



# OVIHUEC.DAT

Caracterización de la gestión forestal e impulso socioeconómico en zonas de montaña mediante un rebaño comunal en un entorno digital

## 2.1.1.2

### Claves para utilizar el vallado virtual en animales destinados a la silvopastura

Convocatoria de ayudas de la Fundación Biodiversidad, en régimen de concurrencia competitiva, para apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica (regulada por la Orden TED/1014/2021, de 20 de septiembre, y por la Orden TED/408/2023, de 24 de abril, que modifica la anterior) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia - Financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU para el ejercicio del 2023



### Información del documento

Número de informe	2.1.1.2
Nombre del informe	Claves para utilizar el vallado virtual en animales destinados a la silvopastura
Descripción del informe	Informe técnico sobre el uso de los collares con tecnología de vallado virtual en pequeños rumiantes
Objetivo	2 - Tecnología
Actividad	A2.1 Testeo de collares de geolocalización y vallado virtual
Entidad coordinadora de la actividad	IRTA
Entidades participantes de la actividad	Fundación CTIC, Conselh Generau d'Aran
Palabras clave	Ganadería, Val d'Aran, evaluación, rentabilidad
Autores	Esther Martínez Pujol y Antoni Dalmau Bueno
Colaboradores	
Aprobado por	Antoni Dalmau Bueno

#### Advertencia:

Este documento es propiedad de los miembros que conforman el proyecto OVIHUEC.DAT. No está permitida su copia o distribución en ningún caso sin el consentimiento previo de los propietarios de este, quienes tienen los derechos de autor del presente escrito.

Parte de la convocatoria de la Fundación Biodiversidad y financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU. Sin embargo, las opiniones y visiones expresadas son de los autores del documento y no representan necesariamente las de los entes convocantes y financieros. Por lo tanto, ni la Unión Europea ni la entidad convocante pueden ser responsabilizadas por estas.



## Índice

### 1. Evaluación de la aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

#### 1.1. Metodología

1.1.a) Capacidad técnica de los collares NoFence para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

1.1.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

1.1.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

#### 1.2. Resultados técnicos y de aplicación

1.2.a) Capacidad técnica de los collares de vallado virtual para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

1.2.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

1.2.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

#### 1.3. Discusión

1.3.a) Capacidad técnica de los collares NoFence para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

1.3.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

1.3.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

#### 1.4. Conclusiones

#### 1.5. Referencias

### 2. Recomendaciones para el uso de collares de vallado virtual con rebaños de ovejas.

Anexo 1 - Protocolo de entrenamiento y uso de la aplicación móvil y los collares de vallado virtual NoFence para ovejas.



## 1. Evaluación de la aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

Este apartado pretende resumir el potencial que tienen los collares NoFence destinados a ovino y su aplicabilidad en silvopastura en zonas de montaña.

La evaluación de esta tecnología y su aplicabilidad se centra en la valoración de tres aspectos;

- a) Capacidad técnica de los collares NoFence para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.
- b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.
- c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

Los collares NoFence utilizados en este estudio, diseñados para ovejas y cabras, tienen un peso total aproximado de 0,5 kg y presentan un grado de protección IP67, lo que garantiza resistencia al polvo y a la inmersión temporal en agua. Funcionan en un rango de temperaturas de -25 a +65 °C. El collar está compuesto por una carcasa con dos paneles solares integrados, una batería de ion de litio de 10,05 Ah (36,18 Wh), una correa flexible para la sujeción al cuello del animal y una cadena metálica ajustable que permite adaptar el collar al cuello del animal y asegurar la transmisión del estímulo eléctrico. El funcionamiento del collar se basa en una secuencia de estímulos: ante la aproximación a un límite virtual, el dispositivo emite una señal acústica (un sonido) y, si el animal continúa avanzando, se aplica un pulso eléctrico, que se transmite a través de la cadena y cuya efectividad depende del contacto de la cadena con la piel del animal. La correa incorpora mecanismos de seguridad diseñados para romperse bajo fuerzas excesivas, reduciendo el riesgo de atrapamiento o ahogamiento. La conectividad se realiza mediante redes móviles, con selección automática del operador con mejor cobertura, además de comunicación Bluetooth para mantenimiento y receptor GNSS (GPS y GLONASS) para



el posicionamiento. El sistema se gestiona a través de una aplicación móvil que permite monitorizar a los animales y recibir notificaciones en tiempo real.

