo, cerdo y gallinaza para la generación de biogás. *Revista Científica de FAREM-Estelí*.
- Rynk, R. (2022). The composting handbook. En R. Rynk, *The composting handbook* (págs. 103-157). Elsevier.
- Trovant Technologies. (15 de Junio de 2023). Obtenido de <https://trovanttech.com/>
- Wheeler, E. &. (2009). *Horse stable manure management*. Pennsylvania.