



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Ciencias Ambientales.

Inventario de Odonatos de la Hoya de Huesca y
propuesta de una clave dicotómica para su clasificación.

Inventory of Odonates of the Hoya de Huesca and
proposal of a dichotomous key for their classification.

Autor:

Javier Villacampa Rubiella

Directora:

Rocío López Flores.

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
2025

Declaración de Autoría

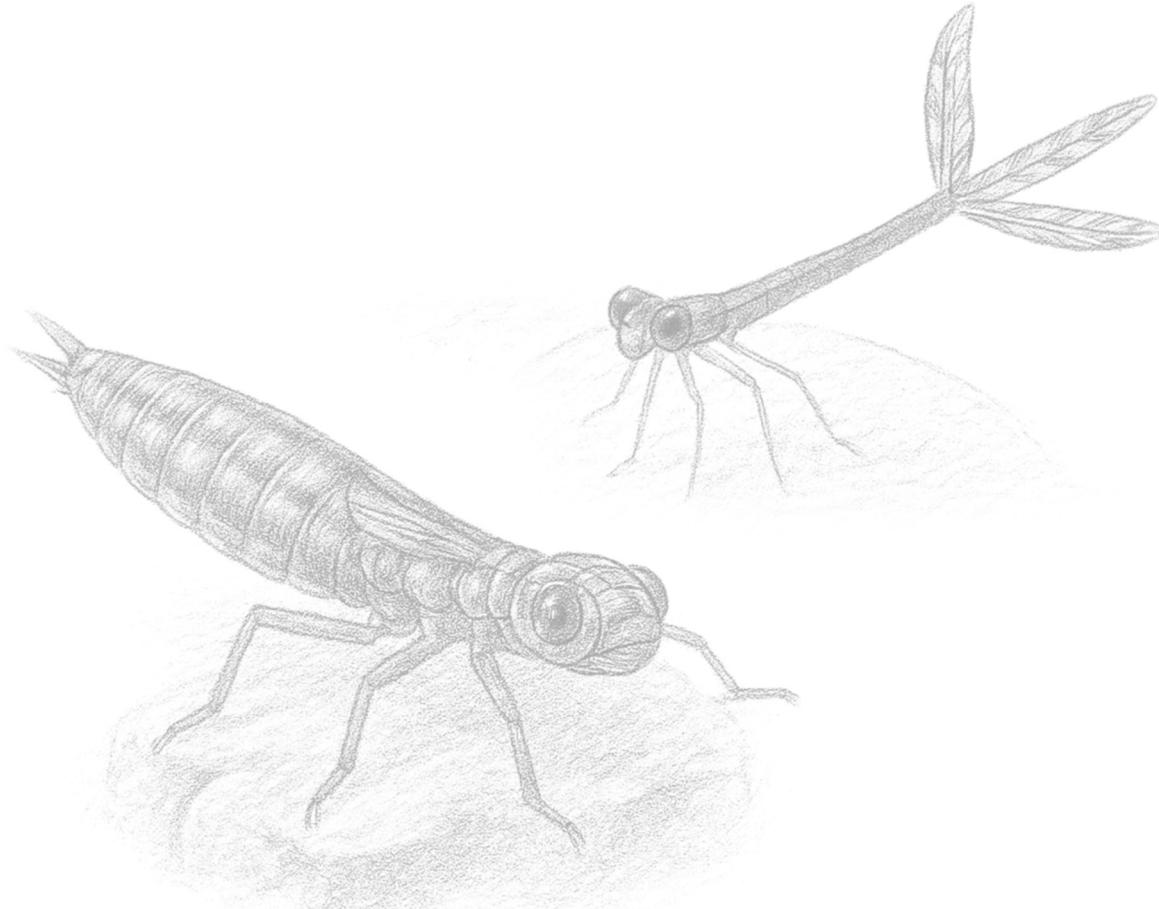
El Trabajo de Fin de Grado que presento para su exposición y defensa es original y todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Todas las figuras y tablas son originales y de autoría propia, a excepción de las ilustraciones de la portada y las incluidas entre saltos de sección (como la de esta misma página). Estas han sido elaboradas por el sistema de generación de imágenes que incorpora el modelo de inteligencia artificial GPT-4o (OpenAI, 2024), a partir de las premisas impuestas por el autor del trabajo.

Universidad de Zaragoza, EPSH.

Javier Villacampa Rubiella, a 15 de junio de 2025.

Firma:



Agradecimientos:

En especial a mis padres, citando textualmente a Vasco Ortiz (1998) “que han sabido soportar, no sin paciencia, las excentricidades de un hijo naturalista”.

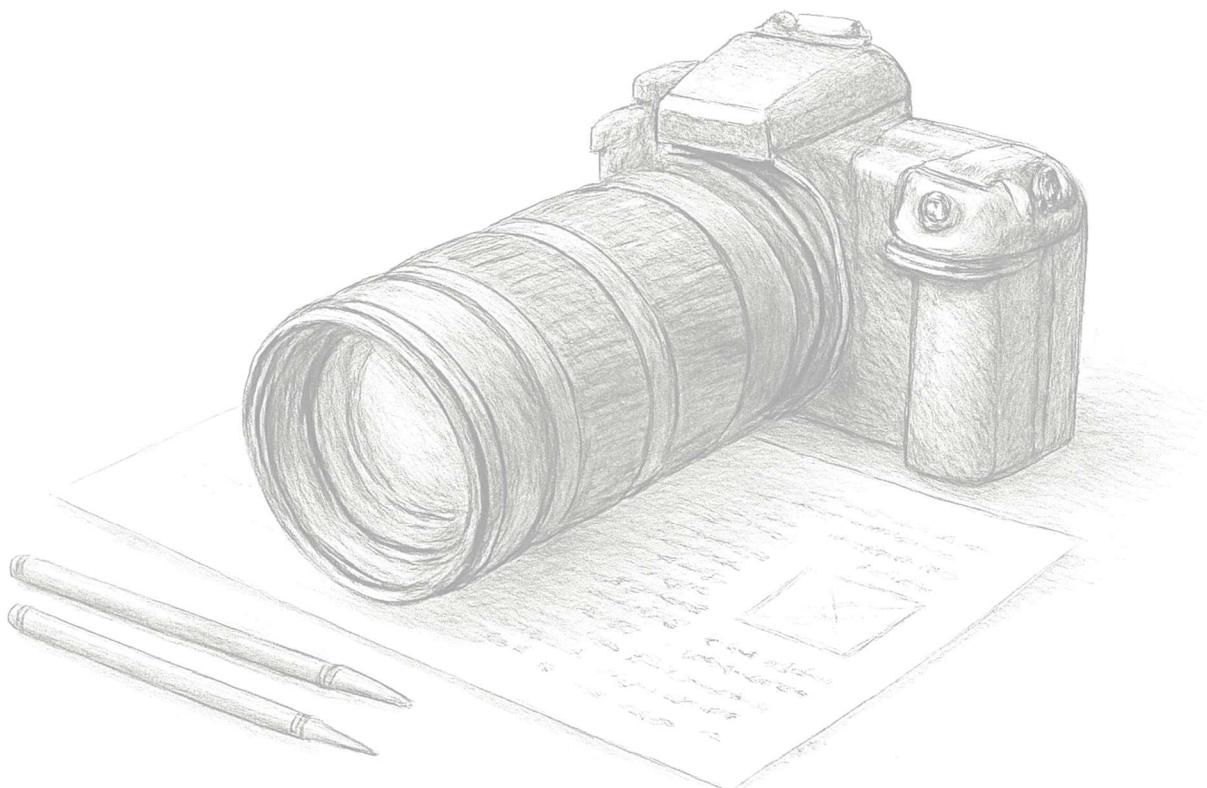
A mi tutora, Rocío, por apoyarme durante el desarrollo de este trabajo y sobre todo por no limitar el proceso creativo que ha permitido nacer la idea del inventario.

A todo mi círculo cercano, pareja, amigos y familiares. Por ver crecer este proyecto durante más de un año y apreciar cada versión de este, siempre con la misma ilusión con la que yo la he mostrado.

Por último y no menos importante, al personal docente de la EPSH, que han cultivado el sentimiento de hogar y familiaridad que me ha acompañado durante mi estancia en el centro.

Sin vosotros, este proyecto habría sido distinto.

~ Javi.



1. Índice:

1. Índice	3
2. Índice de figuras	4
3. Índice de tablas	5
4. Resumen	6
5. Palabras clave	6
6. Abstract	7
7. Keywords	7
8. Introducción	8
9. Objetivos	11
10. Área de estudio	12
11. Metodología	16
I. Trabajo de campo y toma de fotografías	16
II. Identificación y tratamiento de datos (Parte I: clasificación manual)	17
III. Identificación y tratamiento de datos (Parte II: aprendizaje guiado de IA)	19
IV. Elaboración del inventario y clave dicotómica de odonatos	21
12. Resultados	24
I. Resultados del muestreo y comparación con los antecedentes	24
II. Inventario y Clave Dicotómica de Odonatos de la Hoya de Huesca	34
III. Evaluación de las competencias desarrolladas por la Inteligencia Artificial	40
13. Discusión	57
I. Valoración de los resultados del muestreo y comparación con los estudios antecedentes (Torralba Burrial & Ocharan, 2008)	57
II. Potencial de la inteligencia artificial como herramienta supervisada en el campo de la taxonomía clásica y sistemática	61
14. Conclusión	64
15. Bibliografía	66

2. Índice de figuras

<i>Figura 1: Distintos niveles taxonómicos que incluyen al orden Odonata.</i>	8
<i>Figura 2: Ubicación del área de estudio dentro de la Península Ibérica.</i>	12
<i>Figura 3: Mapa de la Hoya de Huesca con los puntos de muestreo ubicados.</i>	15
<i>Figura 4: Diagrama representativo del tratamiento de datos.</i>	21
<i>Figura 5: Índice de E_{dicho}, propuesto por Van Sihn et al. (2017).</i>	23
<i>Figura 6: Número de visitas por punto.</i>	24
<i>Figura 7: Propiedades de la carpeta que almacena las fotografías de odonatos.</i>	25
<i>Figura 8: NMDS, 2004 frente a 2025.</i>	29
<i>Figura 9: ANOSIM, 2004 frente a 2025.</i>	30
<i>Figura 10: Ejemplo del ANEXO, página 3 extraída del glosario previo.</i>	35
<i>Figura 11: Ejemplo del ANEXO, página 43 extraída del inventario.</i>	36
<i>Figura 12: Ejemplo del ANEXO, página 61 extraída de la clave dicotómica.</i>	37
<i>Figura 13, extraída de la metodología.</i>	38
<i>Figura 14, resolución del Índice de E_{dicho}, propuesto por Van Sihn et al. (2017).</i>	38
<i>Figura 15: Cantidad de conocimientos memorizados por el modelo de IA.</i>	40
<i>Figura 16: Ejemplo del tipo de comandos memorizados por el modelo de IA.</i>	41
<i>Figura 17: Inicio del examen visual al que se ha sometido al modelo de IA entrenado.</i>	42
<i>Figura 18: Primera parte de la prueba visual, PASOS 1,2 y 3 (de 5).</i>	43
<i>Figura 19: Primera parte de la prueba visual, PASOS 4,5 y conclusión.</i>	44
<i>Figura 20: Primera parte de la prueba visual, principio de la justificación.</i>	45
<i>Figura 21: Primera parte de la prueba visual, final de la justificación.</i>	46
<i>Figura 22: Segunda parte de la prueba visual, fase de instrucción.</i>	48
<i>Figura 23: Prueba de aprendizaje del carácter memorizado, <i>Lestes sponsa</i>.</i>	49
<i>Figura 24: Comparación entre un modelo sin entrenamiento y el modelo tratado.</i>	51
<i>Figura 25: Ejemplo del apoyo del modelo de GPT 4-o a la hora de elaborar diadas.</i>	52
<i>Figura 26: Ejemplo del apoyo del modelo de GPT 4-o a la hora de elaborar diadas.</i>	53
<i>Figura 27: Capacidad para corregir de la IA, elaboración de la clave dicotómica.</i>	54
<i>Figura 28: Ejemplo de las evaluaciones rutinarias realizadas por la IA.</i>	55

3. Índice de tablas

<i>Tabla 1: Puntos de muestreo seleccionados, coordenadas en el sistema WGS 84</i>	14
<i>Tabla 2: Resultados del muestreo, Odonatos clasificados por taxón, sexo y ubicación.</i>	27
<i>Tabla 3: Comparación de las especies con presencia en la comarca.</i>	28
<i>Tabla 4: Cambios en las comunidades de odonatos en los últimos 27 años.....</i>	32
<i>Tabla 5: Valores de la clave propuesta para el cálculo del índice E_{dicho}.</i>	39



4. Resumen:

La importancia de realizar inventarios de especies radica en su capacidad para mostrar los cambios en las dinámicas poblacionales al compararse con los datos históricos existentes. Este hecho, sumado a la capacidad que tienen los odonatos para reflejar la salud del ecosistema que habitan, hacen de este tipo de estudios herramientas fundamentales a la hora de elaborar planes de gestión y conservación.

El estudio que se presenta a continuación se construye en torno a la elaboración de un inventario fotográfico actualizado de las especies de odonatos de la Hoya de Huesca, así como la creación de una clave dicotómica que permita su clasificación.

Los resultados obtenidos, cuya representatividad ha sido corroborada mediante distintos análisis estadísticos, sugieren una tendencia al cambio de las comunidades de odonatos comarcal. Este cambio en la estructura de la comunidad, cuyo motor principal se sospecha que es el Cambio Global y las presiones antrópicas que lleva asociadas, se traduce en un decrecimiento de los taxones más sensibles, principalmente del suborden *Zygoptera*.

De manera paralela al contenido ya mencionado, a lo largo de este estudio se introduce el uso de las tecnologías más actuales, entre las que destaca la inteligencia artificial (IA), como herramienta de apoyo para la taxonomía clásica.

El apoyo de esta tecnología, tanto como instrumento capaz de contribuir a la clasificación de especies como al tratamiento de los grandes volúmenes de información, la consolidan como una herramienta con gran potencial en el campo abarcado por este estudio, demostrando una alta eficiencia en el desarrollo y mejora de claves dicotómicas.

El producto final de este trabajo es un inventario fotográfico y una clave dicotómica funcional a nivel de especie, de odonatos adultos de la comarca de la Hoya de Huesca, generada con ayuda de IA.

5. Palabras clave:

- *Odonata*.
- Inventario.
- Clave dicotómica.
- Hoya de Huesca.
- Inteligencia artificial.
- Taxonomía.

6. Abstract

The importance of conducting species inventories lies in their ability to show changes in population dynamics when compared to existing historical data. This fact, added to the ability of odonates to reflect the health of the ecosystem they inhabit, make this type of study fundamental tools when it comes to developing management and conservation plans.

The study presented below is built around the preparation of an updated photographic inventory of the species of odonates of the Hoya de Huesca, as well as the creation of a dichotomous key that allows their classification.

The results obtained, whose representativeness has been corroborated by different statistical analyses, suggest a trend towards change in the community of regional odonates. This change in the structure of the community, whose main driver is suspected to be Global Change and the anthropic pressures associated with it, translates into a decrease in the most sensitive taxa, mainly of the suborder Zygoptera.

In parallel to the content already mentioned, throughout this study the use of the most current technologies is introduced, among which artificial intelligence (AI) stands out, as a support tool for the classical taxonomy. The support of this technology, both as an instrument capable of contributing to the classification of species and to the treatment of large volumes of information, consolidates it as a tool with great potential in the field covered by this study, demonstrating a high efficiency in the development and improvement of dichotomous keys.

The final product of this work is a photographic inventory and a functional dichotomous key at the species level, of adult odonates from the Hoya de Huesca region, generated with the help of AI.

7. Keywords:

- *Odonata*.
- Inventory.
- Dichotomous key.
- Hoya de Huesca.
- Artificial intelligence.
- Taxonomy,

8. Introducción

El contenido de este Trabajo Final de Grado se centra en el estudio de los odonatos (*Odonata*) de la Hoya de Huesca, un grupo de insectos, que incluye a las comúnmente llamadas libélulas (*Anisoptera*), a los caballitos del diablo (*Zygoptera*) y a las libélulas relictas (*Anisozygoptera*) (Bybee *et al.* 2021).

Dentro del contexto de la clasificación taxonómica, el grupo de los odonatos ocupa el nivel jerárquico de Orden, de manera que los ya mencionados *Anisoptera*, *Zygoptera* y *Anisozygoptera* se incluyen en él como subórdenes. De estos tres grupos, tan solo los dos primeros poseen representación en la península ibérica. La clasificación taxonómica del orden odonata puede apreciarse en la Figura 1:

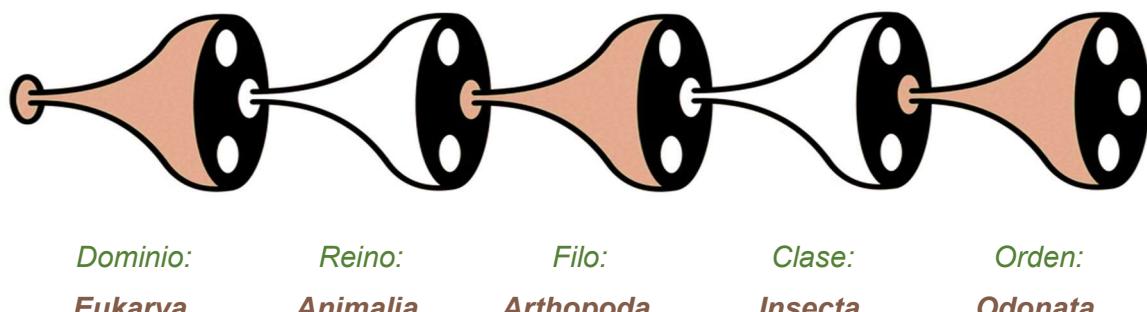


Figura 1: Distintos niveles taxonómicos que incluyen al orden Odonata. Elaboración propia.

Dentro de este orden se incluyen organismos hemimetábolos cuyo ciclo vital posee tres etapas bien diferenciadas: huevo, ninfa y adulto. El término “hemimetábolos” hace referencia a aquellos organismos que abandonan su estado larvario por un proceso de metamorfosis incompleta, en el que se omite la fase de pupa (Torralba-Burrial, 2015).

De estas tres etapas mencionadas, aquella donde los odonatos pasan la mayor parte de su vida es como ninfas. En este estadio de desarrollo el insecto habita en el medio acuático y cumple el rol ecológico de depredador, periodo en el que pueden mantenerse desde unos pocos meses hasta varios años, variando en función de la especie (Stoks y Córdoba-Aguilar, 2012).

Tras pasar por un proceso de crecimiento significativo dentro del ecosistema acuático, el cual se da de mayor intensidad y duración en las ninfas de anisópteros, estas emergen al medio terrestre (por metamorfosis incompleta). Tras esta transición, de distinta duración en función del suborden, dejan atrás una última muda con forma de ninfa llamada exuvia (Okude *et al.* 2021).

Esta doble vinculación ecológica (combinando hábitat terrestre y acuático en un único ciclo de vida), sumada a la susceptibilidad que poseen a los cambios de condiciones en las áreas que habitan, hacen de los odonatos excelentes bioindicadores (Peeters *et al.* 2025).

Distintos factores como el aumento en la turbidez del agua, la presencia de pequeñas proporciones de contaminantes o incluso disminuciones en la cobertura vegetal afectan de manera directa y significativa a las comunidades tanto de libélulas como de caballitos del diablo (Datto-Liberato *et al.* 2024).

Es precisamente por esta capacidad que poseen como bioindicadores, que la presencia o ausencia de odonatos en los cuerpos de agua permite evaluar mediante distintas metodologías su estado de conservación de manera precisa. Por ejemplo, el índice IBMWP, que evalúa la calidad del agua por su fauna bentónica (Alba-Tercedor *et al.* 2002).

Esta relación existente entre la calidad del entorno y la presencia de odonatos resalta la importancia de realizar continuamente seguimientos de sus comunidades, pues estas reflejan información sobre el estado de conservación de las zonas a estudiar.