## 1.1. Metodología

### 1.1.a) Capacidad técnica de los collares NoFence para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

Los collares NoFence para ovino permiten la recolección de datos relacionados con las conexiones a la red y vía satélite. La evaluación de la capacidad técnica de los collares se centra en la revisión de los parámetros resumidos en la Tabla 1.



Figura 1: Collares de vallado virtual NoFence para ovino y caprino.

**Tabla 1:** Parámetros considerados en la evaluación técnica de los collares de vallado virtual para ovino.



Parámetro	Definición	Unidades / Códigos
<b>Precisión horizontal</b>	Precisión posicional del GPS en el plano horizontal.	Metros (m).
<b>HDOP</b>	Dilución de precisión horizontal: indica la precisión del posicionamiento horizontal en un sistema GPS.	Escala adimensional; valores altos indican baja precisión de la ubicación.
<b>RSSI</b>	Indicador de la intensidad de señal recibida por el dispositivo.	Unidades de intensidad de señal (dBm).
<b>Satélites</b>	Número de satélites utilizados para calcular la posición.	Cantidad (número entero).
<b>Operador GSM</b>	Código MCC-MNC del país y la red móvil del operador.	Código numérico: 21401=Vodafone, 21403=Orange, 21407=Telefónica Móviles España (Movistar).
<b>Fallos y pérdida física</b>	Problemas técnicos y pérdida física o caída de los collares.	Problemas de funcionamiento del collar.  Número de collares desprendidos del animal.

### 1.1.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

Para evaluar el aprendizaje de las ovejas con los collares NoFence se establecieron dos períodos de entrenamiento (E1 y E2). En el entrenamiento E1 participaron 30 animales y duró 9 días. En E2 participaron 90 ovejas, 29 de las cuales ya habían sido



entrenadas en el E1. El E2 duró un total de 13 días. Todos los animales que participaron en E1 y E2 eran ovejas adultas y hembras. En E1 todos los animales eran de raza Ripollesa y en E2 había 60 Ripollesas y 32 Aranesas. Cada animal fue equipado con un collar sin excepción.

Para cada uno de los entrenamientos se seleccionó y cercó, con malla eléctrica, una zona con suficiente alimento para el rebaño para 15 días, agua y sombra, y que presentara una pendiente y número de obstáculos mínimos (Fig. 2). Se definió un cercado virtual alrededor del área vallada del cual solamente una única línea recta de vallado virtual cruzaba el campo de entrenamiento, excluyendo aproximadamente un cuarto del área.

Se analizaron las alarmas y los pulsos registrados para cada animal y día. Las alarmas se definen como las señales acústicas emitidas por el collar al detectar la proximidad al límite virtual, con el objetivo de advertir al animal. Estas alarmas siguen una secuencia tonal ascendente equivalente a una escala diatónica (Do-Re-Mi-Fa-Sol-La-Si), para que el animal pueda identificar más fácilmente en qué dirección no debería ir. Los pulsos corresponden a estímulos eléctricos leves que se aplican únicamente si el animal no modifica su trayectoria tras la emisión de la alarma. El sistema también registra y notifica eventos de escape y regreso al área delimitada por el vallado virtual; sin embargo, estas variables no fueron incluidas en el presente informe.



**Figura 2.** Zonas de entrenamiento de E1 y E2. Se ven representados; el vallado virtual, el vallado físico y los puntos de agua. La imagen especifica las dimensiones del cercado físico de cada área de entrenamiento.



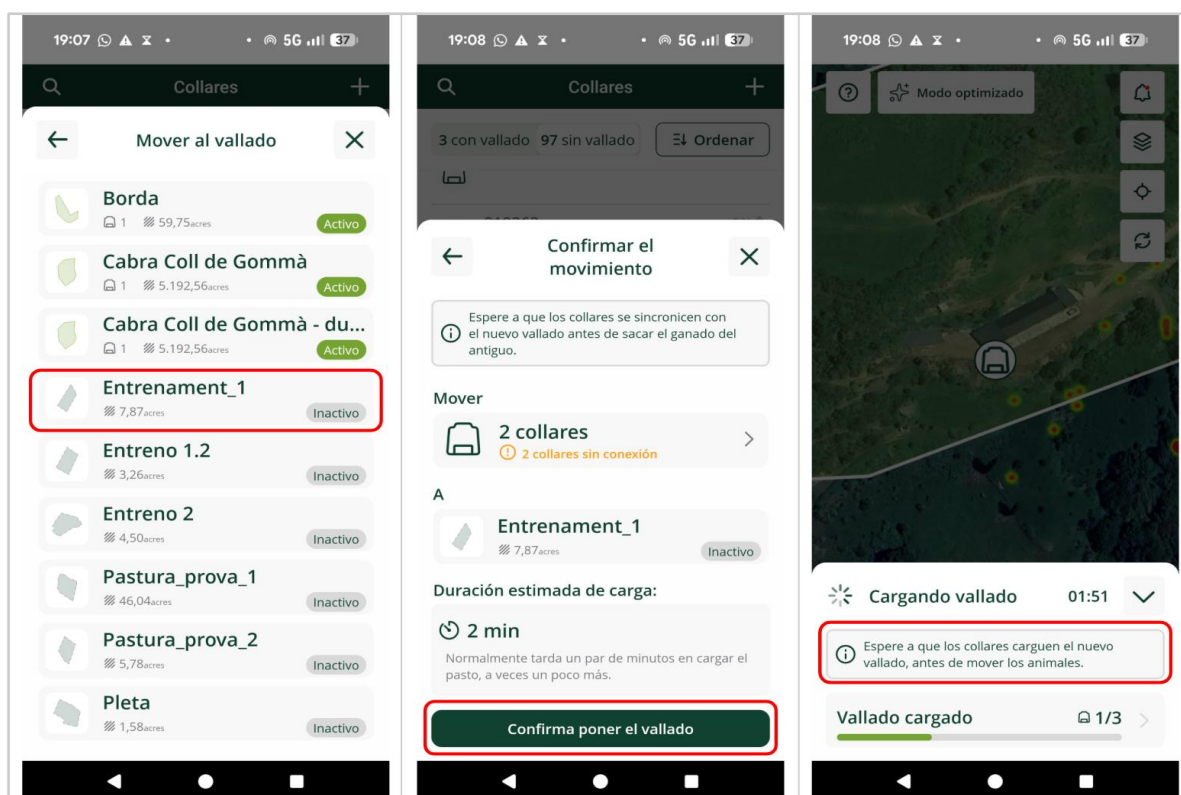
## Pasos previos al entrenamiento de ovejas con collares de vallado virtual

El entrenamiento para que los animales aprendan a utilizar los collares de vallado virtual se estructura en las siguientes secciones:

**Aclimatación al collar:** donde los animales se acostumbraron a llevar el collar. Se dejó mínimo una noche de aclimatación antes de comenzar el entrenamiento.

**Aclimataciones adicionales previas:** donde los animales se adaptaron a dormir fuera de la granja y a la zona donde se realizaria el entrenamiento con unas semanas de antelación. Se realizaron solo una o dos visitas previas, puntuales y cortas, a la zona de entrenamiento para aclimatarlos al lugar, pero sin reducir el pasto disponible.

**Traslado del rebaño al cercado de entrenamiento:** se realizó este proceso causando el mínimo estrés posible al rebaño. Previamente se abrió una zona del cercado físico por donde entró el rebaño y se cerró una vez este se encontró dentro.