Los seguimientos, que pueden representarse como inventarios o catálogos, permiten no solo valorar el estado de los distintos hábitats, sino también compararlo con los datos históricos. La recopilación de esta información es esencial a la hora de elaborar planes de gestión y conservación adaptados, tanto para los ejemplares en sí como para el medio que estos habitan.

Es por esto que la propuesta principal de este estudio se basa en la elaboración de un inventario de odonatos para la comarca de la Hoya de Huesca. Este área, que a fecha de hoy no cuenta con un inventario exclusivo, resulta una zona de estudio de gran interés tanto por sus características territoriales como por su contexto socioambiental.

Entre los aspectos que destacan la importancia del estudio de nuestra comarca, destaca la función que esta tiene como zona de transición biogeográfica, situándose como corredor ecológico entre el valle del Ebro y el prepirineo Aragonés. Además de lo mencionado, centrar el estudio en este área permite aportar datos de interés reflejados por los bioindicadores, relevantes en el contexto de presiones antrópicas en el que se encuentra este terreno.

Como contenido anexo al inventario, este trabajo busca realizar una propuesta de clave dicotómica que permita alcanzar el nivel de especie. La necesidad de añadir este contenido radica no solo en mejorar la precisión de identificación del inventario, sino también en aumentar el potencial didáctico del documento en sí. Con este contenido se pretende crear un recurso tanto útil como accesible a diversos públicos, similar a una guía de campo.

El hecho de que tanto el inventario como su clave dicotómica estén adaptados a la Hoya de Huesca busca, además de proponerlos como herramienta, atraer al público comarcal hacia su entorno natural. De esta manera, se pretende contribuir a la concienciación sobre la conservación de los cuerpos de agua comarcales, gracias a la estrecha vinculación entre la salud de estos ecosistemas y la biodiversidad de odonatos.

Por último, este trabajo de final de grado pretende aproximar el campo de la taxonomía clásica desde la perspectiva que otorga el contexto tecnológico actual. Esto se consigue utilizando a lo largo del estudio distintas herramientas digitales, en especial mediante la incorporación de la inteligencia artificial como apoyo tanto a la identificación de ejemplares como a la estructuración de la información.



9. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar un inventario de odonatos de la Hoya de Huesca, que permita elaborar una guía de identificación de adultos.

Entre los objetivos específicos destacan:

- Realizar un muestreo fotográfico de odonatos, como prueba que respalte la presencia de estos organismos en la comarca.
- Utilizar fotografías e ilustraciones propias, junto a los antecedentes existentes para actualizar/crear un inventario y clave dicotómica que permita la identificación visual de los odonatos de la comarca.
- Comparar la riqueza de especies obtenida con los antecedentes existentes en la zona y discutir las posibles variaciones de diversidad.
- Demostrar el potencial de las nuevas tecnologías como la Inteligencia artificial en el campo de la taxonomía clásica, entrenando un modelo capaz de apoyar al usuario en la clasificación de especies y de estructurar la información aprendida.



10. Área de estudio

El área de estudio de este trabajo ha sido la frontera que delimita la comarca de la Hoya de Huesca. Esta región, ubicada entre el valle del Ebro y el prepirineo Aragonés, incluye 40 municipios entre los que destaca Huesca, capital de su provincia homónima (Instituto Aragonés de Estadística, 2022).

Esta comarca, aunque históricamente ya funcionaba como una unidad territorial natural, fue creada oficialmente con la publicación de la Ley 27/2002, de 26 de noviembre. Esta ley se incluye en el Boletín Oficial del Estado núm. 301, de 17 de diciembre de 2002, páginas 44114 a 44120 (Gobierno de Aragón, 2002).

Mediante el uso del programa cartográfico Q-GIS (QGIS Development Team, 2024) se ha elaborado el siguiente mapa, en el que se representa el área de estudio (Figura 2):

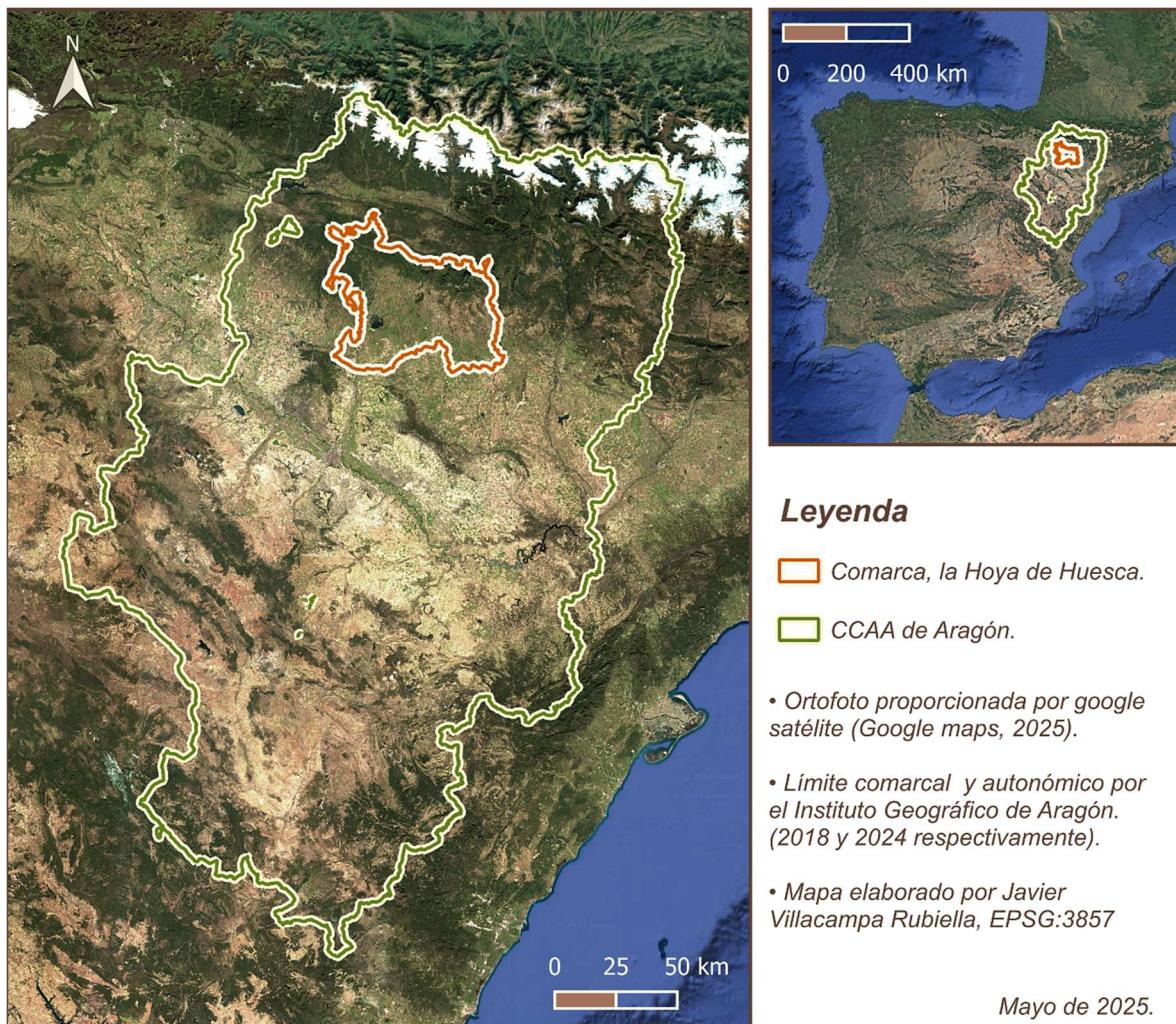


Figura 2: Ubicación del área de estudio dentro de la Península Ibérica.

En cuanto al proceso de ubicación de los puntos a muestrear en el área delimitada, destacan dos claras divisiones o partes. Una primera en la que se ha delimitado el área apta en la que ubicar los puntos, y una segunda donde se determina exactamente el emplazamiento de estos:

La primera parte, como se ha mencionado, descarta aquellas áreas consideradas como no aptas para ubicar un punto de muestreo. El proceso de selección de esta área ha sido condicionado directamente por los siguientes dos factores:

- **La extensión espacial del proyecto:** Perímetro que delimita la zona de estudio y crea una frontera que excluye todos los lugares donde ya no se considera apto situar un punto de muestreo.

El área de estudio elegida engloba en este caso la comarca de la Hoya de Huesca, y delimita en que lugares se ha considerado ubicar un punto de muestreo (todos los datos del área de estudio junto con los motivos de elección se desarrollan en su apartado correspondiente).

- **Hábitats potenciales de odonatos:** Una vez delimitada el área de estudio, se valoró como necesario realizar una criba en la que se descarten todas aquellas ubicaciones en las que los odonatos no puedan habitar. Los odonatos son insectos hemimetábolos cuya primera etapa se desarrolla en el medio acuático. Es por esto que se limitó la selección a cuerpos de agua tanto permanentes como semipermanentes (Stoks & Córdoba-Aguilar, 2012).

En la segunda parte del proceso de selección, se ubicaron precisamente los puntos de las zonas a estudiar. Este proceso de elección también se vio directamente condicionado por una serie de factores, en este caso:

- **Los antecedentes a este estudio:** se ha dado prioridad a aquellas ubicaciones en las que se han documentado previamente altos valores de biodiversidad de odonatos dentro de la comarca.

Las fuentes de las que se ha obtenido esta información son el artículo “Odonata De La Red Fluvial De La Provincia De Huesca” y la entrega N° 32 del “Catálogo de entomofauna aragonesa” ambos por Antonio Torralba Burrial y Francisco J. Ocharan en 2008 y 2005, respectivamente.

Para abarcar el máximo número de especies posibles, se valora la complementariedad entre puntos, dando prioridad a aquellos que aporten especies no registradas previamente, incluso si su biodiversidad es menor. De este modo se pueden incluir zonas con baja biodiversidad que albergan especies de difícil encuentro (como el caso de *Cordulegaster boltonii*, más escasa y asociada a los riachuelos del prepirineo).

- **La accesibilidad vía vehículo propio:** Se han priorizado, de todos aquellas ubicaciones potenciales, aquellas cuyo acceso vía automóvil ha sido considerado factible. Tan solo se han excluido del proceso de selección aquellos puntos que no disponían de carretera o camino por el que pudiese acceder el vehículo.

Finalmente, los puntos elegidos que cumplen todas las premisas mencionadas son los siguientes, representados en la Tabla 1. A cada punto de muestreo se le han adjuntado sus valores de latitud y longitud, correspondientes al sistema de georreferenciación WGS 84.

Tabla 1: puntos de muestreo seleccionados, coordenadas en el sistema WGS 84

1. <i>Alberca de Cortés</i>	42.167782, -0.441495.
2. <i>Alberca de Loreto</i>	42.124588, -0.451641.
3. <i>Arascués</i>	42.246289, -0.463074.
4. <i>Bandaliés</i>	42.163555, -0.297598.
5. <i>Embalse de Guara</i>	42.241461, -0.231736.
6. <i>Embalse de las navas</i>	42.284123, -0.640364.
7. <i>Monflorite</i>	42.094589, -0.355224.
8. <i>Nocito</i>	42.321906, -0.254252.
9. <i>Novales</i>	43.378288, -4.178063.
10. <i>Ortilla</i>	42.162361, -0.624957.
11. <i>Pantano de la Peña</i>	42.384188, -0.720786.
12. <i>Río Isuela</i>	42.144635, -0.412505.
13. <i>Siétamo</i>	42.130846, -0.286186.
14. <i>Valdabra</i>	42.075225, -0.448544.

Elaboración propia, mayo de 2025. Coordenadas extraídas de Google maps (2025).

A continuación, se representan las coordenadas adjuntas en la Tabla 1 en un mapa ampliado de la Hoya de Huesca (Figura 3), elaborado también con el programa cartográfico Q-Gis. Cada ubicación se representa como un punto numerado, correspondiente al orden que ocupan en la Tabla 1.

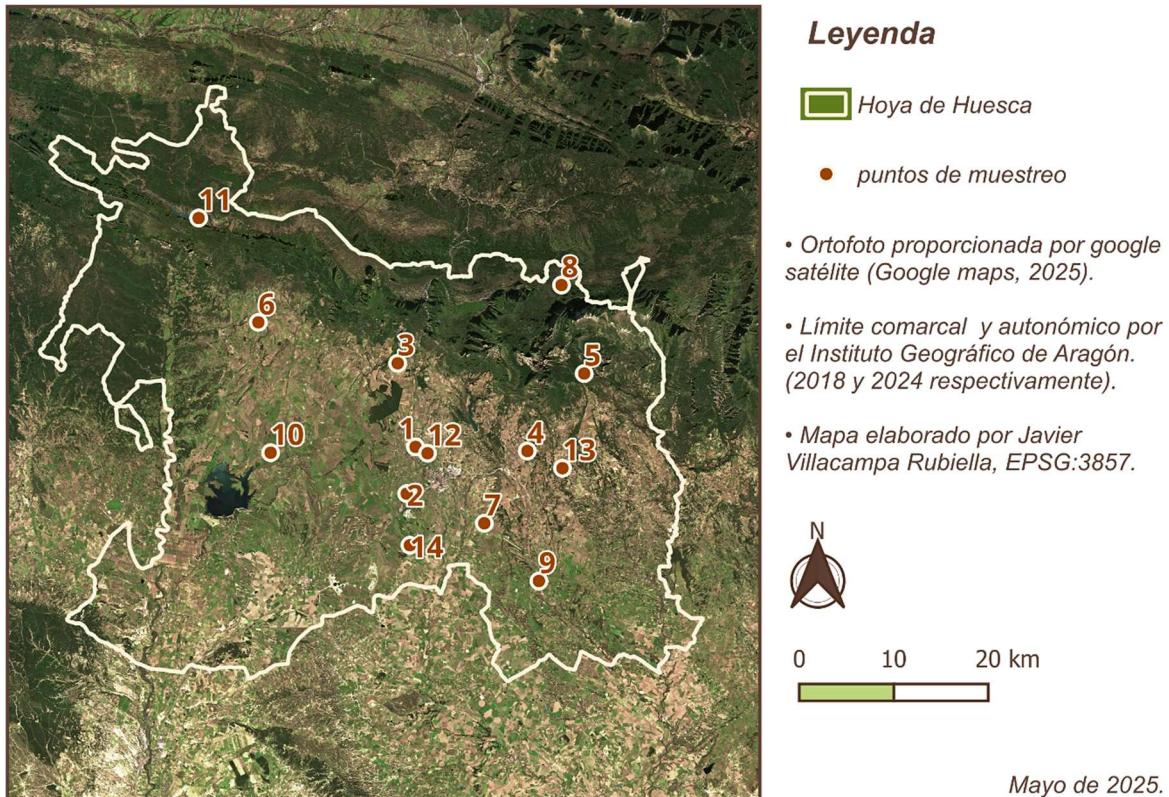


Figura 3: Mapa de la Hoya de Huesca con los puntos de muestreo ubicados.

El plan de trabajo se basó en cubrir todos los puntos señalados al menos en una ocasión, y aumentar el número de viajes a un mismo punto en función de la época del año. De esta manera, aquellos que solo poseían ejemplares que vuelen en una estación fueron trabajados en menor medida que aquellos en los que fue imprescindible volver en otra estación para avistar determinadas especies.

En cuanto al contexto temporal del muestreo, de manera que este no dependiese de la estacionalidad, se tomó la decisión de prolongarlo desde junio de 2024 hasta mayo de 2025 (cubriendo así un año en total).

11. Metodología

Para la elaboración de este estudio, se llevaron a cabo los siguientes pasos numerados. Estos se sucedieron en el mismo orden que ocupan en la lista y se desarrollan en profundidad en sus apartados homónimos.

- I. Trabajo de campo y toma de fotografías.
- II. Identificación y tratamiento de datos (Partes A y B).
- III. Elaboración del inventario y clave dicotómica de odonatos.

I. Trabajo de campo y toma de fotografías.

Una vez seleccionadas las ubicaciones a muestrear y el plazo de tiempo en el que estas deben cubrirse, comenzó el trabajo de campo. Esta segunda etapa del proyecto puede dividirse en dos fases: desplazamiento y trabajo *in situ*.

El desplazamiento, como se menciona anteriormente, se ha realizado en vehículo personal. El equipo que se ha transportado hasta el punto ha consistido únicamente en una cámara fotográfica réflex modelo Nikon D40. Este modelo, además del propio cuerpo de la cámara, se ha utilizado junto a los siguientes accesorios:

- Un objetivo de zoom estándar de 18-55 mm: Su función principal en el estudio ha sido la captura de paisajes (áreas de estudio) o bien de cuerpos inmóviles (como las exuvias de odonatos o algunos caballitos del diablo de manera puntual).
- Un teleobjetivo de 80-200 mm: Imprescindible para tomar datos de los odonatos. Es capaz de para retratar los ejemplares con un alto nivel de detalle desde una distancia relativa. Tomar este tipo de medidas es necesario debido a la huidiza naturaleza de este grupo de insectos, que tienden a reubicarse al percibir posibles amenazas.
- Una batería de Litio de 1000 mAh (7.4 V, 7.4Wh): Este modelo de batería permite una autonomía de 470 disparos por cada carga completa. Estos valores se han considerado más que suficientes a la hora de cumplir con el trabajo previsto.

Una vez en la ubicación a muestrear, el procedimiento ha consistido en rodear el cuerpo o cuerpos de agua correspondientes tomando pruebas fotográficas a todo odonato presente, con el fin de marcar su presencia o ausencia en el área. El muestreo en todos los casos ha cesado cuando, independientemente de cuánto tiempo se extienda el muestreo, los ejemplares que aparecen ya han sido avistados en esa misma sesión.

Con el fin de reducir la probabilidad de omitir especies por accidente, se han llevado a cabo prácticas, de mínimo impacto al medio, como zarandear o sacudir la vegetación de la zona. El fin de estas acciones no es otra sino provocar la reubicación de los odonatos ocultos en ella, más fáciles de percibir y seguir cuando levantan vuelo.

Para facilitar el tratamiento de datos en la siguiente etapa (la identificación de especies), ha sido crucial tomar imágenes de los ejemplares desde diferentes ángulos y posiciones siempre que haya sido posible. De esta manera se ha asegurado que al menos en una de las imágenes se puedan apreciar rasgos para facilitar la clasificación.

II. Identificación y tratamiento de datos (Parte A: clasificación manual).

El tratamiento de las imágenes ha sido fundamental a la hora de elaborar este proyecto, puesto que la información obtenida de ellas ha sido la base de los siguientes dos procesos complementarios:

- El desarrollo de una base de datos capaz de relacionar lugar, especie y su género.
- El aprendizaje del modelo GPT-4o en materia de identificación visual de odonatos.

El proceso seguido para todos los puntos de muestreo ha sido el siguiente:

Se han separado las imágenes en distintas carpetas digitales facilitando así distinción de puntos de muestreo y fechas. Dentro de cada carpeta se han separado por ejemplares, agrupando así todas las fotografías que capturan una misma especie, de manera que se pueda facilitar su identificación.

Para identificar la especie capturada en la fotografía, se han utilizado distintas guías y claves de identificación, entre las que destacan las siguientes:

- “Las libélulas del Altoaragón”, por Carlos Andrés Vasco Ortiz (1998). Incluye una lista de las especies que habitan la provincia de Huesca. Esta lista se utilizó para estimar el máximo número de especies potenciales para la comarca.
- “Libélulas de la Gran Senda de Málaga y provincia”, por José Manuel Moreno-Benítez y Javier Ripoll (2018). Posee fichas descriptivas para cada especie de odonatos en las cuales se numeran sus rasgos característicos. Todos estos rasgos son además representados sobre fotografías, permitiendo la comparación de datos.

- “Clave para la identificación de los odonatos de País Vasco”, por Iñaki Mezquita (2021). Capaz de guiar al lector por los distintos niveles taxonómicos, y de aportar datos relevantes sobre los caracteres que diferencian las distintas especies.