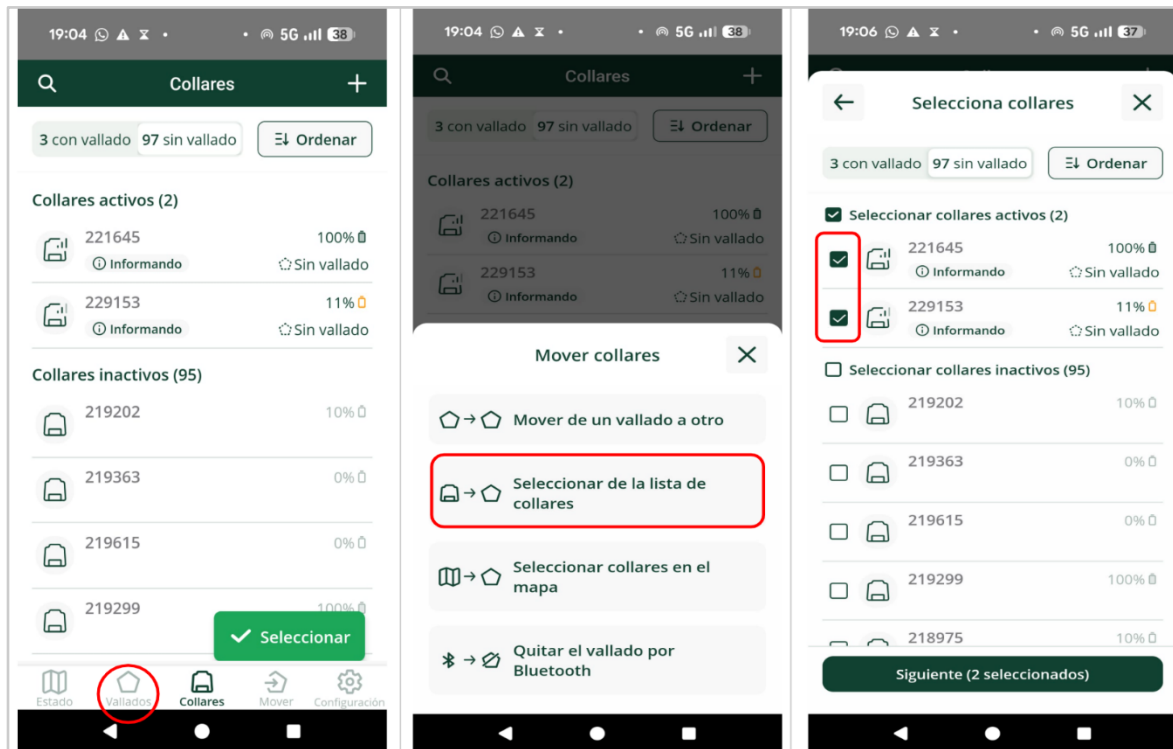


Figura 3. Pasos a seguir en la aplicación móvil de NoFence para activar un vallado.

#### Activación del cercado virtual:

- Se trasladó al rebaño lo más lejos posible del cercado virtual, dentro del cercado físico.
- Se dejaron al menos 15 minutos para que los animales se tranquilizaran y se acostumbraran a la zona. Se esperó a que estuvieran todos pastando.
- Una vez todos los animales estaban tranquilos y dentro de la zona delimitada, se activó el vallado virtual (Fig. 2). Desde la aplicación móvil de NoFence siguiendo los pasos; seleccionar “Collares”, en la parte inferior de la pantalla. Usando el botón “Seleccionar” de la parte inferior de la pantalla, escoger los collares que se encuentran en la zona de pastoreo. Se pueden encontrar collares rápidamente usando la opción “Búsqueda 🔍”. Seleccionar la opción “Mover collares”. Escoger el vallado virtual previamente creado. Esperar a que los collares se sincronicen con el nuevo vallado. Se revisó que los collares y el móvil tuvieran buena conexión antes de comenzar. En caso de mala cobertura, los collares se sincronizaron directamente por Bluetooth, pero requería estar a pocos metros de los animales.

**Entrenamiento con el collar de vallado virtual:** consistió en dejar a los animales dentro del cercado de entrenamiento para que fueran interactuando con el cercado



virtual de manera natural. Las tareas diarias de la persona responsable durante el entrenamiento fueron:

- Evaluar el estado de salud de los animales a través de observaciones visuales del comportamiento y la detección de posibles heridas, cojeras u otras alteraciones físicas.
- Comprobar la disponibilidad de agua y alimento.
- A través de la aplicación móvil controlar el número de pulsos recibidos por cada individuo y excluir temporalmente del vallado virtual a los animales que superen el límite establecido (Fig. 4).
- Realizar un mantenimiento periódico del cercado físico.

**Cambio de posición del cercado virtual:** al alcanzar la estabilización de las interacciones con el vallado virtual este se desplazó a otra zona del cercado físico para asegurar que los animales entendían el sistema. Este punto se realizó una vez que la mayoría de los animales recibían pocos pulsos por las alertas.

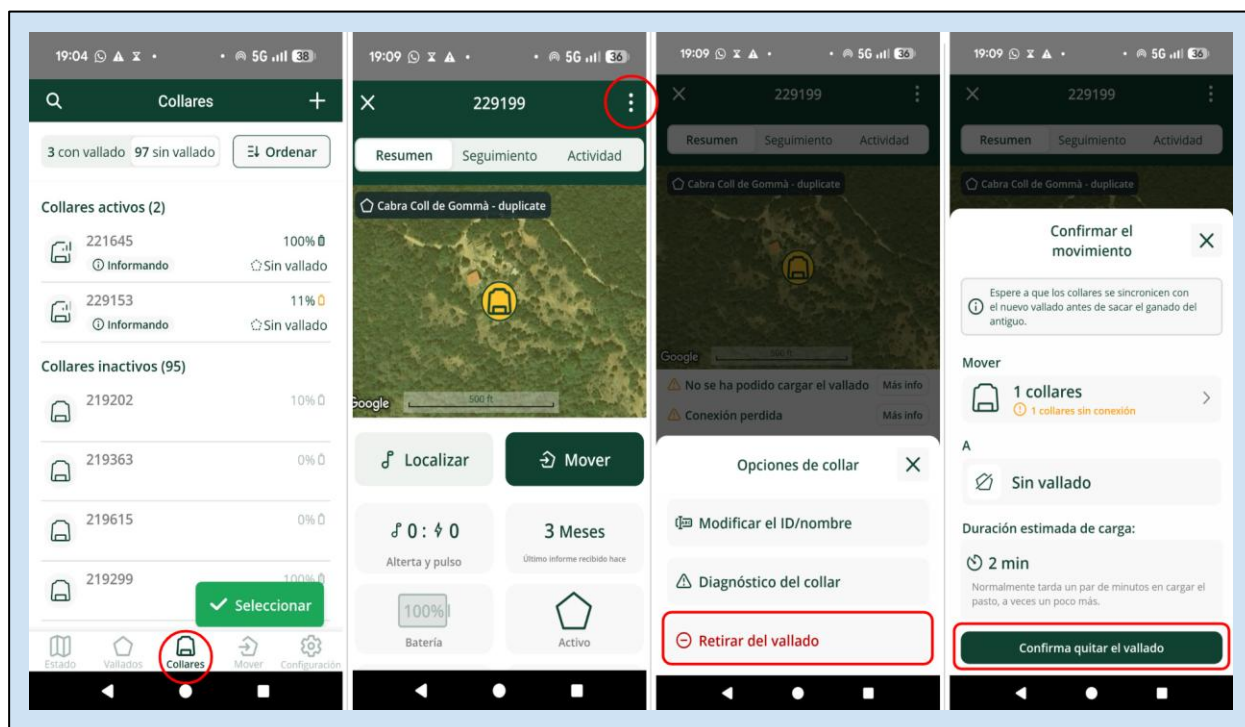


Figura 4. Pasos a seguir en la aplicación móvil de NoFence para retirar un vallado.