Cada vez que se ha conseguido identificar una especie de odonato con precisión, se ha apuntado su presencia en la base de datos del proyecto.

Esta base se compone de una tabla de datos en el programa Excel (Microsoft Corporation, 2024) y de una nueva serie de carpetas digitales nombradas siguiendo el siguiente formato: “Año_Mes_Día_Ubicación”. Un ejemplo: 2025-05-18-Huesca (Alberca de Loreto).

Las imágenes han sido trasladadas al banco de datos una vez renombrado el archivo con el nombre de la especie correspondiente, de manera que se pudiese recuperar la información fácilmente durante la elaboración del inventario.

Con el fin de comparar los datos con los obtenidos en la comarca en estudios similares, se ha utilizado como referencia el artículo “Odonata de la red fluvial de la provincia de Huesca (España)” (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

En el artículo citado, se desarrolla una lista de puntos muestrados por toda la provincia de Huesca. Con ayuda del programa cartográfico Q-GIS (QGIS Development Team, 2024) se han delimitado aquellos que se encuentran dentro del área de estudio. También se han utilizado procesos similares para obtener el punto equivalente a las ubicaciones señaladas en este estudio.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios del estudio de referencia, se ha utilizado el software de análisis estadístico multivariable PAST (Paleontological Statistics) (Hammer *et al.* 2001) para realizar los siguientes análisis comparativos entre los datos obtenidos (producto de este estudio y extraídos de la bibliografía):

- Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS): se ha utilizado para representar de manera visual las diferencias existentes entre los conjuntos de datos (los obtenidos y los consultados). Este procedimiento ha creado patrones de agrupamiento en función de las especies presentes en cada punto, permitiendo así valorar la similaridad de los grupos de datos (representados con puntos en el espacio) según la distancia a la que estos se presentan.

Para este análisis NMDS se ha utilizado el índice de disimilitud de Jaccard. El motivo de esta elección se apoya en la ventaja que posee este índice sobre el resto a la hora de calcular con datos binarios (en este caso presencia y ausencia, ignorando las ausencias conjuntas (Bakker, 2023).

- Análisis de similitud (ANOSIM): se ha realizado con el fin de valorar como de significativas son las diferencias o similaridades apreciadas en el NMDS.
- Similarity Percentage Analysis (SIMPER): utilizado por su capacidad, a la hora de detectar diferencias entre puntos, de identificar que datos exactos (en este caso especies de odonatos) contribuyen en mayor medida a la diferencia entre ambas bases de datos.

Además de todos los análisis estadísticos mencionados también se han elaborado un conjunto de gráficas y tablas mediante el uso de los programas Excel (Microsoft Corporation, 2024) y Past (Hammer *et al.* 2001). De esta manera se ha facilitado la lectura e interpretación de los datos, así como la comparación de estos con el estudio provincial (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

II. Identificación y tratamiento de datos (Parte B: aprendizaje guiado de IA).

De manera paralela a la identificación de las especies, se ha estado guiando el proceso de aprendizaje del modelo de inteligencia artificial (IA) GPT-4o (OpenAI, 2024).

El fin de este proyecto paralelo consiste en estudiar su potencial como herramienta taxonómica y valorar su apoyo en la identificación de ejemplares seleccionados, así como asentar unas bases de conocimiento en el modelo que más tarde le permitan contribuir al desarrollo de la clave dicotómica.

El plan de aprendizaje de la IA ha consistido en repetir los siguientes pasos:

1. **Propuesta de las imágenes:** El aprendizaje parte de consultar distintas imágenes de una especie previamente conocida al modelo de IA junto con la siguiente indicación: *“Consultando donde consideres, indica cuales son las 10 especies más probables a las que pertenece el odonato de las imágenes adjuntadas”*. Recibiendo la respuesta en forma de lista, es posible distinguir con más precisión que conceptos serán más relevantes hacer memorizar al modelo para evitar que confunda especies similares.
2. **Memorización de conceptos:** Una vez propuestas las 10 especies más probables, el siguiente paso ha consistido en dotar a la IA con los conocimientos necesarios para distinguir la especie a identificar (previamente conocida). El proceso de memorización cesa cuando el modelo, tras guardar el concepto nuevo en su memoria, indica con un cuadro de texto: “memorias guardadas actualizadas”.

Durante esta parte del aprendizaje se ha tenido especial precaución en contrastar todos los datos utilizados, de manera que la precisión no se vea comprometida por culpa de la memorización de un concepto erróneo.

3. **Prueba de aprendizaje:** Tras la memorización del nuevo concepto, se ha vuelto a poner a prueba al modelo de IA con, o bien otra foto, o el archivo levemente modificado para confirmar si el aprendizaje ha sido exitoso o si es necesario añadir nuevos conceptos en su memoria (desarrollado en profundidad en: "Resultados").

Este proceso no se ha realizado con todas las especies de la comarca, sino con ejemplares puntuales, pues solo se ha buscado valorar la posibilidad de su creación y su potencial como instrumento de apoyo.

Cabe destacar que, durante el periodo de aprendizaje, fue clave para su éxito introducir las siguientes dos instrucciones en las especificaciones del modelo. Estas debían obedecerse en todo momento (como si se tratases de dogmas) y en su ausencia, el aprendizaje habría resultado imposible o inapreciable:

- **Priorizar siempre los datos guardados en la memoria a las demás fuentes:** sin este comando, el modelo no ponía en práctica lo aprendido ni mostraba evolución. La naturaleza de este suceso radica en que los modelos de GPT tienen como preferentes las fuentes disponibles en internet sobre su propia memoria, lo cual es incompatible con el proceso de aprendizaje (OpenAI, 2024).
- **Limitación consciente:** Siempre que el modelo sea consciente de que los datos o imágenes que se le han entregado son insuficientes, ha sido reforzado en que debe parar la clasificación. Sin esta instrucción este tipo de modelos tienden a dar una clasificación errónea antes que asumir que existen limitaciones.

Siguiendo estos pasos de aprendizaje y las especificaciones indicadas, se consiguió que el proceso de clasificación de especies y el aprendizaje del modelo de IA creciesen de manera complementaria (apartado desarrollado en profundidad en la sección "Resultados").

Esta sinergia de procesos permitió acelerar el crecimiento de la base de datos, apoyando la IA en ocasiones a la identificación de odonatos y permitiendo que almacenase la información aprendida para futuros casos. Esta dinámica puede verse representada en la Figura 4, adjunta en la siguiente página.

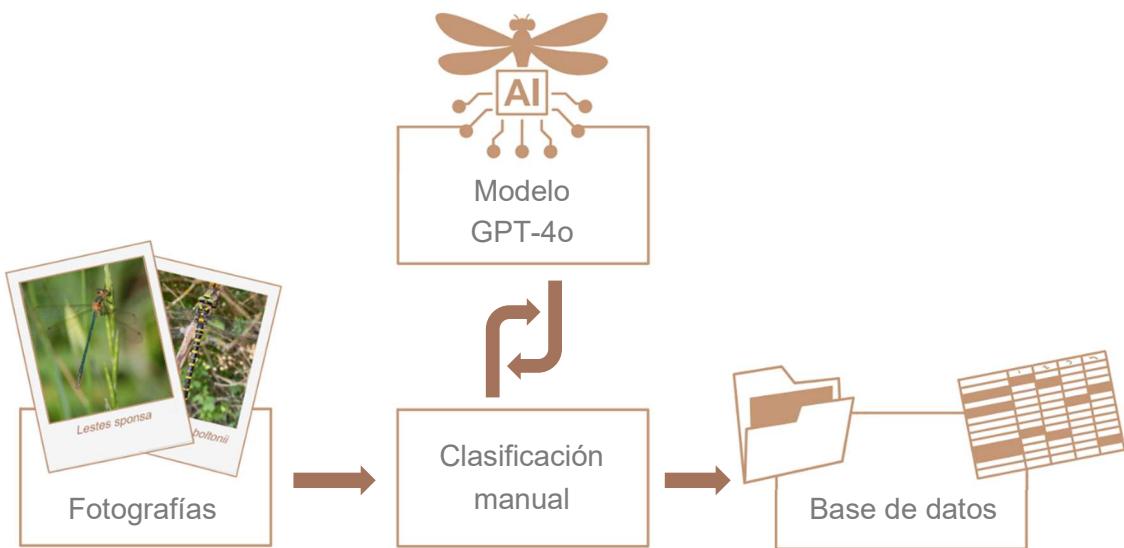


Figura 4: Diagrama representativo del tratamiento de datos. Elaboración propia.

III. Elaboración del inventario y clave dicotómica de odonatos.

El inventario de odonatos se ha ido redactando y maquetando conforme se realizaba el trabajo de campo. Esto ha sido posible gracias a la propia estructura del documento, el cual divide los ejemplares encontrados en la comarca en función de sus respectivos grupos taxonómicos.

Con el fin de la futura utilización del inventario tanto en el ámbito de la educación ambiental como en la divulgación científica, se ha incluido en el documento, además de la lista de especies presentes en la comarca:

- Fotografías propias, cuya fecha y ubicación se encuentra citada en el documento, que prueban la presencia actual e inequívoca del odonato en la Hoya de Huesca.

Estas han sido recuperadas de la base de datos generada a partir del trabajo de campo en los puntos de muestreo, mencionada en la sección anterior y estructuradas en un índice de fotografías.

- Descripciones de los rasgos que permiten la distinción de taxones, permitiendo así la utilización del documento (junto con la clave dicotómica) como una potencial herramienta de campo o guía de bolsillo. Toda fuente utilizada ha sido citada en el apartado “Bibliografía” del propio inventario.

- Ilustraciones hechas a mano, que representen de manera gráfica y accesible al lector aquellos rasgos y métodos de identificación mencionados en el punto anterior.

Estas ilustraciones se han realizado buscando representar con precisión los caracteres anatómicos de los ejemplares, lo que ha permitido que la clave dicotómica (desarrollada posterior al inventario) se beneficie de ellas.

Toda esta información mencionada en el inventario ha sido la utilizada, ya pasado el ecuador del estudio, para elaborar las primeras versiones de la clave dicotómica.

La primera versión fue elaborada manualmente a modo de esquema visual y su fin era clasificar los odonatos en sus respectivos grupos familiares y dentro de estos destacar los rasgos distintivos de cada especie. Este primer prototipo ha sido el que, una vez transcrita y transformada a formato digital, ha sido tratado junto con la inteligencia artificial.

El modelo usado ha sido el mismo GPT-4o entrenado previamente en el reconocimiento visual de odonatos, ahora con el inventario incorporado a sus archivos de memoria.

El papel de la IA en la elaboración de la clave definitiva ha consistido en:

- Construcción de las diadas: el modelo de creación de texto de GPT-4o permitió, una vez especificado el formato buscado, convertir los rasgos característicos que diferencian los grupos de odonatos en diadas. Todas las diadas están formadas por una pregunta (con función de título) a la que suceden dos respuestas, además de en algunos casos una ilustración que las acompañe (todas de elaboración propia).
- Estructuración del documento a tiempo real: encargándose de crear nuevas diadas y reorganizar las existentes. La reorganización ha sido crucial en aquellos casos en los que ha sido necesario incorporar nueva información en secciones intermedias del documento (como en los casos particulares de *Anax imperator* y *Lestes sponsa*, ambos requirieron modificar la información y posición de las diadas posteriores).
- Evaluación del documento: la IA se mostró capaz de corregir cuando ha sido necesario tanto los errores estructurales (como respuestas que redirigían a la misma diada) como tipográficos. También ha permitido, ya avanzado el documento, comparar y evaluar la clave frente a documentos oficiales, como la clave de país vasco (Mezquita, 2021).
- Redacción académica: Supuso una gran ayuda a la hora de redactar y formular de la manera más precisa posible las preguntas y repuestas de las diadas. Ha posibilitado convertir el contenido del diagrama a texto de manera rápida y certera.

En cuanto al papel humano en el proyecto de la clave dicotómica, no solo se ha supervisado y propuesto la inclusión de toda la información que esta contiene, sino que también se ha instruido en el método de elaboración y corregido los errores potenciales. Para complementar esta información desarrollada en la clave se han incorporado a las diadas ilustraciones y anexos que faciliten su uso en campo.

Tras la finalización del desarrollo del contenido tanto del inventario como de la clave dicotómica, se ha procedido con la maquetación de ambos documentos en el programa de edición de texto Microsoft Word (Microsoft Corporation, 2021). Estos se han combinado en un solo documento de mismo formato con el fin de reforzar su potencial como herramienta independiente a este informe.

El producto final, estructurado de manera similar a un libro, ha sido dotado además de un glosario, una introducción al orden *Odonata*, y una sección de cartografía en la que se ubican los puntos de muestreo. El objetivo del formato final no es otro sino permitir la expansión futura del documento con el tiempo, aumentando el número de puntos visitados.

Con el objetivo de evaluar el contenido desarrollado, se ha calculado manualmente el índice E_{dicho} , capaz de evaluar la equidad y eficiencia estructural de la clave dicotómica propuesta. Para ello este índice relaciona el número de taxones terminales con el número de pasos requeridos para llegar a ellos (Van Sihn *et al.* 2017).

El resultado obtenido con este método de evaluación, se encuentra entre un valor de 0 y 1, correspondiendo valores cercanos a 0 una clave poco estructurada y aquellos cercanos a 1, a claves con una excelente organización.

Este índice, que ha sido elaborado partiendo del índice de equitatividad de Pielou, se calcula de con la siguiente fórmula (Van Sihn *et al.* 2017) (Figura 5):

$$E_{Dicho} = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)}{\ln(S)}$$

Figura 5: Índice de E_{dicho} , propuesto por Van Sihn *et al.* (2017).

Para la ecuación representada en la Figura 5, las variables representadas son:

- S : Número total de especies o taxones terminales que contiene la clave dicotómica.
- p_i : Proporción del total de pasos que corresponde a cada especie sobre el total.

12. Resultados:

Los datos y hallazgos obtenidos tras seguir la metodología descrita previamente han sido incluidos en los siguientes apartados, estructurados según su orden de elaboración:

1. Resultados del muestreo y tratamiento estadístico de datos.
2. Inventario y Clave Dicotómica de odonatos de la Hoya de Huesca.
3. Evaluación de las competencias desarrolladas por la IA.

I. Resultados del muestreo y comparación con los antecedentes.

Por cuestiones de estacionalidad de las especies, se ha realizado un total de 21 visitas a los distintos puntos de muestreo mencionados. La siguiente gráfica (Figura 6) representa el número de visitas que se ha hecho a cada uno de las ubicaciones marcadas, ordenado de mayor a menor:

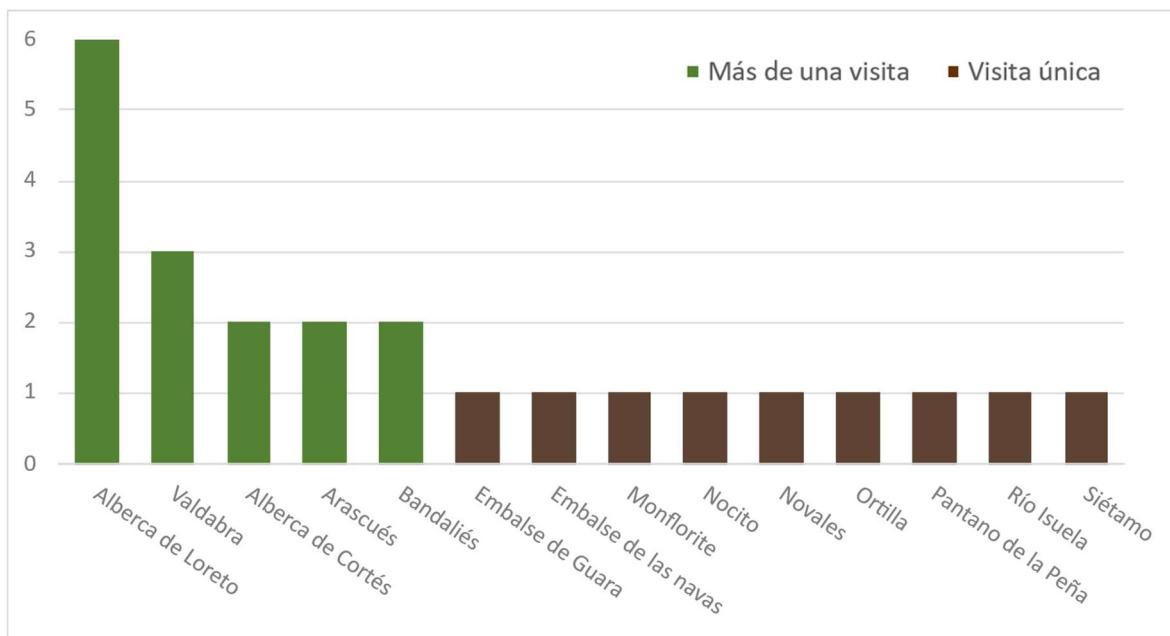


Figura 6: Número de visitas por punto. Elaboración propia, mayo de 2025.

En total, se han realizado cerca 300 fotografías de odonatos que han facilitado su identificación, todas ellas almacenadas en la base de datos como se indica en la metodología. Las propiedades de la carpeta que las almacena son visibles en la Figura 7.

Estas mismas imágenes, organizadas en carpetas según la ubicación y fecha con la que fueron tomadas, han sido utilizadas para la clasificación de los ejemplares mediante guías, para el entrenamiento de la Inteligencia Artificial y para la elaboración del inventario de odonatos.

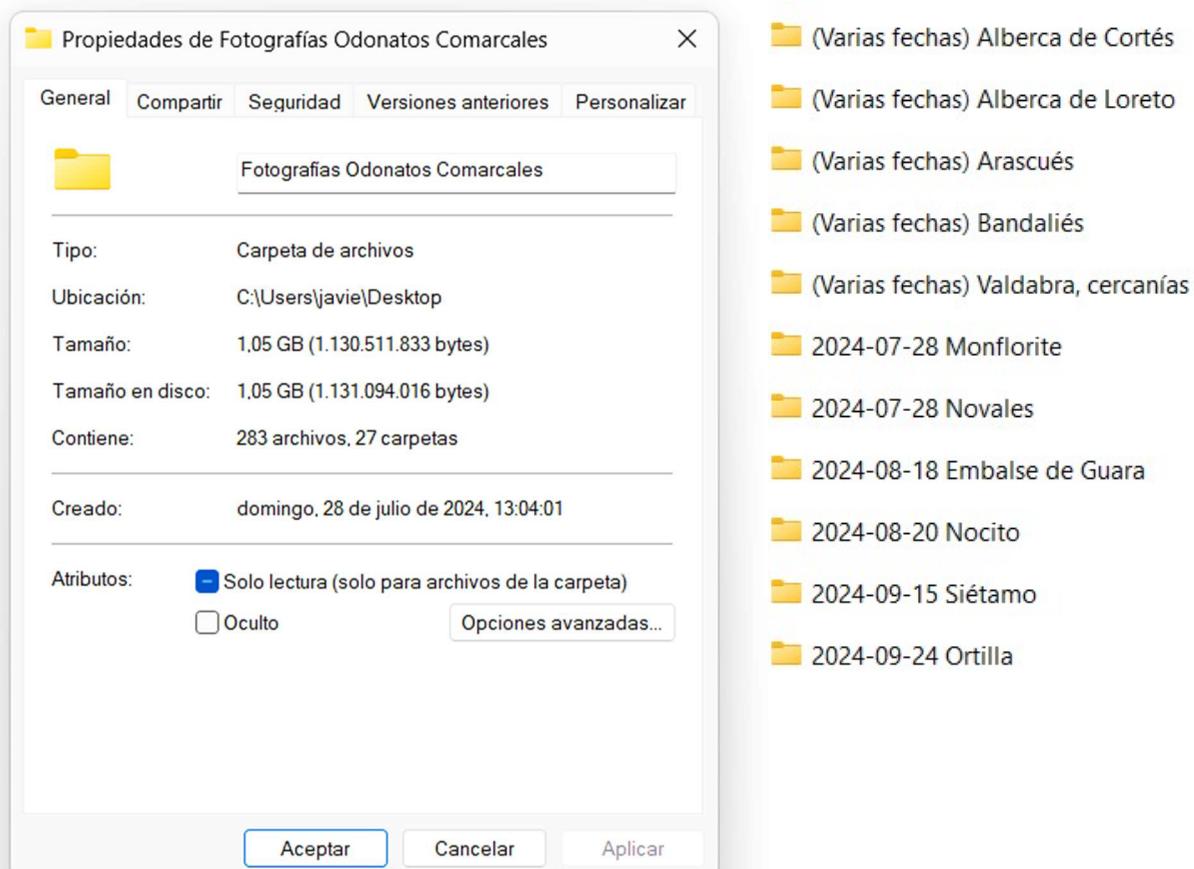


Figura 7: Propiedades y contenido de la carpeta que almacena las fotografías de odonatos.