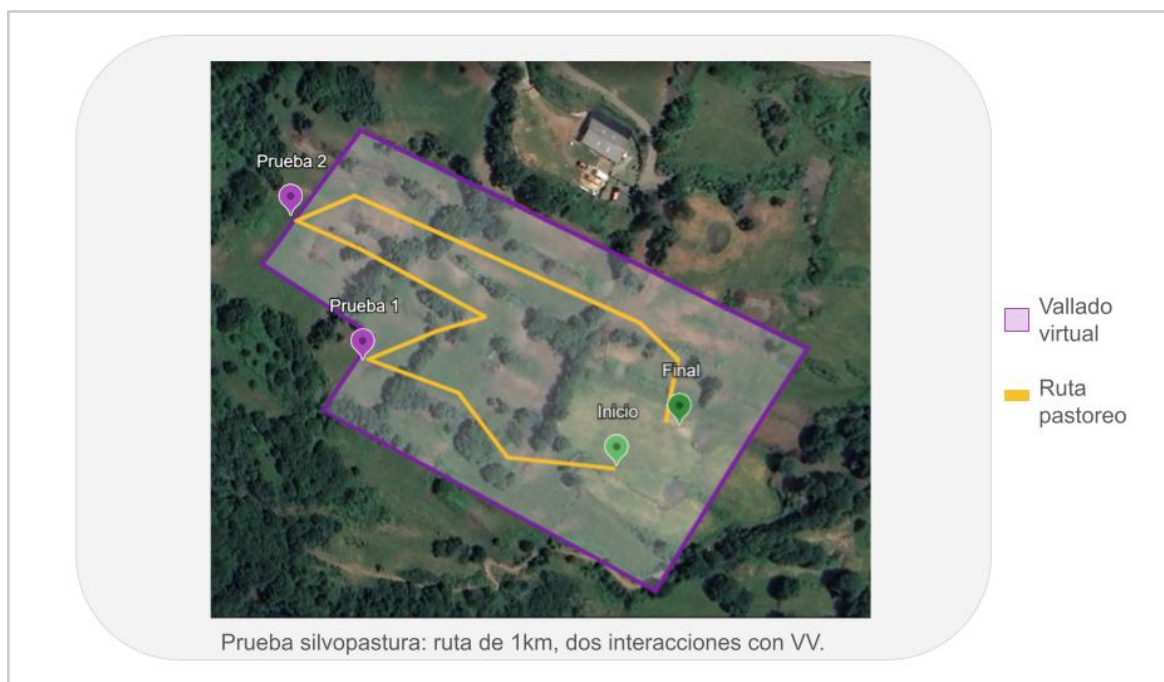


### 1.1.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

En el sexto día del E2 con los collares NoFence se realizó una prueba en condiciones reales de silvopastura con el objetivo de evaluar el comportamiento del rebaño ante el vallado virtual durante un desplazamiento guiado, simulando una situación habitual de manejo extensivo. Se estableció una ruta de pastoreo (Fig. 5) de aproximadamente un kilómetro por campos y márgenes, durante la cual los animales interactuaron en dos puntos distintos con una línea de cercado virtual.

La zona de pastoreo se seleccionó previamente en función de criterios topográficos y de manejabilidad, priorizando áreas con la menor pendiente posible, escasa presencia de obstáculos físicos y buena visibilidad para facilitar la observación del comportamiento. Asimismo, se evitó la proximidad con otros rebaños que pudieran interferir en la respuesta de los animales.

El desplazamiento se realizó con la presencia del pastor y dos perros pastores, aplicando una presión mínima y manteniendo un ritmo lento y constante, con el fin de reducir el estrés y asegurar que las respuestas observadas estuvieran asociadas principalmente a la interacción con el vallado virtual y no a estímulos externos.



**Figura 5.** Se representa la prueba en silvopastura con los collares de vallado virtual. Se especifica la ruta y los dos puntos (Prueba 1 y 2) en los que el rebaño debía interactuar con el vallado virtual.



## 1.2. Resultados técnicos y de aplicación

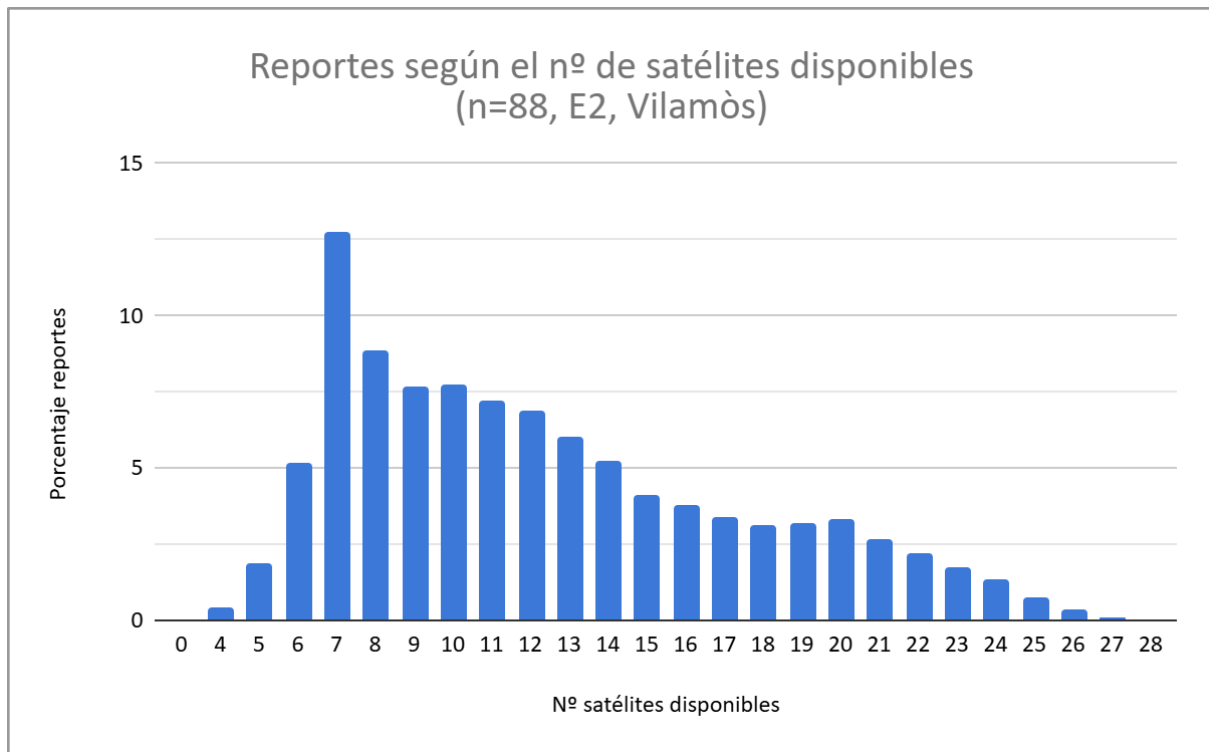
### 1.2.a) Capacidad técnica de los collares de vallado virtual para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