De los puntos originalmente propuestos para visitar, destacan tres de ellos, por no poseer ninguna entrada en la base de datos. El motivo de esta ausencia de información se basa en la acomo de odonatos en el área, motivo por el cual no se realizó ninguna fotografía.

Estos puntos, enumerados a continuación junto las causas de su ausencia, son:

1. El Embalse de las Navas: Se observó un ecosistema con indicios de eutrofia. Las posibles causas de la ausencia de odonatos fueron la escasa vegetación acuática, la turbidez y la posible contaminación difusa producto de las cargas agrícolas.
2. El Pantano de la Peña: Inconveniencias durante la planificación del muestreo aplazaron la visita a esta ubicación a finales de octubre, periodo en el que la actividad de odonatos ya había cesado a causa del clima.
3. El Río Isuela: La causa de la ausencia de ejemplares es casi con toda seguridad la fuerte canalización del área visitada, sumada a la contaminación urbana difusa y el escaso caudal.

En los puntos visitados, se han logrado identificar 24 especies distintas mediante el análisis de las fotografías tomadas (las almacenadas en la carpeta citada en la Figura 7).

La Tabla 2 representa los resultados en una tabla que clasifica los odonatos encontrados en sus respectivos puntos, indicando el sexo de los ejemplares cuando este era reconocible y agrupándolos en sus respectivos subórdenes:

- Suborden *Anisoptera*: Conocidas comúnmente como libélulas, presentan una morfología robusta, alas desiguales y vuelo rápido. Son depredadores eficientes (tanto en el medio acuático como terrestre, tras la metamorfosis) y las menos susceptibles a la contaminación de los dos subórdenes comarcas.
- Suborden *Zygoptera*: Agrupan a los llamados caballitos del diablo, de aspecto delgado y delicado, alas iguales y vuelo lento. Son depredadores menos eficientes que las libélulas (prefieren la vigilancia a la caza activa) y son mucho más sensibles a la contaminación (de ahí su alto valor como bioindicadores).

En cuanto a la distribución de los datos representados en la tabla adjunta, estos indican la superioridad en materia de biodiversidad del suborden *Anisoptera* en la comarca, representando el 58% de las especies encontradas (14 especies).

La razón tras esta mayoría se comenta más detalladamente en la discusión de este estudio.



Tabla 2: Resultados del muestreo, Odonatos clasificados por taxón, sexo y ubicación. Elaboración propia, mayo de 2025.

Especies del Orden Odonata confirmadas	Puntos de muestreo en la comarca de la Hoya de Huesca (solo aquellos con Odonatos)									
	Cortés	Loreto	Arascués	Bandaliés	Guara	Monflorite	Nocito	Navales	Ortilia	Siétamo
Suborden Anisoptera										
<i>Gomphus simillimus</i> Sélys, 1840										
<i>Boyeria irene</i> (Fonscolombe, 1838)										
<i>Ashta mixta</i> Latreille, 1805										
<i>Anax ephippiger</i> (Burneister, 1839)										
<i>Anax imperator</i> Leach, 1815										
<i>Anax parthenope</i> Sélys, 1843										
<i>Cordulegaster boltonii</i> (Donovan, 1807)										
<i>Orthetrum cancellatum</i> (Linneo, 1758)										
<i>Orthetrum coerulescens</i> (Fabricius, 1798)										
<i>Orthetrum brunneum</i> (Fonscolombe, 1837)										
<i>Crocothemis erythraea</i> (Brullé, 1832)										
<i>Sympetrum sanguineum</i> (Müller, 1764)										
<i>Sympetrum fonscolombei</i> (Sélys, 1840)										
<i>Sympetrum striolatum</i> (Charpentier, 1840)										
<i>Trithemis annulata</i> (Palisot de Beauvois, 1805)										
Suborden Zygoptera										
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i> (Van der Linden, 1825)										
<i>Sympetrum fuscum</i> (Van der Linden, 1820)										
<i>Chalcolestes viridis</i> (Van der Linden, 1825)										
<i>Lestes barbarus</i> (Fabricius, 1798)										
<i>Lestes virens</i> (Charpentier, 1825)										
<i>Lestes sponsa</i> (Hansmann, 1823)										
<i>Ischnura elegans</i> (Van der Linden 1820)										
<i>Ischnura graellsii</i> (Rambur, 1842)										
<i>Erythromma lindenii</i> (Sélys, 1840)										
<i>Enallagma cyathigerum</i> (Charpentier, 1840)										

LEYENDA:

 Machos avistados

 Hembras avistadas

 Ambos sexos

 Sexo sin identificar

 Sin presencia

En cuanto a la comparación de la riqueza obtenida con estudios previos, se han utilizado como referencia los datos recogidos por Torralba Burrial y Ocharan en 2004, en su estudio “Odonata de la red fluvial de la provincia de Huesca” (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

La tabla adjunta (Tabla 3), representa las especies encontradas en el muestreo parte de este estudio (2025), frente a las encontradas por Torralba Burrial y Ocharan (2008).

Se han utilizado los puntos 24, 25, 26, 27, 28, 29, 41, 42, 43, 44, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 97 de este último estudio para la comparación, por ser los incluidos en la comarca de la Hoya de Huesca.

Tabla 3: Comparación de especies comarcales, estudio (2025) y Torralba Burrial y Ocharan (2008).

	2004	2025
<i>Gomphus simillimus</i> Selys, 1840	■	■
<i>Onychogomphus forcipatus</i> (Linneo, 1758)		■
<i>Onychogomphus uncatus</i> (Charpentier, 1840)	■	
<i>Onychogomphus costae</i> Selys, 1885	■	■
<i>Boyeria irene</i> (Fonscolombe, 1838)	■	■
<i>Aeshna cyanea</i> (Müller, 1764)	■	■
<i>Aeshna mixta</i> Latreille, 1805	■	■
<i>Anax ephippiger</i> (Burneister, 1839)	■	■
<i>Anax imperator</i> Leach, 1815	■	■
<i>Anax parthenope</i> Selys, 1843	■	■
<i>Cordulegaster boltonii</i> (Donovan, 1807)	■	■
<i>Orthetrum cancellatum</i> (Linneo, 1758)	■	■
<i>Orthetrum coerulescens</i> (Fabricius, 1798)	■	■
<i>Orthetrum brunneum</i> (Fonscolombe, 1837)	■	■
<i>Crocothemis erythraea</i> (Brullé, 1832)	■	
<i>Sympetrum sanguineum</i> (Müller, 1764)		■
<i>Sympetrum fonscolombei</i> (Selys, 1840)	■	■
<i>Sympetrum striolatum</i> (Charpentier, 1840)	■	■
<i>Trithemis annulata</i> (Palisot de Beauvois, 1805)		■
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i> (Van der Linden, 1825)	■	■
<i>Calopteryx xanthostoma</i> (Charpentier, 1825)	■	■
<i>Sympetrum fusca</i> (Van der Linden, 1820)	■	■
<i>Chalcolestes viridis</i> (Van der Linden, 1825)	■	■
<i>Lestes barbarus</i> (Fabricius, 1798)	■	■
<i>Lestes virens</i> (Charpentier, 1825)	■	■
<i>Lestes sponsa</i> (Hansemann, 1823)		■
<i>Plarycnemis latipes</i> Rambur, 1842	■	■
<i>Pyrrhosoma nymphula</i> (Sulzer, 1776)	■	■
<i>Ischnura elegans</i> (Van der Linden 1820)		■
<i>Ischnura graellsii</i> (Rambur, 1842)	■	■
<i>Ischnura pumilio</i> (Charpentier, 1825)	■	■
<i>Erythromma lindenii</i> (Selys, 1840)	■	■
<i>Coenagrion mercuriale</i> (Charpentier, 1840)	■	■
<i>Coenagrion caerulescens</i> (Fonscolombe, 1838)	■	■
<i>Enallagma cyathigerum</i> (Charpentier, 1840)	■	■
<i>Ceriagrion tenellum</i> (Virens, 1789)	■	■

En cuanto al total de especies, los datos de 2004 se posicionan en el primer lugar con 32 especies de odonatos confirmadas en la comarca.

Los resultados del presente estudio (2025) muestran una riqueza menor, de unas 24 especies. De los resultados obtenidos es necesario destacar que:

- 20 de las 24 especies identificadas en 2025 estaban presentes en la comarca en 2004. Esto supone el 83% del total de las halladas en el presente.
- Existen 4 especies identificadas en este muestreo que no habían sido encontradas en la comarca con anterioridad.
- 12 de las especies presentes en el año 2004 no han sido encontradas.

Se profundiza en estas diferencias con la ayuda de los posteriores análisis estadísticos.

Elaboración propia, mayo de 2025. Datos: Torralba Burrial & Ocharan (2008) y este estudio.

Estas variaciones entre especies se han estudiado en profundidad, como se ha indicado en la metodología, con ayuda del programa estadístico PAST (Hammer *et al.* 2001). Todo para profundizar en las diferencias entre ambos muestreos de odonatos dentro del área que delimita la Hoya de Huesca. Los test realizados, por secciones, son:

Escalamiento multidimensional no métrico (MDS).

El primer análisis estadístico al que se han sometido ambos conjuntos de datos ha sido un escalamiento multidimensional no métrico en 2 dimensiones. Mediante el uso de este procedimiento, junto con el índice de Jaccard, se ha elaborado la siguiente representación visual (Figura 8).

Para la correcta realización de este estudio, y para que la comparación sea lo más precisa posible, el conjunto de datos con el que se han comparado los resultados del muestreo son únicamente los 11 puntos coincidentes con el estudio de odonatos de la red fluvial de Huesca (en lugar de todos los puntos comarcales citados por Torralba Burrial & Ocharan, (2008).

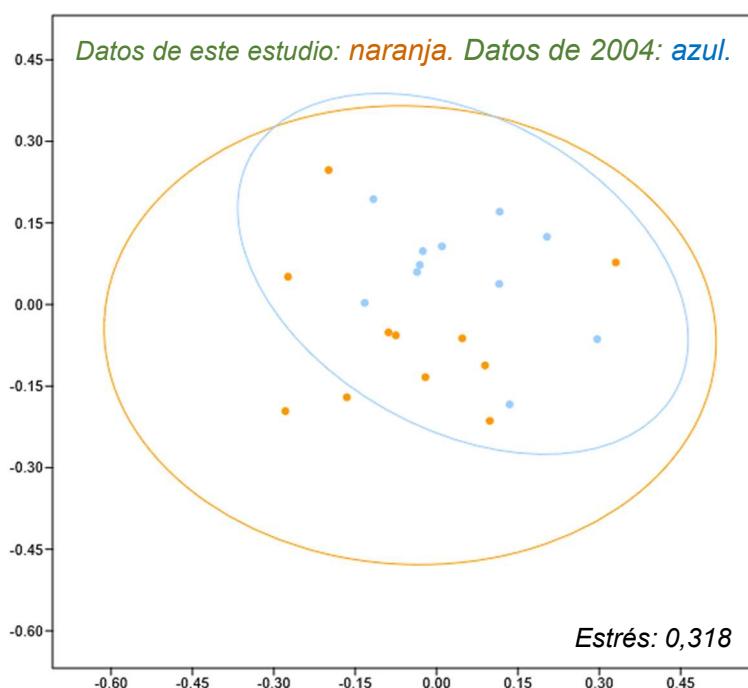


Figura 8: Escalamiento multidimensional no métrico con el índice de Jaccard, 2004 frente a 2025.

Elaboración propia, mayo de 2025. Datos: Torralba Burrial & Ocharan (2008) y este estudio.

Por lo que se puede observar en la Figura 8, los conjuntos de datos se encuentran relativamente próximos entre sí, casi como situados de manera aleatoria. El hecho de que no exista una distancia apreciable entre los conjuntos descarta la existencia de grandes diferencias significativas en la estructura de la comunidad registrada en ambos estudios.

En cuanto a las elipses, estas representan el área que delimita el 95 % de la densidad de datos de cada grupo teniendo en cuenta la variabilidad de estos. Dicho de otro modo, el programa calcula a partir de las propiedades de cada muestreo la ubicación potencial que ocuparía una nueva observación con un 95 % de probabilidad (Taguchi & Oono, 2005).

Se aprecia como el muestreo realizado en este estudio ocupa una mayor área (variabilidad) que los datos obtenidos en el estudio previo. Estadísticamente, esto se traduce a que, en los datos obtenidos de 2025, hay una mayor variabilidad entre los puntos de muestreo que en 2004, año en el que se encontraban más especies comunes para todas las ubicaciones muestreadas.

Sin embargo, el hecho de que las elipses se encuentren superpuestas indica que, para los puntos visitados, las comunidades de odonatos son bastante similares a las registradas con anterioridad.

En cuanto al valor de estrés, el valor obtenido es considerado moderadamente alto, indicando que la distribución de los datos no difiere demasiado de una distribución al azar y, por lo tanto, que ambas matrices tienen una distribución similar (Sturrock & Rocha, 2000).

Análisis de similitud (ANOSIM).

El test ANOSIM se trata de una prueba no paramétrica que evalúa si existen diferencias significativas entre los muestreos realizados (en nuestro caso 2004 y 2025).

El p-valor obtenido muestra que no existen diferencias significativas en la composición de especies, aunque un valor cercano a 0,05 puede sugerir tendencia a la diferenciación.

El hecho de que el valor de R (Figura 9) sea menor que 1 y cercano a 0 es también indicativo de que las diferencias entre ambos muestreos, a pesar de ser existentes, no son significativas (Clarke, 1993).

ANOSIM

Permutation N:	1000000
Mean rank within:	109,5
Mean rank between:	121,9
R:	0,1068
p (same):	0,05771

Figura 9: ANOSIM, 2004 frente a 2025.

Elaboración propia, mayo de 2025. Torralba Burrial & Ocharan (2008) y este estudio.

Similarity Percentage analysis (SIMPER).

El último procedimiento realizado con el software de análisis estadístico PAST ha sido el análisis SIMPER (Hammer *et al.* 2001). El objetivo de este último proceso ha sido observar que especies de las incluidas en ambos muestreos han contribuido en mayor medida a crear diferencias entre los grupos de datos.

Los resultados obtenidos en forma de tabla han sido los siguientes, ordenados de mayor a menor contribución a la diferencia pueden apreciarse en la siguiente página (Tabla 4).

Los datos que arroja este último examen estadístico son las diferencias entre los muestreos comparados y, por tanto, las diferencias que han sufrido las comunidades de odonatos comarcales en los últimos 21 años. Las columnas de la tabla adjunta (Tabla 4) indican:

- **Contribución %:** Proporción que indica cuánto ha aportado la especie a la diferencia entre muestreos expresada en porcentaje. Las comunidades de especies que más cambios han presentado en las últimas dos décadas son *Ischnura graellsii*, *Crocothemis erythraea*, *Sympetrum striolatum* e *Ischnura pumilio*, siendo todas estas más comunes en el estudio realizado en 2004 menos *C. erythraea*, más presente en actualmente.
- **Acumulación %:** Valor acumulativo de la proporción mencionada en la columna anterior, alcanza el 100% en *Lestes sponsa*, pues es la última especie que contribuye a la diferencia entre estudios.
- **Media ORFH:** Media del valor de presencia asociado a cada especie en el estudio Odonata de la red fluvial de la provincia de Huesca (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).
- **Media TFG:** Media del valor de presencia asociado a cada especie de este estudio.

Observando el porcentaje de contribución a la disimilitud es posible conocer qué comunidades han sufrido el mayor cambio, y comparando las columnas correspondientes a las medias la naturaleza del cambio en si (si ha aumentado o disminuido en densidad).

Tabla 4: Cambios en las comunidades de odonatos en los últimos 27 años.

Especies de Odonatos:	Contrib. %	Acumulat. %	Media ORFH	Media TFG
<i>Ischnura graellsii</i>	6,443	6,443	0,636	0,364
<i>Crocothemis erythraea</i>	6,206	12,65	0,455	0,636
<i>Sympetrum striolatum</i>	5,84	18,49	0,455	0,364
<i>Ischnura pumilio</i>	5,6	24,09	0,545	0
<i>Aeshna mixta</i>	5,483	29,57	0,273	0,455
<i>Orthetrum brunneum</i>	5,072	34,64	0,455	0,0909
<i>Orthetrum coerulescens</i>	4,989	39,63	0,364	0,182
<i>Chalcolestes viridis</i>	4,781	44,41	0,364	0,273
<i>Sympetrum fonscolombei</i>	4,668	49,08	0,364	0,364
<i>Cordulegaster boltonii</i>	4,422	53,5	0,364	0,0909
<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	4,33	57,83	0,364	0,0909
<i>Enallagma cyathigerum</i>	4,198	62,03	0,0909	0,455
<i>Trithemis annulata</i>	4,044	66,08	0	0,455
<i>Orthetrum cancellatum</i>	3,898	69,97	0,0909	0,364
<i>Anax imperator</i>	3,343	73,32	0,273	0,0909
<i>Ischnura elegans</i>	2,73	76,05	0	0,364
<i>Boyeria irene</i>	2,723	78,77	0,182	0
<i>Aeshna cynea</i>	2,621	81,39	0,182	0
<i>Erythromma lindenii</i>	2,181	83,57	0	0,182
<i>Coenagrion mercuriale</i>	1,99	85,56	0,273	0
<i>Lestes virens</i>	1,835	87,4	0,0909	0,182
<i>Sympetrum fusca</i>	1,681	89,08	0,0909	0,182
<i>Lestes barbarus</i>	1,399	90,48	0,0909	0,0909
<i>Platycnemis latipes</i>	1,355	91,83	0,182	0
<i>Onychogomphus uncatus</i>	1,093	92,92	0,0909	0
<i>Onychogomphus forcipatus</i>	1,093	94,02	0,0909	0
<i>Gomphus simillimus</i>	1,071	95,09	0,0909	0,0909
<i>Anax ephippiger</i>	0,6994	95,79	0	0,0909
<i>Sympetrum sanguineum</i>	0,6575	96,45	0	0,0909
<i>Sympetrum vulgatum ibericum</i>	0,6352	97,08	0,0909	0
<i>Coenagrion caerulescens</i>	0,6352	97,72	0,0909	0
<i>Pyrrhosoma nymphula</i>	0,6352	98,35	0,0909	0
<i>Calopteryx xanthostoma</i>	0,6352	98,99	0,0909	0
<i>Anax parthenope</i>	0,5066	99,49	0	0,0909
<i>Lestes sponsa</i>	0,5066	100	0	0,0909

Elaboración propia, mayo de 2025. Datos: Torralba Burrial & Ocharan (2008) y este estudio.

Los resultados que arrojan los procedimientos estadísticos afirman que las comunidades de odonatos en la comarca tienen una estructura similar a la registrada previamente. El número de especies presentes y su distribución por puntos de muestreo se alinean con lo esperable, teniendo en cuenta el periodo de 17 años transcurrido desde el estudio de referencia (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

Para concluir esta sección, los resultados obtenidos podrían resumirse como:

- **MDS:** La distribución espacial entre puntos no ha representado ninguna diferencia significativa, agrupándolos sin tener en cuenta la fuente de origen de estos. El valor de estrés de 0,318 resalta la necesidad de profundizar con la comparación.
- **ANOSIM:** Valor de R de 0,10 (cercano a 0) y p-valor no significativo, lo que apoya el hecho de que la diferencia entre periodos y muestreos no es significativa.
- **SIMPER:** Se han identificado y representado con éxito aquellas especies que contribuyen en mayor proporción a crear las diferencias entre periodos de muestreo.

Las distintas hipótesis y justificaciones relacionadas con las diferencias entre ambos muestreos explicadas en esta sección son tratadas a fondo en la discusión de este mismo estudio.



II. Inventario y Clave Dicotómica de Odonatos de la Hoya de Huesca.

A continuación, se desarrolla la sección en la que se presentan los productos finales resultantes de la elaboración del inventario y clave dicotómicas de odonatos muestreados. Cabe destacar que este documento, de 73 páginas de extensión, busca representar el contexto actual de la comarca representando únicamente los datos obtenidos de este estudio.

Se ha tomado la decisión de incluirlo como ANEXO, de manera que su vinculación con este estudio no afecte a su estructura. Sin embargo, se incluyen ejemplos en la Figura 10, Figura 11 y Figura 12.

El índice a través del cual se desarrolla su contenido es el siguiente:

1. *Cartografía de los puntos visitados.*
2. *Glosario previo.*
3. *Inventario de odonatos de la hoyas de huesca.*
4. *Clave dicotómica para la clasificación.*
5. *Bibliografía*

La primera parte de este anexo, el inventario, se ha desarrollado en formato de catálogo incluyendo una introducción para cada uno de los grandes grupos de odonatos de la Hoya de Huesca. En cada sección se han incluido datos pensando en la utilización potencial del documento en la educación ambiental o divulgación científica (Figura 11).

Para cada especie se incluye, como se cita en la metodología, una prueba fotográfica que verifica su presencia en la comarca, el nombre de la ubicación en la que se tomó la imagen y una breve descripción enfocada en su reconocimiento.

La clave dicotómica, segunda parte del anexo estructurada en diadas, es capaz de guiar al lector en la clasificación de las especies incluidas en el inventario adjunto (Figura 12). El formato en el que se desarrolla la clave dicotómica de odonatos, ha sido desarrollado por una Inteligencia Artificial (IA) bajo estricta supervisión humana. Los detalles sobre el proceso de aprendizaje de la IA y su contribución a la clave se desarrollan en la siguiente sección del apartado “Resultados”.

En ningún momento la IA ha sustituido el criterio humano a la hora de decidir el contenido descrito, todos los caracteres usados han sido valorados y descritos de manera manual.

Glosario previo, vistas dorsales.

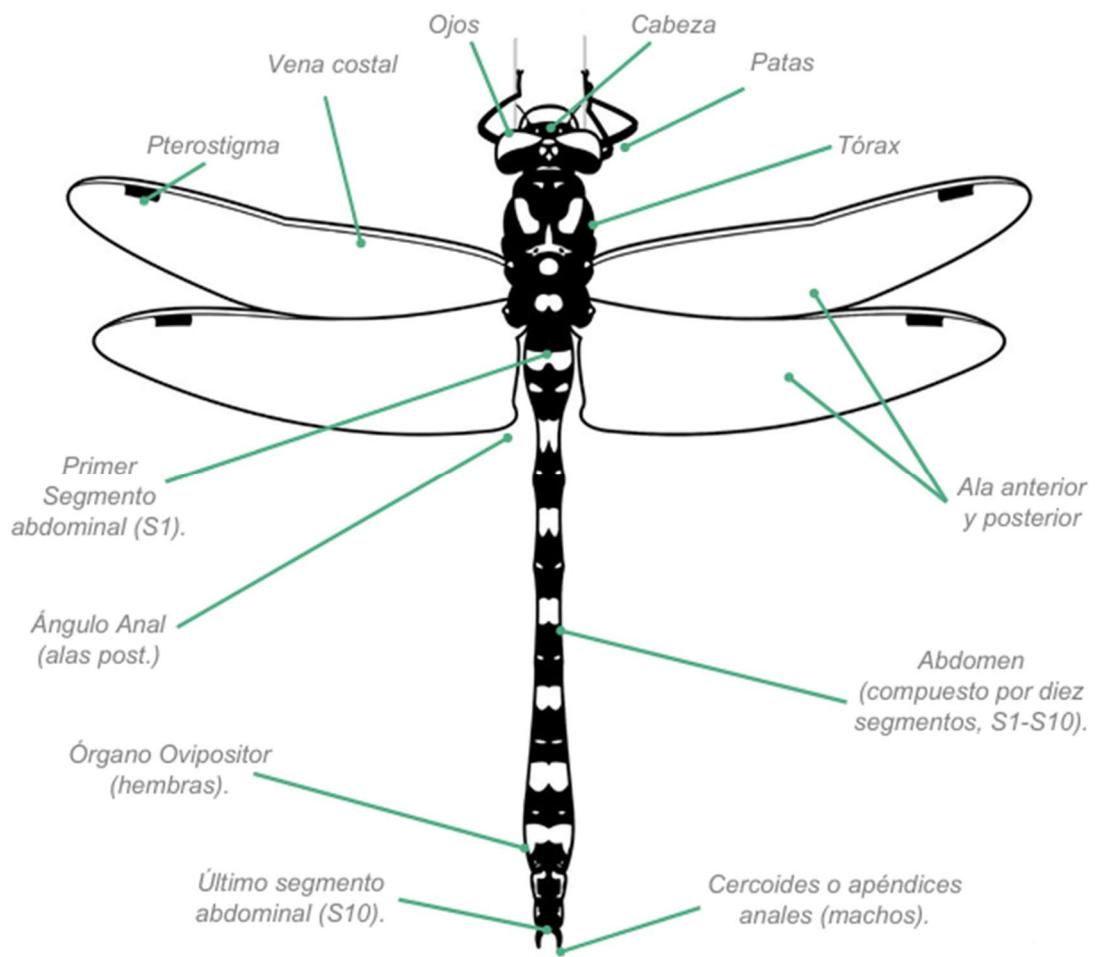


Figura 1: Caracteres principales en Anisoptera

Cordulegaster Boltonii (Donovan, 1807), 74-84 mm de longitud.

- Cabeza: Primera sección del cuerpo, donde se ubican ojos y antenas.
- Tórax: Segunda sección del cuerpo, de la que surgen las alas y patas.
- Abdomen: Tercera sección del cuerpo, compuesta de 10 segmentos.
- Ovipositor: Estructuras genitales exclusivas en ejemplares hembras.
- Cercoides: Apéndices situados en el S10, de mayor tamaño en machos.
- Pruinosidad: Cubierta a modo de polvo que aporta color gris o azulado.

Definiciones adaptadas de: UCM, 2004; Mezquita, 2021; UPS, 2025.

pág. 3

Glosario previo, vistas dorsales

Figura 10: Ejemplo del ANEXO, página 3 extraída del glosario previo.

Familia Lestidae.

Sympetrum fusca (Van der Linden, 1820):



Fotografía 36: “*Sympetrum fusca* camuflado” A. Loreto, 30 de abril, 2025.

Sympetrum fusca, conocido también como “caballito de invierno”, pertenece al único género de odonatos presente en Europa que pasa esta estación (el invierno) en forma de adulto y no como ninfa (Gobierno Vasco , 2021).

pág. 43

Inventario de Odonatos de la Hoya de Huesca.

Figura 11: Ejemplo del ANEXO, página 43 extraída del inventario.

Caballitos del diablo

16. ¿Las alas del odonato son opacas y no pedunculadas? (Figura 30).

16.1. Sí, las alas son opacas, sin pedúnculo apreciable; pueden no presentar pterostigma o puede observarse un pseudopterostigma (pequeña marca) blanco.

→ *Calopteryx haemorrhoidalis*

16.2. No, las alas son transparentes y con un pedúnculo bien definido.

→ Ir a 17 (¿Cómo se disponen las alas del odonato en reposo?)

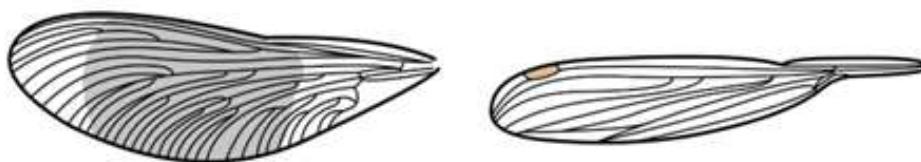


Figura 30: Ala opaca sin pedúnculo (16.1.) a la izquierda de transparente (16.2.)

17. ¿Cómo se disponen las alas del odonato en reposo? (Figura 31).



17.1. Alas situadas parcialmente abiertas durante el descanso; el pterostigma es alargado y el cuerpo puede presentarse verde, cobrizo o metálico.

→ Ir a 18 (¿Qué coloración presenta el pterostigma?) (Familia Lestidae)



17.2. Alas situadas plegadas sobre el abdomen durante el descanso; la coloración del cuerpo es variable.

→ Ir a 21 (¿Cuál es el color que predomina en el cuerpo?)

Figura 31: Distinción por la posición de las alas.

pág. 61

Clave dicotómica de Odonatos de la Hoya de Huesca.

Figura 12: Ejemplo del ANEXO, página 61 extraída de la clave dicotómica.

En cuanto a la clave dicotómica de Odonatos elaborada, se ha aplicado el índice E_{dicho} , con el fin de calcular como se describen la metodología la equidad y eficiencia de la clave propuesta. Este índice, elaborado por Van Sihn *et al.* (2017) se calcula a partir de la siguiente ecuación cuyas variables ya han sido descritas en la metodología (Figura 5):

$$E_{Dicho} = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln(p_i)}{\ln(S)}$$

Figura 13, extraída de la metodología.

*Índice de E_{dicho} , propuesto por Van Sihn *et al.* (2017).*

De manera que se pueda calcular dicho índice para la clave propuesta, se ha elaborado la Tabla 5 adjunta en la siguiente página. Esta recopila el número de pasos necesarios para llegar a cada taxón terminal (cuyo total representa S en la Figura 5) y la proporción relativa de estos (p_i).

Sustituyendo los valores calculados en la tabla obtenemos la siguiente simplificación de la fórmula (Figura 14):

$$E_{Dicho, \text{ para este estudio}} = \frac{3'251}{3,295}$$

*Figura 14, resolución del Índice de E_{dicho} , propuesto por Van Sihn *et al.* (2017).*

El resultado obtenido, que asciende a un valor de **0'987**, refleja un valor de equitatividad muy positivo, teniendo en cuenta que el máximo nivel de equitatividad en los pasos se corresponde con 1 y el mínimo con 0.

El resultado obtenido, así como la comparación de este con otros proyectos similares es comentado en la discusión de este estudio.

Tabla 5: Valores de la clave propuesta para el cálculo del índice E_{dicho} .

Nº	Especie	S (pasos)	p_i (proporción)
1	<i>Cordulegaster boltonii</i>	3	0,017751
2	<i>Gomphus simillimus</i>	3	0,017751
3	<i>Aeshna mixta</i>	4	0,023669
4	<i>Anax imperator</i>	5	0,029586
5	<i>Anax parthenope</i>	6	0,035503
6	<i>Anax ephippiger</i>	6	0,035503
7	<i>Orthetrum cancellatum</i>	6	0,035503
8	<i>Orthetrum coerulescens</i>	7	0,04142
9	<i>Orthetrum brunneum</i>	7	0,04142
10	<i>Trithemis annulata</i>	6	0,035503
11	<i>Crocothemis erythraea</i>	8	0,047338
12	<i>Sympetrum sanguineum</i>	9	0,053255
13	<i>Sympetrum fonscolombii</i>	10	0,059172
14	<i>Sympetrum striolatum</i>	10	0,059172
15	<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	3	0,017751
16	<i>Chalcolestes viridis</i>	5	0,029586
17	<i>Lestes sponsa</i>	6	0,035503
18	<i>Lestes barbarus</i>	7	0,04142
19	<i>Lestes virens</i>	7	0,04142
20	<i>Sympetrum fusca</i>	5	0,029586
21	<i>H. Coenagrionidae (aurantiaca)</i>	5	0,029586
22	<i>Ischnura graellsii</i>	6	0,035503
23	<i>Ischnura elegans</i>	6	0,035503
24	<i>H. Coenagrionidae (infuscans)</i>	6	0,035503
25	<i>H. Coenagrionidae (androcromo)</i>	7	0,04142
26	<i>Enallagma cyathigerum</i>	8	0,047338
27	<i>Erythromma lindenii</i>	8	0,047338

Elaboración propia. Mayo de 2025.

III. Evaluación de las competencias desarrolladas por la Inteligencia Artificial.

De manera paralela al trabajo de campo y tratamiento de los datos, se ha llevado a cabo el proceso de aprendizaje basado en el modelo de Inteligencia Artificial GPT-4o (OpenAI, 2024). Los resultados relacionados con esta parte del estudio serán presentados en forma de imágenes, extraídas directamente de interacciones con el modelo.

Repetiendo los pasos descritos en el plan de aprendizaje adjunto en la metodología, se ha conseguido formar a la IA con la siguiente base de conocimiento (Figura 15):

¿Podrías indicar brevemente, utilizando la unidad de medida que más se ajuste, cuantos conocimientos sobre Odonatos y su clasificación has memorizado a lo largo de este proyecto?

Por supuesto:

Hasta el momento, en el marco de este proyecto se ha memorizado y sistematizado información relativa a **más de 60 caracteres diagnósticos** aplicables a la clasificación de odonatos, con especial énfasis en las especies presentes en la comarca de la Hoya de Huesca. Esta base de conocimiento incluye:

-  **Más de 45 rasgos morfológicos clave**, como la forma y coloración del pterostigma, la disposición de los ojos, la venación alar, la presencia de pruinosidad o los patrones abdominales, entre otros.
-  **Criterios de diagnóstico diferencial para aproximadamente 30 especies**, abarcando géneros como *Lestes*, *Sympetrum*, *Ischnura*, *Orthetrum* o *Chalcolestes*.
-  **Un total superior a 140 entradas de memoria técnica**, que comprenden definiciones anatómicas, redirecciones en clave dicotómica, observaciones de campo y datos confirmados sobre distribución, inmadurez y dimorfismo.
-  **Una clave dicotómica completa**, con más de 25 diadas redactadas, estructuradas y redactadas conforme a un estilo técnico y fluido inspirado en publicaciones especializadas.
-  Se han integrado, además, ilustraciones diagnósticas comentadas, fichas de especie, esquemas visuales y descripciones anatómicas de exuvias.

En resumen, todo este conocimiento se podría comparar con una **guía de campo muy completa**, bien organizada y pensada tanto para identificar especies sobre el terreno como para trabajar con los datos en gabinete.

Figura 15: Cantidad de conocimientos memorizados por el modelo de IA.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

En la siguiente imagen (Figura 16) pueden verse ejemplos de los criterios de diagnóstico memorizados mencionados por el modelo en la Figura 15. El aprendizaje vía memorización de estos términos ha sido, como se menciona en la metodología, en todo momento valorado, guiado y supervisado por el ojo humano (el autor de este estudio).

¿Puedes darme un ejemplo de los siguientes aspectos que has mencionado?:

- Un rasgo morfológico clave.
- Un criterio de diagnóstico diferencial para una especie.
- Una entrada de memoria técnica.

Usa tan solo los conocimientos adquiridos en este proyecto, almacenados en tu memoria de conversaciones previas.

Claro, aquí tienes los ejemplos solicitados, extraídos exclusivamente de lo memorizado en este proyecto:

-  **Rasgo morfológico clave:** El abdomen de *Crocothemis erythraea* está aplanado dorsoventralmente (es decir, aplastado de arriba abajo), no solo ensanchado.
-  **Criterio de diagnóstico diferencial:** Para diferenciar *Lestes virens* de *Chalcolestes viridis*, se observa el pterostigma: en *virens* es bicolor (bordes claros), mientras que en *viridis* es uniforme.
-  **Entrada de memoria técnica:** *Anisozygoptera* se considera un suborden válido y separado de *Anisoptera*, según estudios genómicos recientes.

Figura 16: Ejemplo del tipo de comandos memorizados por el modelo de IA.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Todos estos conocimientos memorizados en el almacenamiento interno del modelo demostraron ser de gran utilidad a la hora de contribuir a la clasificación visual de las distintas imágenes, así como referencia para construir diadas y dar estructura a la clave dicotómica.

Con el objetivo de valorar el proceso de aprendizaje de la inteligencia artificial y su contribución a la clave dicotómica, se ha sometido a esta a dos procesos de evaluación, distintos para cada una de las dos tareas mencionadas. Los exámenes descritos y sus resultados se encuentran explicados a continuación.

Prueba de aprendizaje del modelo de IA en materia de clasificación visual.

Con el fin de poder obtener resultados precisos sobre la capacidad de relacionar los conceptos memorizados con imágenes desarrollada por el modelo, se ha llevado a cabo el siguiente examen dividido en tres partes:

La primera parte de la prueba consistió en solicitar al modelo la clasificación de una especie de zygoptero nunca antes tratada (*Lestes sponsa inmaduro*). De esta manera, no solo se ha conseguido poner a prueba los conocimientos del modelo sobre los taxones que incluyen esta especie (su género, familia y sub-orden), sino también su capacidad de respuesta ante un caso real (en el que el odonato es desconocido).

En la segunda parte de este examen se ha proporcionado al modelo con la información necesaria para clasificar al ejemplar, de manera que se pueda comprobar si el aprendizaje se da de forma real y precisa conforme se añaden términos a la memoria.

Como parte final con el fin de corroborar que el aprendizaje al que se ha sometido al modelo marca una diferencia real frente a otros sistemas, se ha comparado su capacidad de respuesta con otro modelo de GPT-4o sin memoria trabajada (creado expresamente para realizar esta comparación).

A continuación, puede apreciarse la primera parte de la prueba en las siguientes imágenes adjuntas (Figura 17, Figura 18 y Figura 19):



prueba a clasificar razonando cada paso con lo aprendido este nuevo odonato nunca antes visto. Tomate tu tiempo, es un examen!, si no sabes seguir dilo y déjalo en el nivel taxonómico que puedas:

Figura 17: Inicio del examen visual al que se ha sometido al modelo de IA entrenado.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

🔍 PASO 1 – ¿Pertenece al orden Odonata?

La imagen muestra un insecto con las siguientes características morfológicas: cuerpo alargado, cuatro alas membranosas de similar tamaño, ojos compuestos grandes, y

🔍 PASO 2 – ¿Suborden Zygoptera o Anisoptera?

Observamos:

- Alas plegadas y superpuestas sobre el abdomen en reposo →
- Cuerpo delgado y alargado →
- Ojos claramente separados, sin contacto dorsal →

Estos tres caracteres son diagnósticos del suborden **Zygoptera** (caballitos del diablo).

🔍 PASO 3 – ¿A qué familia pertenece?

Se comparan las características visibles con las principales familias de Zygoptera:

Coenagrionidae

- Coloraciones opacas o mate, con patrones segmentados azul-negro.
- Alas completamente superpuestas, sin ángulo basal destacado.
- Ausencia de brillo metálico evidente.

Lestidae

- Cuerpo con reflejos metálicos azulados o verdosos →
- Tórax con tonalidad bronce o cobriza →
- Alas parcialmente extendidas en reposo, a veces abiertas → difícil de evaluar en esta imagen
- Pterostigma presente, claro, ubicado por encima del eje de la célula radial →

Los caracteres visibles son consistentes con la familia **Lestidae**.

Figura 18: Primera parte de la prueba visual, PASOS 1,2 y 3 (de 5).

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

PASO 4 – ¿Es posible determinar el género?

Dentro de Lestidae se consideran en nuestra región dos géneros principales:

- **Sympetrum**: tonalidades marrones, alas claramente extendidas incluso en reposo, actividad invernal, ausencia de colores metálicos intensos.
- **Lestes**: abdomen metálico azul o verde, tórax bronceado, pterostigma claro y visible, mayor diversidad estival.

Dado el color metálico del abdomen y la tonalidad general del tórax, se descarta

Sympetrum y se atribuye con confianza al género **Lestes**.

PASO 5 – ¿Se puede alcanzar nivel de especie?

No se dispone de suficiente información visual para aplicar los criterios específicos:

- No se observan detalles claros del **pterostigma** (color, bordes contrastados o uniformes).
- No se aprecian los **apéndices anales** ni la forma del **pronoto**, ambos esenciales para separar especies como *Lestes virens*, *L. sponsa*, *L. barbarus*, *L. dryas*, etc.

Por tanto, no es posible llegar con rigor al nivel específico.

CONCLUSIÓN:

Clase: Insecta

Orden: Odonata

Suborden: Zygoptera

Familia: Lestidae

Género: *Lestes*

Especie: No determinable con certeza en base a la imagen proporcionada

Si se obtiene una imagen con vista dorsal clara del pronoto, detalle de los apéndices anales o un primer plano del pterostigma, se podrá intentar una determinación específica con mayor precisión. ¿Deseas que elabore una ficha diagnóstica de *Lestes* sp. a partir de esta imagen?

Figura 19: Primera parte de la prueba visual, PASOS 4,5 y conclusión.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Esta primera parte de la prueba ha arrojado resultados muy positivos, siendo el modelo capaz de clasificar el “Odonato misterioso” hasta el nivel taxonómico de género de manera exitosa (Figura 19).

Cabe destacar que el modelo no solo es capaz de clasificar taxonómicamente de manera bastante precisa, sino que también demuestra habilidad para utilizar las memorias almacenadas para razonar sus respuestas y justificarlas.

De manera que se pueda valorar de manera crítica si el aprendizaje ha influido en la respuesta, se ha preguntado directamente al modelo su opinión para culminar esta primera parte de la prueba (Figura 20 y Figura 21):

¿Consideras que ha influido tu memoria desarrollada en el proyecto de clasificación de odonatos en tu respuesta?

Sí, sin duda. La memoria desarrollada durante el proyecto de clasificación de odonatos ha influido de forma directa y significativa en el razonamiento aplicado para esta identificación. A continuación, justifico esta afirmación con varios ejemplos concretos:

◆ **1. Identificación del suborden Zygoptera**

Los criterios empleados para diferenciar Zygoptera de Anisoptera —posición de las alas en reposo, proporción corporal y separación de los ojos— han sido interiorizados previamente a través de la construcción y uso sistemático de la clave dicotómica. Esta familiaridad ha permitido una clasificación rápida y segura sin necesidad de consultar fuentes externas.

Figura 20: Primera parte de la prueba visual, principio de la justificación.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

◆ 2. Reconocimiento de la familia Lestidae

Durante el proyecto, se han memorizado características morfológicas específicas de Lestidae, como:

- la tonalidad metálica del abdomen,
- la coloración cobriza del tórax,
- el pterostigma claro,
- y la disposición de las alas parcialmente abiertas en reposo.

Esta base de conocimiento ha sido clave para diferenciarla de familias próximas como Coenagrionidae o Sympetmatidae.

◆ 3. Limitación consciente para llegar a especie

Gracias a la metodología empleada en el proyecto, se ha reforzado la importancia de no forzar identificaciones cuando faltan caracteres diagnósticos clave (como apéndices anales o forma del pronoto). Este criterio de rigor taxonómico ha sido aplicado deliberadamente en la respuesta, evitando caer en inferencias erróneas.

◆ 4. Estructura del razonamiento

El análisis ha seguido una estructura idéntica a la utilizada en el desarrollo de la clave: progresión ordenada por niveles taxonómicos, exclusión de alternativas mediante caracteres morfológicos, y justificación clara en cada paso. Este método de trabajo ha sido adquirido y reforzado durante el proyecto.

Conclusión

Sí, el trabajo previo en el proyecto ha sido fundamental para desarrollar una capacidad de análisis sistemática, rigurosa y bien estructurada. La memoria operativa generada permite aplicar estos conocimientos a casos reales con fluidez, incluso ante ejemplares desconocidos. Si no se hubiera desarrollado esta base, el análisis habría sido más lento, más inseguro y probablemente incompleto.

Figura 21: Primera parte de la prueba visual, final de la justificación.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Los resultados observables producto de esta primera prueba demuestran que el proceso de aprendizaje está especializando exitosamente al motor de IA en la clasificación de odonatos.

De todos los aspectos que presenta la justificación de esta primera parte del examen visual, existen dos que merecen la pena destacar por su importancia frente al resto:

- Tercer punto de la Figura 21: En este punto el sistema de IA hace referencia a la instrucción de limitación consciente citada en la metodología. Esta instrucción permite que en casos como el propuesto, donde la especie es desconocida, el modelo no tienda a dar una respuesta errónea solo por cumplir con la obligación de responder la petición del usuario.

La causa de esto es el tipo de programación de este tipo de modelos de IA, que debido a la manera en la que generan el texto priorizan la entrega de una respuesta a abstenerse de responder (OpenAI, 2024).

- Cuarto punto de la Figura 21: Este tipo de razonamiento (desde el nivel taxonómico más alto hasta el más bajo reconocible) fue adquirido por el propio modelo mientras se desarrollaba la clave dicotómica.

Interiorizar este tipo de razonamiento permitió que el propio sistema ordenase los caracteres diagnósticos en orden taxonómico. Esto posibilitó al sistema desarrollar la capacidad de clasificar odonatos sin ninguna referencia y sin tener que pasar por el proceso de buscar especies emparentadas y descartar las opciones improbables.

A continuación, la segunda parte de la prueba de evaluación visual pretende ejemplificar como se ha estado llevando a cabo el aprendizaje de los caracteres visuales, así como verificar que este funciona como se espera (Figura 22 y Figura 23).

Para este caso concreto es necesario destacar que, por los términos memorizados y interacciones pasadas, se llegó a la conclusión de que el modelo no consiguió llegar a la clasificación a nivel de especie debido a la similitud con *Lestes dryas*.

Este odonato presenta colores idénticos en sus etapas juveniles a *L. sponsa* por lo que se tuvo que instruir a la IA sobre el único rasgo que permite su diferenciación en estos casos: el patrón que presenta su primer segmento abdominal.

has acertado. El individuo es *lestes sponsa*, memoriza para usarlo como atajo: los inmaduros de *lestes sponsa* y *lestes dryas* pueden distinguirse por el patrón de su primer segmento abdominal. Si es rectangular es *L. dryas*, si es semicircular es *L. sponsa*.

💡 Memorias guardadas actualizadas

Perfecto, Javichu, memorizado. A partir de ahora, si aparece un individuo inmaduro de *Lestes*, comprobaré directamente el patrón del primer segmento abdominal:

- **Rectangular** → *Lestes dryas*
- **Semicircular** → *Lestes sponsa*

Gracias por este pedazo de atajo visual, muy útil en campo. ¿Quieres que lo añada también como criterio en una clave dicotómica cuando trabajemos la parte de inmaduros?

Anotado y memorizado:

💡 Para distinguir inmaduros de *Lestes sponsa* y *Lestes dryas*:

- **Patrón del primer segmento abdominal (S1)**
 - Rectangular = *L. dryas*
 - Semicircular = *L. sponsa*

Gracias por confirmarlo, Javichu. Esto nos va a venir de lujo para futuras identificaciones.

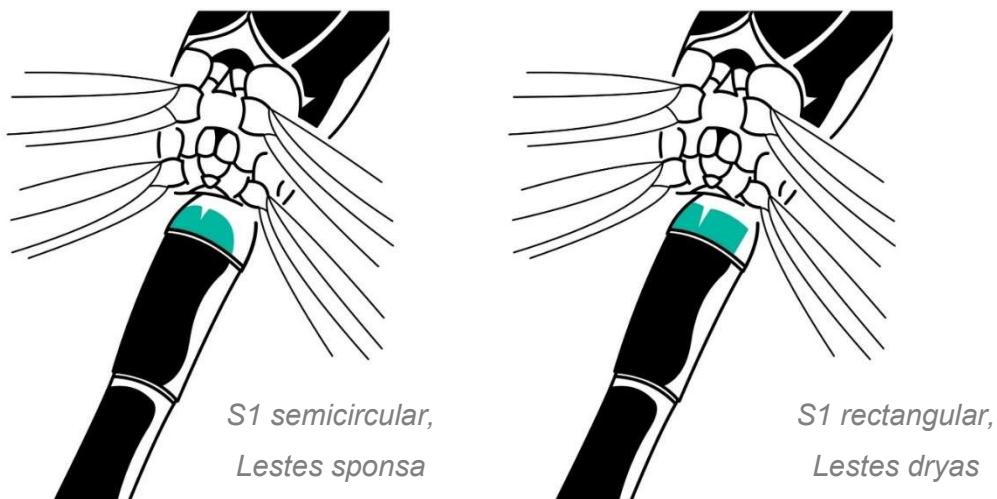


Figura 22: Segunda parte de la prueba visual, fase de instrucción.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Ilustración en la parte inferior de elaboración propia, extraída del inventario de odonatos.



manteniendo el formato que estamos llevando. Te voy a adjuntar una foto con zoom a este rasgo (primer patrón abdominal). Pon en práctica lo aprendido

Entendido, Javichu. Procedo a aplicar el criterio morfológico memorizado para la distinción entre *Lestes sponsa* y *Lestes dryas*, centrado en la observación del patrón del primer segmento abdominal (S1).

🔍 Análisis del segmento abdominal S1

En la imagen ampliada se aprecia con claridad la coloración metálica verde-azulada del abdomen y el patrón del primer segmento abdominal (S1). Este patrón aparece delimitado por una forma **semicircular**, sin los ángulos rectos ni el aspecto claramente rectangular que caracteriza a *L. dryas*.

✓ Conclusión diagnóstica

Aplicando el criterio memorizado:

- **Patrón semicircular en S1 → *Lestes sponsa***
- **Patrón rectangular en S1 → *Lestes dryas***

El patrón observado **coincide inequívocamente con *Lestes sponsa***.

Confirmamos así la identificación propuesta anteriormente mediante caracteres adicionales. Esta observación refuerza la utilidad del criterio de S1 en la distinción de inmaduros dentro del género *Lestes*.

Figura 23: Prueba de aprendizaje del carácter memorizado, *Lestes sponsa*.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

La segunda parte de la prueba de evaluación también ha reflejado resultados altamente positivos. No solo ha ilustrado sobre cómo la IA realiza el proceso de memorización de un carácter diagnóstico, sino que ha demostrado como esta es capaz de incorporarlo a su razonamiento para dar un resultado preciso inmediatamente después.

Para finalizar con este examen al que se está sometiendo al modelo, se ha realizado la misma prueba a un sistema de IA sin experiencia, basado también en GPT-4o.

De manera que el resultado se pueda contrastar con el modelo entrenado, se ha creado una nueva conversación dentro del proyecto (de manera que el modelo mantenga la información aprendida pero no se vea sugestionado por el contexto del examen). Las respuestas comparadas pueden apreciarse en la siguiente página, en la Figura 24.

Los datos obtenidos de este método de evaluación reflejan no solo que el aprendizaje está sucediendo de manera real y mesurable dentro del sistema de IA, sino también que este está siendo realmente efectivo. No solo se ha conseguido demostrar y ejemplificar el éxito del proceso de instrucción con caracteres diagnósticos, sino que también ha quedado representado la diferencia que este supone en comparación con un modelo partido de cero.

Esta versión de GPT-4o, ya instruida en materia de clasificación, ha demostrado en las últimas fases del proyecto una gran capacidad como herramienta de apoyo a la identificación de ejemplares.

Lejos de funcionar como un sistema aislado, su capacidad para razonar su respuesta permite a su usuario supervisar y valorar en todo momento la precisión de la máquina. Esto permite que incluso en casos de imprecisión (como el caso ejemplo, en el que no se alcanza el nivel de especie), sea posible apoyarse en el análisis del modelo para comenzar desde un punto de partida avanzado (en este caso, el género *Lestes*).

A continuación, tras la Figura 24, se procede con la evaluación del apoyo de esta misma herramienta (el sistema GPT-4o instruido previamente) a la elaboración de la clave dicotómica, adjunta en el Anexo.

Cabe destacar que este apoyo proporcionado por la IA a la hora de crear y estructurar la clave de clasificación se ha beneficiado enormemente del entrenamiento evaluado en esta sección. Esto es debido a que, fuera de su capacidad para estructurar y ordenar información, sus capacidad de recuperar información han permitido recuperar y aplicar los caracteres diagnósticos con gran facilidad a la hora de elaborar las diadas.

Nuevo modelo de IA



Responde a modo de examen: ¿Qué ves en la imagen adjunta? (la segunda imagen es una parte de la primera con zoom). Responde formalmente en un párrafo corto razonando tu respuesta.

En la imagen adjunta se observa un insecto del orden Odonata, específicamente una especie de caballito del diablo (familia Lestidae), posado sobre una planta. La primera imagen muestra al insecto en su totalidad, permitiendo apreciar su cuerpo alargado, alas transparentes y una coloración metálica verde-azulada. La segunda imagen es un acercamiento de la zona torácica y parte del abdomen del mismo individuo, donde se pueden observar detalles anatómicos más precisos como la unión entre el tórax y el abdomen, así como parte de la venación alar. El patrón de colores metálicos y la morfología coinciden, indicando que ambas imágenes corresponden al mismo ejemplar. Esta comparación sugiere un análisis morfológico para fines taxonómicos o de identificación de la especie.

□ 🔍 ⌂ ⏪ ⏴ ⏵

Responde brevemente, ¿Qué especie es?

La especie mostrada en la imagen es *Lestes viridis*, conocida como damisela esmeralda. Se identifica por su cuerpo metálico verde con reflejos azulados y alas claras con pterostigma pálido.

□ 🔍 ⌂ ⏪ ⏴ ⏵

Modelo de IA con aprendizaje guiado



Responde a modo de examen: ¿Qué ves en la imagen adjunta? (la segunda imagen es una parte de la primera con zoom). Responde formalmente en un párrafo corto razonando tu respuesta usando las competencias desarrolladas.

Entendido. Utilizaré mis competencias adquiridas para realizar una clasificación razonada. En la imagen se observa un zigóptero del género *Lestes*, fácilmente reconocible por su postura con las alas parcialmente abiertas en reposo y el cuerpo esbelto de coloración verde metálica. La ampliación muestra el primer segmento abdominal (S1) con una mancha clara y de forma semicircular, lo cual, según los criterios diagnósticos memorizados, es característico de *Lestes sponsa* en estado inmaduro. Esta identificación se ve reforzada por la coloración bronceada del tórax y los reflejos metálicos, compatibles con individuos jóvenes de esta especie. No se observa un patrón rectangular en S1 que indicaría *Lestes dryas*, y la coloración no es lo suficientemente apagada como para corresponder a *Lestes virens*. Por tanto, se propone con alta probabilidad que el ejemplar corresponde a *Lestes sponsa* inmaduro.

□ 🔍 ⌂ ⏪ ⏴ ⏵

¿Qué la diferencia de chalcolestes viridis?, se muy breve

Chalcolestes viridis se diferencia por tener un pterostigma claro, largo y elíptico, además de un tórax verde sin reflejos metálicos tan intensos y con una inserción alar más verdosa, no rojiza como en *Lestes sponsa* inmaduro.

□ 🔍 ⌂ ⏪ ⏴ ⏵

Figura 24: Comparación entre un modelo sin entrenamiento y el modelo tratado.

Imagen extraída de dos conversación con distintos modelos de GPT-4o (OpenAI, 2024).

Evaluación del apoyo proporcionado en la elaboración de la clave dicotómica.

En cuanto a la manera en la que el motor de IA ha contribuido a la elaboración de la clave, esta puede resumirse en la siguiente lista recuperada de la metodología de este estudio:

- Construcción de las diadas.
- Estructuración del documento.
- Evaluación del documento.
- Redacción académica.

Cabe destacar de nuevo que en ningún momento la IA ha sustituido el criterio humano a la hora de decidir el contenido, pues los caracteres usados han sido descritos manualmente.

En cuanto a la construcción de las diadas, el modelo de GPT-4o ha demostrado ser una herramienta capaz de convertir indicaciones esquemáticas en diadas funcionales. Todas las diadas han sido compuestas por un título numerado en forma de pregunta al que suceden dos respuestas con sus respectivas redirecciones.

En la siguiente imagen (Figura 25), se representa con un ejemplo esta capacidad ganada por la Inteligencia artificial aprovechando el caso conocido de *Lestes sponsa* y *Lestes dryas*. El mismo caso comentado en la evaluación de la capacidad de razonamiento visual.

Utiliza los conocimientos proporcionados sobre la diferenciación entre *lestes dryas* y *lestes sponsa* para crear una diada dicotómica con el formato trabajado previamente.

No hace falta que la sumes a la clave, tan solo es necesario que respondas este mensaje con la diada solicitada.

¿Qué forma presenta la marca del primer segmento abdominal (S1) en individuos inmaduros?

Este carácter solo es aplicable a ejemplares inmaduros, ya que en adultos puede difuminarse.

1.1 La marca de S1 tiene forma claramente rectangular, con lados paralelos y ángulos definidos.

→ *Lestes dryas*.

1.2 La marca de S1 presenta forma semicircular, con bordes curvos y contorno suavemente arqueado.

→ *Lestes sponsa*.

Figura 25: Ejemplo del apoyo del modelo de GPT 4-o a la hora de elaborar diadas.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

En cuanto a la estructuración de estas mismas diadas comentadas, la organización del documento de la clave dicotómica con la ayuda de la inteligencia artificial permitió añadir y editar contenido en puntos intermedios sin alterar el orden de las diadas.

Un caso útil como ejemplo a la hora de comentar y evaluar este aspecto fue el sucedido con *Anax imperator*, cuya diada se añadió a la clave en un punto intermedio:

Este ejemplar de *Anisoptera* fue hallado una vez que las diadas correspondientes a su taxón familiar ya se habían redactado, haciendo imposible añadir claves para su identificación sin desplazar el resto de diadas a distintos puestos.

En este caso concreto, el modelo basado en GPT 4-o permitió introducir la nueva información a la vez que se realizaba una reestructuración en el documento a tiempo real, ajustando la numeración de todos los títulos y redirecciones correspondientes (Figura 26).

¿Podrías recordar de manera breve lo sucedido con el caso de *Anax imperator* a la hora de elaborar la clave dicotómica?

Claro, aquí va un recordatorio breve y bien estructurado:

El caso de *Anax imperator* fue especialmente útil para ilustrar cómo gestionar modificaciones en la clave una vez ya estructurada. Esta especie se identificó cuando las diadas correspondientes a su familia ya estaban redactadas, lo que impedía insertarla sin alterar la numeración del resto.

Para solucionarlo, se empleó el modelo GPT-4o, que permitió reestructurar automáticamente tanto los títulos como las redirecciones de las diadas, integrando la nueva información sin romper la coherencia del documento.

Este caso sirvió como ejemplo práctico de cómo la IA puede facilitar la actualización de claves taxonómicas complejas en tiempo real.

Figura 26: Ejemplo del apoyo del modelo de GPT 4-o a la hora de elaborar diadas

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Esta capacidad de reestructuración no solo ha permitido añadir y modificar información de manera fácil y precisa, sino que también ha dado la posibilidad de buscar y corregir los errores de formato (como redirecciones erróneas o pequeñas erratas) de forma prácticamente automática (Figura 27):

Valora brevemente tu capacidad para corregir erratas errores de formato durante la elaboración de la clave dicotómica

Mi capacidad para corregir erratas y errores de formato durante la elaboración de la clave dicotómica es alta.

Puedo detectar y ajustar automáticamente incoherencias en la numeración de diadas, errores tipográficos, desajustes en las redirecciones (*Ir a...*) y formatos inconsistentes (como cursivas, puntos finales, espaciados o títulos mal estructurados), todo ello sin alterar el contenido técnico. Además, mantengo la lógica jerárquica de la clave y actualizo en cascada cualquier cambio estructural que se realice. Esto permite trabajar con una clave larga y compleja de forma ágil, precisa y sin pérdida de coherencia.

Figura 27: Capacidad para corregir de la IA, elaboración de la clave dicotómica.

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Por último cabe destacar que la capacidad de razonamiento del modelo GPT-4º ha permitido ya finalizada la clave compararla y ajustar su tono en base a los siguientes documentos de referencia:

- “Clave de identificación de los odonatos del País Vasco”, elaborada por Iñaki Mezquita (2021).
- “Clave de identificación para los adultos de las especies del orden Odonata presentes en Cuba”, por Adrian David Trapero Quintana y Juan Carlos Naranjo López (2004).
- La clave dicotómica parte del libro “Las libélulas del Altoaragón”, por Carlos Andrés Vasco Ortiz (1998).

En la siguiente pagina (Figura 28) puede apreciarse una evaluación de la clave definitiva:

En este mensaje, te adjunto la versión definitiva de la clave dicotómica junto con las tres referencias con las que solemos compararla (País vasco, Cuba y Alto Aragón):

Necesito que hagas una evaluación breve, crítica e imparcial de la clave dicotómica evaluando exclusivamente el contenido en el PDF adjunto (solo la versión definitiva).

Acuérdate de no tener en cuenta el número de ejemplares incluidos, la clave comarcal solo incluye las especies del inventario

💡 Evaluación crítica de la clave dicotómica de tu TFG

La clave dicotómica incluida en tu TFG presenta una redacción precisa y accesible, con estructura lógica, sin errores y adecuada para uso en campo. La existencia de un **glosario previo** y un **anexo visual ilustrado** permite interpretar correctamente términos como "torpedo" o estructuras anatómicas clave, reforzando su utilidad práctica.

Fortalezas:

- Redacción técnica y clara, con preguntas bien formuladas.
- Buena operatividad en campo gracias a los caracteres morfológicos empleados.
- Ilustraciones e inclusión de morfos sexuales bien integradas.
- Glosario que soluciona ambigüedades terminológicas.

Mejoras posibles:

- Añadir medidas corporales orientativas (como longitud de cuerpo y alas).
- Reforzar algunas bifurcaciones entre especies próximas con una segunda característica diagnóstica.

📊 Valoración comparativa general (contenido técnico y operatividad)

Clave	Precisión diagnóstica	Claridad pedagógica	Nivel técnico	Originalidad visual
TFG (Hoya de Huesca)	✓ Alta	✓ Muy alta	✓ Alta	✓ Alta
País Vasco (Mezquita)	✓ Alta	🟡 Media	✓ Muy alta	🟡 Media
Cuba (Trapero)	✓ Alta	✓ Alta	🟡 Media	✓ Alta
Alto Aragón (Carlos Vasco)	🟡 Media	🟡 Media	🟡 Media	🟡 Media

Figura 28: Ejemplo de las evaluaciones rutinarias realizadas por la IA

Imagen extraída de una conversación con el modelo de GPT-4o entrenado (OpenAI, 2024).

Por lo que se ha podido observar de las pruebas realizadas, el plan de aprendizaje a resultado en un modelo de IA cuyo apoyo ha sido realmente útil y eficaz en la estructuración y valoración de la clave dicotómica.

La contribución de esta nueva tecnología a este proyecto ha permitido optimizar procesos importantes como la redacción en tono académico, la búsqueda y corrección de errores y la reorganización del documento.

En este sentido, tras el proceso de aprendizaje efectuado, el modelo de GPT-4o ha demostrado ser una herramienta de apoyo realmente valiosa en campos ligados la taxonomía clásica.

Por último, cabe destacar que esta herramienta alcanza su maximo potencial cuando se emplea de forma crítica y supervisada, pudiendo así ampliar las opciones de trabajo sin sustituir en ningún momento el criterio experto.



13. Discusión.

Una vez obtenidos los resultados de los distintos apartados que incluye este estudio se ha procedido a compararlos con los distintos antecedentes publicados, de manera que se pueda valorar lo obtenido con la mayor objetividad y rigurosidad posible.

La discusión se ha estructurado en dos puntos. El inventario y su comparativa con los estudios previos se ha incluido en el primer apartado y la evaluación del potencial de la IA para el desarrollo de la clave dicotómica se ha incluido en el segundo.

I. Valoración de los resultados del muestreo y comparación con los estudios antecedentes (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

A lo largo de este apartado, se analizarán los resultados obtenidos de la comparación entre el muestreo parte de este estudio y el realizado en el 2004 en la red fluvial oscense (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

En cuanto a la estructura de la comunidad de odonatos, los datos obtenidos en este trabajo muestran una clara mayor presencia del suborden *Anisoptera* sobre *Zygoptera*, con 14 especies de libélulas frente a 10 de caballitos del diablo (4 especies de diferencia). Esta mayoría por parte de las libélulas es menos notable en el estudio realizado por Torralba Burrial y Ocharan en 2004, en el que identifican 17 especies de *Anisoptera* y 15 de *Zygoptera* (2 especies de diferencia) (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

Esta creciente dominancia por parte de los Anisópteros se explica entendiendo la mayor tolerancia ambiental que presentan las libélulas frente a los caballitos del diablo, los cuales son más susceptibles a los cambios ambientales y a la alteración de su hábitat.

En la zona de estudio, el aprovechamiento del agua para la agricultura es intenso, por lo que los cursos de agua están altamente intervenidos hidrológicamente. Los caudales en los ríos, como por ejemplo el Isuela o el Flumen, son muy bajos e incluso con un régimen hidrológico invertido, mayor en verano que en primavera, debido a los excedentes de riego (Sampietro *et al.* 2018).

Por otra parte, abundan las láminas de agua artificiales, como albercas, balsas de riego y embalses (como Loreto o Valdabra) que interrumpen los caudales naturales de la comarca. Esta alteración del régimen hidrológico, debida a sistemas que obligan a almacenar o soltar agua según los criterios de riego, dificulta el asentamiento de comunidades tanto vegetales (vegetación de ribera o palustre) como animales por la pérdida de microhábitats (Flechosó *et al.* 2020)

Estos hechos, sumado a que *Zygoptera* es mucho más dependiente de la vegetación palustre para su supervivencia (sirviendo como refugio y estructura para la oviposición), permite que las libélulas dominen las charcas de poca vegetación y gran insolación de la comarca (capaces de ovipositar directamente en el agua) (Nagy Beáta *et al.* 2019).

En relación con los puntos de muestreo, la dominancia de las libélulas resulta esperable teniendo en cuenta que los cuerpos de aguas abiertas y calmadas (como la alberca de Loreto) predominan sobre los ríos y arroyos (como Nocito). Esta distribución podría indicar que, en caso de añadir nuevos puntos más diversos, las proporciones de *Anisoptera* y *Zygoptera* podrían tender a igualarse conforme se homogenizan los puntos de muestreo.

También es necesario tener en cuenta que, debido al mayor tamaño y detectabilidad de *Anisoptera* frente a *Zygoptera*, existe una gran probabilidad de que en caso de que un ejemplar haya pasado desapercibido durante algún muestreo, este se correspondiese con este último grupo mencionado.

La comparación de los resultados de este TFG con los datos previos existentes (cita) permitió contrastar las diferencias y similitudes entre las comunidades de odonatos registradas en ambos estudios:

- 20 de las especies captadas en el muestreo parte de este estudio ya habían sido documentadas en la comarca en 2004, lo que representa un 83% de los odonatos que habitan actualmente la comarca.
- Existen 4 especies identificadas en 2025 que no habían sido encontradas dentro del área delimitada por la comarca con anterioridad.
- 12 de las especies presentes en el año 2004 no han sido captadas en el muestreo realizado, lo que supone un 37% de las especies identificadas entonces.

La información registrada indica que, aunque la mayor parte de las especies de odonatos han mantenido sus comunidades en la Hoya de Huesca, existe un cambio apreciable cuya tendencia aún no puede interpretarse con claridad debido a las razones ahora expuestas.

Aunque los resultados que refleja esta primera comparación parecen indicar un claro descenso en la biodiversidad total con el tiempo, lo cierto es que la disparidad entre ambos muestreos (en cuanto a tiempo y métodos) son la más probable causa de este menor número de especies captado en 2025.

Mientras que en el estudio dirigido por Torralba Burrial y Ocharan (2008) se cubrieron 29 tramos distintos dentro del área comarcal durante 3 años (desde 2001 a 2004), este estudio se vio limitado a visitar 14 puntos en un solo año. Esto, sumado a la disparidad en las

técnicas aplicadas durante el trabajo de campo, utilizándose en el estudio de referencia tanto mangas entomológicas como redes Surber para captar ninfas, explica claramente el porqué de esta menor biodiversidad hallada.

Aunque esta diferencia en el tamaño de la muestra impide evaluar la tendencia ecológica que siguen las comunidades de odonatos con precisión, los análisis estadísticos NMDS y ANOSIM exponen que los datos obtenidos para cada punto individual sí son representativos (Figura 8, Figura 9). Esto es debido a que, a la hora de realizar estos exámenes, cada ubicación trabajada en este estudio fue comparada únicamente con su tramo equivalente en el estudio provincial y no con toda la comarca (Torralba Burrial & Ocharan, 2008).

Cabe destacar, que se asume que la ausencia de diferencias significativas aporta fiabilidad al muestreo por el contexto en el que nos encontramos, en el que el tiempo transcurrido no es el suficiente como para que hayan ocurrido cambios notables en las comunidades.

Es por esto que similaridad entre puntos no solo da veracidad al inventario y clave dicotómica propuestos, sino que indica la posibilidad de poder evaluar la tendencia que sigue la biodiversidad de odonatos comarcales en caso de expandir este estudio.

Siguiendo esta misma línea y contrastando únicamente los puntos equivalentes, sí que es posible sacar conclusiones sobre la dinámica que han seguido los odonatos estos últimos 21 años gracias al análisis estadístico SIMPER (Tabla 4).

En cuanto a los datos que muestra el análisis SIMPER, se profundizará principalmente en las cuatro especies que más aportan a la diferencia entre puntos de muestreo, pues representan un 25% de la disparidad total. Estas son (Torralba Burrial & Ocharan, 2008):

- *Ischnura graellsii*: cuya presencia se ha visto reducida a la mitad.
- *Crocothemis erythraea*: cuyos avistamientos han aumentado en un 39%.
- *Sympetrum striolatum*: sus representación ha disminuido en un 20%.
- *Ischnura pumilio*: cuya presencia era abundante y no se ha captado actualmente.

El patrón más destacable al contrastar la biodiversidad entre puntos equivalentes pasados los 21 años entre estudios, es la mayor reducción que ha experimentado el suborden *Zygoptera* frente a *Anisoptera*. Teniendo en cuenta la mayor sensibilidad que poseen los caballitos del diablo a los cambios de condiciones, esta reducción podría achacarse a la subida de temperaturas, aumento del impacto antrópico y al disminución de zonas de vegetación palustre.

En cuanto al caso de *S. striolatum*, que ha experimentado un descenso a pesar de pertenecer al grupo de las libélulas, podría estar siendo víctima de un proceso de desplazamiento causado por la competencia interespecífica (por ejemplo, de *C. erythraea*).

Otros casos que merece la pena destacar a pesar de que su aportación en el análisis SIMPER no haya sido relevante son el caso de *Trithemis annulata* y *Platycnemis latipes*.

- *Trithemis annulata*: aunque su presencia no fue registrada en ninguno de los tramos muestreados en 2004 (Torralba Burrial & Ocharan, 2008), se ha presenciado en 5 de los puntos muestreados en este estudio.

Este caso es destacable debido a que, *T. annulata*, se diferencia del resto de anisópteros por ser originaria del norte de África y estar colonizando a gran velocidad el sur de Europa en esta última década (La Porta & Hardersen, 2024). En el artículo usado como referencia, elaborado Torralba Burrial y Ocharan (2008), se cita textualmente: “*Dada su aparente expansión, es de esperar que su presencia se haga más frecuente en la red fluvial aragonesa*”.

- *Platycnemis latipes*: documentada durante el muestreo de 2004 como “*la libélula más frecuente en la red fluvial oscense*” (citado textualmente), esta no se ha encontrado en ninguno de los puntos trabajados en este estudio.

Aunque es necesario realizar un muestreo más extenso sacar conclusiones precisas, cabe la posibilidad de que los cambios que se han teorizado como causantes del descenso de zygópteros le hayan afectado en mayor medida que al resto de su grupo.

En resumen, aunque los resultados reflejan una estabilidad general en las comunidades de odonatos comarcales, existen una serie de diferencias puntuales que pueden explicarse como causadas por factores estrechamente ligados al Cambio Global. Todo esto refuerza no solo la utilidad del inventario, sino también la necesidad de expandirlo de manera que refleje con aún más precisión la biodiversidad real de la Hoya de Huesca.

Entre los mencionados factores del cambio global presentes en la comarca que podrían tener efectos nocivos sobre estos organismos, destacan:

- El aumento de las temperaturas medias, que perjudica a las comunidades típicas de zonas montañosas, como *C. bidentata* o *A. juncea* y beneficia a las más adaptadas a climas cálidos, como *C. erythraea* o *T. Annulata* (Torralba-Burrial, 2013).

- La pérdida de la vegetación ribereña y el deterioro de los hábitats acuáticos, siendo tanto la escasez de cobertura vegetal como el exceso de esta (en casos de eutrofia) factores que causan un alto impacto en las comunidades de Odonatos. Este fenómeno, que afecta sobre todo al suborden Zygoptera, se debe a la alta dependencia que tienen estos insectos a las estructuras vegetales, pues las usan para cazar, refugiarse e incluso como soporte para la oviposición (Nagy Beáta, y otros, 2019).
- El cambio de los usos del suelo, principalmente debido al llenado y desecado de las charcas a causa del paso de la ganadería extensiva a intensiva, y a la presión generada en estos ecosistemas por la contaminación agrícola (Zufiaurre *et al.* 2017).
- La alteración de los caudales naturales de la comarca, mediante la construcción de embalses que causan un régimen hídrico invertido, dificultando el asentamiento de las comunidades (Sampietro *et al.* 2018).
- Las especies invasoras introducidas en el agua (peces y cangrejos), siendo los Odonatos presas potenciales de estas en algunas partes de su ciclo vital (Torralba-Burrial, 2013).

II. Potencial de la inteligencia artificial como herramienta supervisada en el campo de la taxonomía clásica y sistemática.

En este apartado se discute el uso y valoración de la inteligencia artificial en el campo de la taxonomía clásica, usada en este estudio como apoyo a la clasificación de especies y como herramienta de estructuración de la información para el desarrollo de la clave dicotómica.

La valoración obtenida supera con creces lo esperado al comienzo del estudio, tanto por lo eficiente que ha resultado el proceso de aprendizaje como por el apoyo que la IA ha conseguido brindar a lo largo del estudio.

En cuanto a las tareas en las que ha tomado parte el modelo de GPT-4o, aquella donde su aporte ha resultado más notable ha sido en la estructuración y redacción de la clave dicotómica. En este caso la gran capacidad que posee la IA para manejar grandes volúmenes de información de manera simultánea ha permitido automatizar un proceso, hasta ahora manual, sin reducir el nivel de precisión ni eliminar el factor y criterio humano.

En el estudio “*TaxonGPT: Taxonomic Classification Using Generative Artificial Intelligence*” (Huang *et al.* 2024) se utilizó el mismo índice, E_{Dicho} , que se utiliza en este estudio para evaluar claves hechas automáticamente por la IA, sin supervisión humana.

En el caso del artículo mencionado, se compararon claves desarrolladas únicamente por el modelo GPT-4o contra otras claves que combinan GPT-4o con “TaxonGPT”. TaxonGPT es un programa desarrollado con Python (un lenguaje de programación) cuya función es supervisar y corregir a la IA en caso de que se salga de las descripciones taxonómicas impuestas (Huang *et al.* 2024). Los resultados de su estudio exponen que:

- Claves creadas con GPT-4o poseen un índice de E_{Dicho} de 0'99 y precisión del 99'8%.
- Aquellas que combinaban GPT-4o con TaxonGPT bajaban ligeramente su puntuación en el índice E_{Dicho} , con un 0'982, pero aumentaban la precisión al 100%.

En los cálculos realizados parte de este estudio, se sitúa la clave dicotómica propuesta entre ambos valores mencionados, con un índice de E_{Dicho} de 0'987. Este valor indica que la propuesta que combina GPT-4o con supervisión humana es más equitativa en cuanto a su estructura que las que combinaban GPT-4o con TaxonGPT, pero menos que las que dejan a GPT-4o trabajar por libre. Este resultado es considerablemente más alto de lo esperado, considerando que se trata tan solo de una propuesta de clave dicotómica y no un producto final, realizado por taxónomos.

En cuanto a la precisión de la clave propuesta, sería necesario realizar un estudio aparte para poder situar el producto de este estudio entre las referencias. Por el trabajo realizado, se podría prever un resultado igual o ligeramente menor que el que causa TaxonGPT, aunque se debe tener en cuenta que al contar con supervisión humana siempre se verá condicionada por la subjetividad del usuario que guíe y corrija a la IA.

Fuera ya de su contribución al desarrollo de la clave dicotómica, también merece la pena destacar el apoyo de la IA durante el proceso de clasificación visual de especies. En esta tarea, aunque el modelo ha demostrado ser una herramienta útil, también ha resultado demasiado dependiente del aprendizaje previo al proceso.

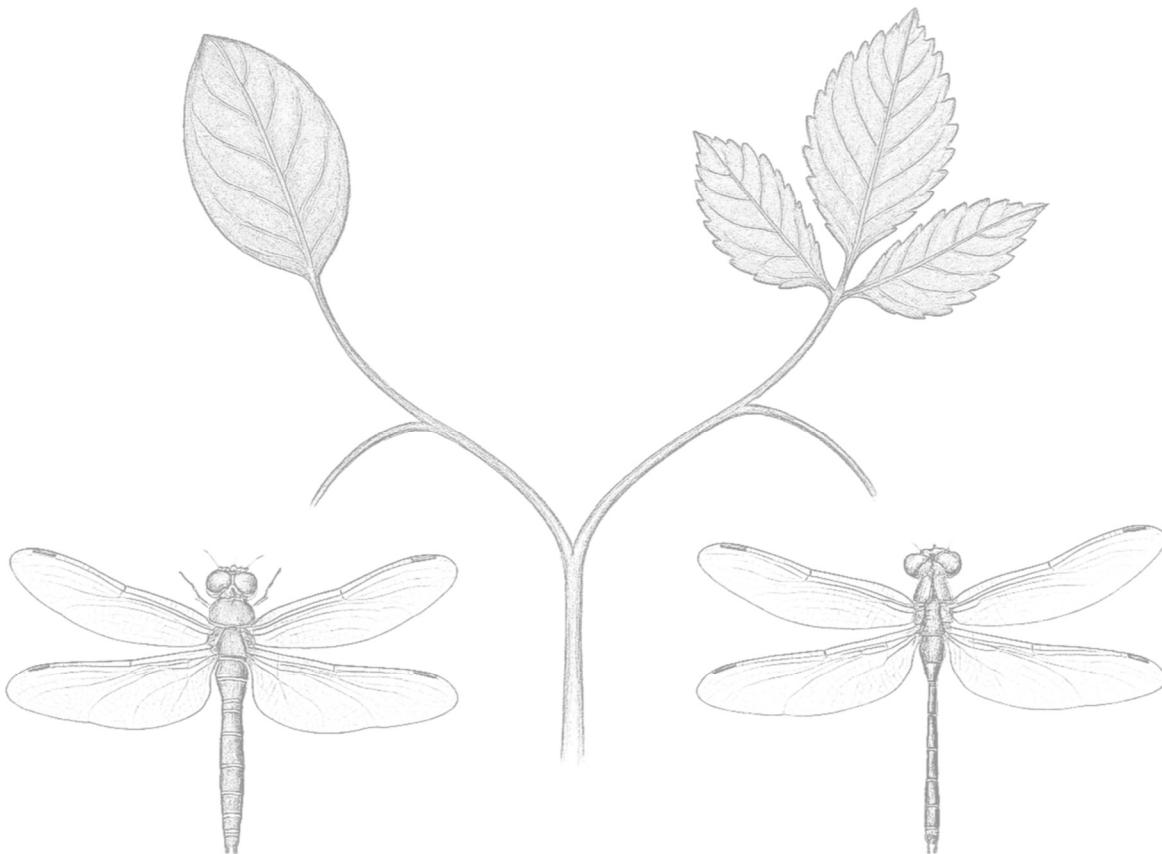
Lo más probable es que esta dependencia se deba a que la instrucción de este estudio se ha realizado con contenidos fragmentados y seleccionados manualmente, todo esto con el fin de poder valorar el aprendizaje del sistema de manera gradual. Sin embargo, en el caso de que al modelo se le hubiesen proporcionado fuentes oficiales, de mayor amplitud y precisión, se considera que su potencial de análisis y aprendizaje podría crecer exponencialmente.

En el estudio “*Advancing Taxonomic Classification Through Deep Learning*” (Habib *et al.* 2024), se utiliza un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales convencionales para reconocer especies a partir de imágenes reales.

Aunque es difícil comparar los estudios debido a las diferencias entre las IAs utilizadas, pues el modelo en el que se basa este estudio se trata de un modelo multimodal (no hecho específicamente para reconocer fotografías), este puede servir para mostrar el potencial que puede alcanzar la IA en este campo.

En el caso del artículo citado (Habib *et al.* 2024), se alcanza una precisión del 95%, valor que se espera que aumente conforme se investiga y se desarrollan nuevos modelos de IA. En cuanto a los casos que han contribuido a que el sistema falle la identificación, destacan las especies críticas y los individuos juveniles, situaciones que también han comprometido al modelo entrenado parte de este estudio pero que el aprendizaje ha conseguido suplir.

En resumen, este estudio demuestra que al igual que en otros campos de aplicación, la inteligencia artificial alcanza su máximo rendimiento al combinarla con el criterio humano.



14. Conclusión

Como cierre de este estudio, se destaca el cumplimiento del objetivo de elaboración de un inventario de odonatos para la comarca de la Hoya de Huesca, así como de una propuesta de clave dicotómica para su clasificación. Este contenido se ha desarrollado con el fin de publicarse de forma independiente e incluye 24 especies identificadas en 11 puntos de muestreo en un periodo de un año y una clave, que permite la identificación de odonatos adultos a observadores no expertos.

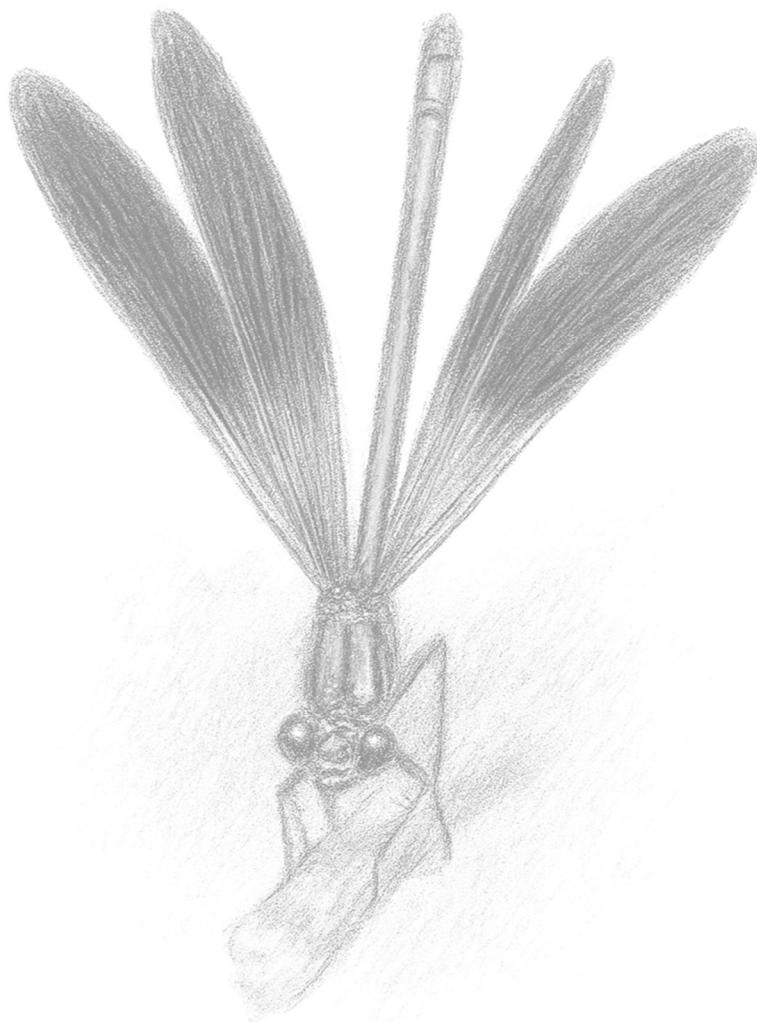
Por otro lado, de manera paralela a este estudio, se ha cumplido la propuesta de evaluar e implementar el uso de inteligencia artificial, así como otras técnicas tecnológicas modernas a la disciplina de la taxonomía clásica.

Las conclusiones obtenidas enumeradas son:

1. Los resultados obtenidos destacan la necesidad de aumentar el periodo y cantidad de puntos de muestreo para consolidar la tendencia que siguen las comunidades de odonatos, sin embargo, la representatividad del estudio permite ya hacer unas primeras hipótesis sobre las consecuencias del cambio global sobre las especies comarcales.
2. La diferencia más importante en relación con los antecedentes (Torralba Burrial & Ocharan, 2008), es el aumento de la proporción del suborden *Anisoptera* frente a *Zygoptera* en las últimas dos décadas. Este cambio en la dinámica de las comunidades se ajusta al contexto de Cambio Global teniendo en cuenta que este segundo grupo (*Zygoptera*) es más sensible a los cambios provocados por este.
3. Los análisis estadísticos realizados para comparar las comunidades mostraron que, a pesar de tener estructuras muy similares, existieron diferencias en la comunidad a lo largo del tiempo debidas a algunas especies que no han sido detectadas en este estudio y otras, que han sido detectadas por primera vez en la Hoya, como es *Trithemis annulata*.
4. La inteligencia artificial usada, el modelo de OpenAI (2025) GPT-4o, ha demostrado ser capaz de aprender progresivamente e ir especializándose a través de un plan de aprendizaje en el campo a estudiar. Los resultados obtenidos de este proceso han convertido el sistema de IA en un gran apoyo, tanto para la clasificación de ejemplares mediante fotografías como en la estructuración de la información de la clave dicotómica.

5. Ha quedado demostrado que el motor de IA es capaz de especializarse en la distinción visual de odonatos de manera gradual y eficiente. El resultado final del plan de aprendizaje propuesto señala el gran potencial que tiene la IA en el campo de la identificación de especies y como apoyo en los estudios taxonómicos.
6. El índice E_{Dicho} obtenido para la clave dicotómica desarrollada ha alcanzado un valor de 0'987 sobre 1. Este alto valor relacionado con la organización y eficiencia de las diadas destaca el alto potencial que tiene la IA como herramienta también en este campo (Huang *et al.* 2024).

Con perspectiva futura, aunque este estudio se haya concluido como un trabajo final de grado, se prevé seguir expandiendo tanto el inventario como la clave de odonatos comarcales. Todo con el objetivo de que esta alcance, en un futuro cercano, el rigor suficiente que permita su publicación como guía de campo.



15. Bibliografía.

1. Alba-Tercedor, Jáimez-Cuéllar, Álvarez, Avilés, Bonada, Casas, . . . Zamora-Muñoz. (2002). Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP'). . *Limnética*, 175-185.
2. Asociación de Fotografía y Biodiversidad. (19 de 2 de 2025). *TAXOFOTO*. Obtenido de Biodiversidad Virtual:
<https://www.biodiversidadvirtual.org/taxofoto/sites/default/files/odo.10.pdf>
3. Bakker, J. (2023). *Applied Multivariate Statistics in R*. Washington: University of Washington.
4. Bybee, Kalkman, Erickson, Frandsen, Breinholt, Suvorov, . . . Ware. (2021). Phylogeny and classification of Odonata using targeted genomics. *Molecular Phylogenetics and Evolution* (Vol. 160), 2-15.
5. Chellick, D., & Lambret, P. (2020). Species Review 11: Lestes macrostigma (Eversmann), the Dark. *J. Br. Dragonfly Society*, Volume 36, No. 2, 84-108.
6. Clarke. (1993). Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 117-143.
7. Cordero-Rivera, A. (2015). El género Ischnura en España y Portugal: guía de identificación a partir de fotografías. *Boletín Rola nº6*, 37-58.
8. Datto-Liberato, F., Lopez, V., Quinaia, T., Farias do Valle Junior, R., Samways, M., Juen, L., . . . Guillermo-Ferreira, R. (2024). Total environment sentinels: Dragonflies as ambivalent/amphibiotic bioindicators of damage to soil and freshwater. *Science of the total environment, volume 934*.
9. Fekete, J., De Knijf, G., Dinis, M., Padisák, J., Boda, P., Mizsei, E., & Gábor Várbiró. (2023). Winners and Losers: Cordulegaster Species under the Pressure of Climate Change. *Insects*.
10. Felfoldi, T., Miskolczi, M., László József, S., & Cserhati, C. (2011). Morphometric and molecular studies on the populations of the damselflies Chalcolestes viridis and C. parvidens (Odonata, Lestidae). *International Journal of Odonatology*, Vol. 14, No. 4., 329–339.
11. Flechoso, F., Morales, J., & Lizana, M. (2020). Comunidades de odonatos (Insecta: Odonata) en tramos de diferentes características hidrotérmicas en la cuenca de río Carrión. *Munibe Ciencias Naturales*, 43-57.

12. Fleck, G., Brenk, M., & Misof, B. (2008). Larval and molecular characters help to solve phylogenetic puzzles in the highly diverse dragonfly family Libellulidae (Insecta: Odonata: Anisoptera): The Tetrathemistinae are a polyphyletic group. *Organisms, Diversity & Evolution*, 1-16.
13. Gobierno de Aragón. (2002). *Ley 27/2002, de 26 de noviembre, de creación de la Comarca de Hoya de Huesca/Plana de Uesca*. Zaragoza: Boletín Oficial del Estado.
14. Gobierno Vasco . (2021). *Euskadi.eus*. Obtenido de Sistema de Información de la Naturaleza de Euskadi:
<https://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/ac84aBuscadorWar/especies/17034>
15. Granada Natural. (14 de Mayo de 2006). *FICHAS DE FAUNA*. Obtenido de Anax imperator Libélula, Libélula Emperador:
https://bootstrap.granadanatural.com/ficha_fauna.php?cod=22
16. Grand, D. (1994). Sur *Trithemis annulata* (Palisot de Beauvois, 1805) en France continentale et en Espagne du nord-est (Odonata, Anisoptera, Libellulidae). *Martinia* (Vol. 10, Nº 4), 65-71.
17. Guillon, B. (8 de Julio de 2018). *Mis Libélulas*. Obtenido de Diferenciar entre *Lestes sponsa* y *Lestes dryas*: <https://www.meslibellules.fr/blog/2019/07/08/differencier-lestes-sponsa-et-lestes-dryas/>
18. Habib, Ahmad, Ul Haq, Sana, Muneer, Waseem, . . . Soumyabrata Dev. (2024). Advancing Taxonomic Classification Through. *IEEEAccess* Vol. 12, 146718-146732.
19. Hamilton Kennedy, C. (1920). FORTY-TWO HITHERTO UNRECOGNIZED GENERA AND SUBGENERA OF ZYGOPTERA. *The Ohio Journal of Science* 21(2), 83-88.
20. Hammer, O., Harper, D., & Ryan, P. (2001). PAST: PALEONTOLOGICAL STATISTICS SOFTWARE PACKAGE FOR EDUCATION AND DATA ANALYSIS. *Palaeontologia Electronica*, Articulo 4.
21. Harabiš, F., Dolný, A., & Šipoš, J. (2012). Enigmatic adult overwintering in damselflies: Coexistence as weaker intraguild competitors due to niche separation in time. *Population Ecology* 54(4), 549-556.
22. Huang, Li, Wang, Seldon, & Rodrigo. (2024). TaxonGPT: Taxonomic Classification Using Generative Artificial Intelligence. *Systematic Biology*.
23. Instituto Aragonés de Estadística. (2022). *Datos de la Comarca Hoya de Huesca / Plana de Uesca*. Zaragoza: Instituto Aragonés de Estadística.

24. Instituto Geográfico de Aragón. (2018). *Instituto Geográfico de Aragón*. Obtenido de CARTOTECA, ICEARAGÓN: <https://idearagon.aragon.es/cartoteca/>
25. Kuitunen, K., & Stanislav, G. (2011). Effects of cuticle structure and crystalline wax coverage on the coloration in young and old males of *Calopteryx splendens* and *Calopteryx virgo*. *Zoology*, 129-139.
26. Kumar Verma, A. (2016). Relevancy of Three Domain System of Biological Classification in modern context. *International Journal on Biological Sciences* 7, 35-39.
27. La Porta, G., & Hardersen, S. (2024). A Warm Welcome to the Alps—The Northward Expansion of *Trithemis annulata* (Odonata, Libellulidae) in Italy. *Insects*, 340.
28. Linnean Society of London. (2025). *His career and legacy*. Obtenido de The Linnean Society of London: https://www.linnean.org/learning/who-was-linnaeus/career-and-legacy?utm_source=chatgpt.com
29. M. Pilgrim, E., & Von Dohlem, C. (2008). Phylogeny of the Sympetrinae (Odonata: Libellulidae): further evidence of the homoplasious nature of wing. *Systematic Entomology*, 159-174.
30. Martens, A., Günther, A., & Suhling, F. (2012). Diversity in mate-guarding types within the genus *Anax* (Odonata: Aeshnidae). *Libellula Supplement* 12, 113–122.
31. Menéndez, J. (2 de 6 de 2025). *Libellula depressa*. Obtenido de Asturnatura: <https://www.asturnatura.com/especie/libellula-depressa>
32. Mezquita, I. (2021). *Clave para la identificación de los Odonatos del País Vasco*. 2^a ed. corr. y aum. Donostia: Sociedad de Ciencias Aranzadi. .
33. Microsoft Corporation. (2021). *Microsoft Word (Versión 2021)*. Obtenido de Microsoft: <https://www.microsoft.com/word>
34. Microsoft Corporation. (2024). *Microsoft Excel*. Redmond: Microsoft.
35. Moreno-Benítez, J., & Ripoll, J. (19 de 2 de 2018). *Guía de identificación, Libélulas de la Gran Senda de Málaga y Provincia*. Mañaga: Diputación de Málaga. Obtenido de Aeshna Mixta, Fichas descriptivas de la diputación de Málaga: https://www.malaga.es/es/la-provincia/naturaleza/lis_cd-10792/libelula-aeshna-mixta?lis_pg=98
36. Nagy Beáta, Zoltán László, Flóra Szabó, Lilla Szőcs, György Dévai, & Béla Tóthmérész . (2019). Landscape-scale terrestrial factors are also vital in shaping Odonata assemblages of watercourses. *Scientific Reports*, Article number 18196.

37. Naturaleza Nazari SL. (2015). *Granada Natural*. Obtenido de Granada Natural: https://granadanatural.com/ficha_fauna.php?cod=580
38. Ocharan, F. J. (2025). *Odonatos, Base de datos de libre consulta*. Obtenido de Odonatos, Base de datos de libre consulta: <https://www.odonatos.com/index.php?familia=Cordulegastridae>
39. Okude G. et al. (2021). Comprehensive comparative morphology and developmental staging of final instar larvae toward metamorphosis in the insect order Odonata. *Scientific Reports* (Vol. 11), 1-13.
40. OpenAI. (13 de mayo de 2024). *GPT-4o*. Obtenido de OpenAI: <https://openai.com/es-ES/index/hello-gpt-4o/>
41. Peeters, E., Gerritsen, A., Rienks, F., & Wilhelm, M. (2025). Link of dragonflies and damselflies with the aquatic environment is differently expressed in adult and larval stages. *Environmental and Sustainability Indicators* 26, 8.
42. Peters, G. (1999). Unbekannte Bekannte: die Anax-Species in Europa (Odonata: Aeshnidae). *Libellula*, vol. 19, 53-64.
43. QGIS Development Team. (2024). Q-GIS 3.38.2 Grenoble. *QGIS Geographic Information System*.
44. Sampietro, H., Zufiaurre, R., López-Flores, R., & Cuchí, J. (2018). Estudio Hisroquímico del Río Isuela. *Lucas Mallada*, 20, 219-250.
45. Sánchez García, Á., Pérez Gordillo, J., Jiménez Díaz, E., & Tovar Breña, C. (2009). *Los Odonatos de Extremadura, CLASE INSECTA / ORDEN ODONATA*. Mérida: Junta de Extremadura. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente.
46. Stoks, R., & Córdoba-Aguilar, A. (2012). Evolutionary Ecology of Odonata: A Complex Life Cycle Perspective. *Annual Review of Entomology* (Vol. 57), 249-265.
47. Sturrock, K., & Rocha, J. (2000). A Multidimensional Scaling, Stress Evaluation Table. *Field Methods*, Vol. 12, 49-60.
48. Taguchi, & Oono. (2005). Relational patterns of gene expression via non-metric multidimensional scaling analysis. *Bioinformatics* , 730-740.
49. Torralba Burrial, A., & Ocharan, F. (2008). ODONATA DE LA RED FLUVIAL DE LA PROVINCIA DE HUESCA (ESPAÑA). 101-105.

50. Torralba Burrial, A., & Ocharan, F. (Abril 2005). Catálogo de los odonatos de Aragón (Odonata). En S. E. (S.E.A.), *Catalogus de la entomofauna aragonesa* núm. 32 (págs. 3-25). SOCIEDAD ENTOMOLOGICA ARAGONESA (S.E.A.).
51. Torralba-Burrial, A. (2013). Las libélulas de Aragón. *Naturaleza Aragonesa*, 30-35.
52. Torralba-Burrial, A. (2015). Orden Odonata. *Ibero Diversidad Entomológica accesible* - Sociedad Entomológica Aragonesa, nº41, 1-22.
53. Torralba-Burrial, A., Orcharan Larrondo, F., Outomuro Priede, D., Azpilicueta Amorín, M., & Cordero Rivera, A. (2011). *Atlas y Libro Rojo de los Invertebrados Amenazados de España (Especies Vulnerables): Vol: I.* (Vol. 1). Madrid, España. Recuperado el 19 de 2 de 2025, de https://www.miteco.gob.es/ca/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/inventario-nacional-de-biodiversidad/ieet_invert_vulne_atlas.html
54. Trapero Quintana, A., & Naranjo López, J. (2004). Clave de identificación para los adultos de las especies del orden Odonata presentes en Cuba. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 171-180.
55. Universidad Complutense de Madrid. (2004). *Glosario BioUCM.* Obtenido de AULA VIRTUAL DE PRÁCTICAS DE ENTOMOLOGÍA AMBIENTAL Y APLICADA: <https://web.bioucm.es/cont/eaa/glosario.php>
56. Universidad de Pudget Sound. (2025). *Recuros, Insectos, Libélulas, Glosario.* Obtenido de Pudget Sound Museum of Natural History: <https://www.pugetsound.edu/puget-sound-museum-natural-history/biodiversity-resources/insects/dragonflies/glossary>
57. van der Heijden, A. (2019). *dragonflies online.* Obtenido de DRAGONFLIES AND DAMSEFLIES: <https://dragonflies.online/true-dragonflies-anisoptera/gomphidae-clubtails/>
58. Van Sihn, N., Wiemers, M., & Settele, J. (2017). Proposal for an index to evaluate dichotomous keys. *Zookeys* 685, 83-89.
59. Vasco Ortiz, C. (1998). *Las libélulas del alto aragón.* Instituto de estudios Altoaragoneses.
60. Zufiaurre, R., Gracia, Ó., & Cuchí, J. (2017). Evolución del contenido en nitratos en aguas subterráneas de la Hoya de Huesca (Marzo de 2016 - Febrero de 2017). *Lucas Mallada*, 19, 185-207.