Para la evaluación técnica y asegurar la comparabilidad de los datos se ha utilizado la información correspondiente a todo el período de entrenamiento E2 con collares de vallado virtual. De los 90 individuos participantes, se han utilizado los datos de 88 collares, el resto han sido excluidos por cuestiones operativas de estos.

Cómo contexto ambiental y orográfico del ensayo, la zona de entrenamiento se situó a una altitud de entre 1207m y 1230m, con un 17% de desnivel a lo largo de la zona, ascendiendo de manera irregular. Un 10% del área presentaba una cobertura vegetal densa con árboles altos. La meteorología fue bastante constante a lo largo de los 13 días. Con medias de entre 16 y 23°C, mínimas entre los 3 y los 18°C y máximas entre 28 y 21°C. Hubo lluvias puntuales los días 5 y 12 de julio y solamente el día 6 se superaron los 15 km/h de viento.

### Satélites

Cada reporte de los collares especifica el número de satélites utilizados para calcular la posición. La gráfica (Fig. 5) muestra el porcentaje de reportes según el número específico de satélites disponibles ( $n = 88$ , E2, Vilamòs). Se muestra que la posición reportada por los collares durante E2 se calculó mayoritariamente con un rango de satélites de entre 6 y 14. Se observa que la mayoría de los reportes se produjeron con 7 satélites, seguido por 8, 9 y 10 satélites, mostrando un patrón decreciente a medida que aumenta o decrece el número de satélites.



**Figura 6.** Porcentaje de reportes de 88 collares de vallado virtual según el número específico de satélites disponibles durante los 13 días de E2.

## HDOP

El HDOP o Dilución Horizontal de la Precisión (Horizontal Dilution of Precision) es un indicador de la precisión del posicionamiento horizontal en sistemas GPS. Esta variable resulta especialmente relevante, ya que un elevado número de satélites visibles no garantiza una buena precisión si estos presentan una distribución espacial desfavorable (geometría deficiente), lo que degrada la estimación de la posición.

El HDOP representa una medida geométrica de la calidad de las señales recibidas por el receptor: valores bajos se asocian a una geometría óptima de los satélites y, por tanto, a una mayor precisión horizontal, mientras que valores elevados indican una peor geometría y una menor fiabilidad en la estimación de la posición. Nuestros datos muestran rangos de HDOP bajos (Tabla 2) lo que contribuye a una mejor precisión en la ubicación.



**Tabla 2:** Cantidad de reportes de los collares NoFence (n=88, E2) por cada rango de HDOP y el porcentaje que representan en los datos totales.

Rangos HDOP	Número de datos en E2	Porcentaje (%)
0-50	28	0,02
50-100	84696	47,82
100-200	74413	42,01
200-300	11402	6,44
300-400	3168	1,79
400-500	1372	0,77
500-1000	1681	0,95
1000-1500	272	0,15
1500-2000	63	0,04
2000-2500	18	0,01

### **Precisión horizontal (Horizontal accuracy).**

Precisión posicional del GPS en el plano horizontal. Es una estimación del dispositivo del error posicional en el mundo real. La precisión horizontal funciona como un indicador de la fiabilidad de la ubicación GPS. Valores más bajos (p. ej., 0-10 m) indican que la posición es más precisa, mientras que valores más altos (>50m) indican mayor incertidumbre. La precisión horizontal es una estimación resumida que acostumbra a incorporar factores como la cantidad de satélites, la calidad de la señal y la HDOP.

Los collares NoFence muestran gran variabilidad en la precisión horizontal, de pocos metros a más de 450 (Fig. 7). Las medianas de precisión horizontal de los collares de vallado virtual indican valores considerablemente altos, situándose la mayoría



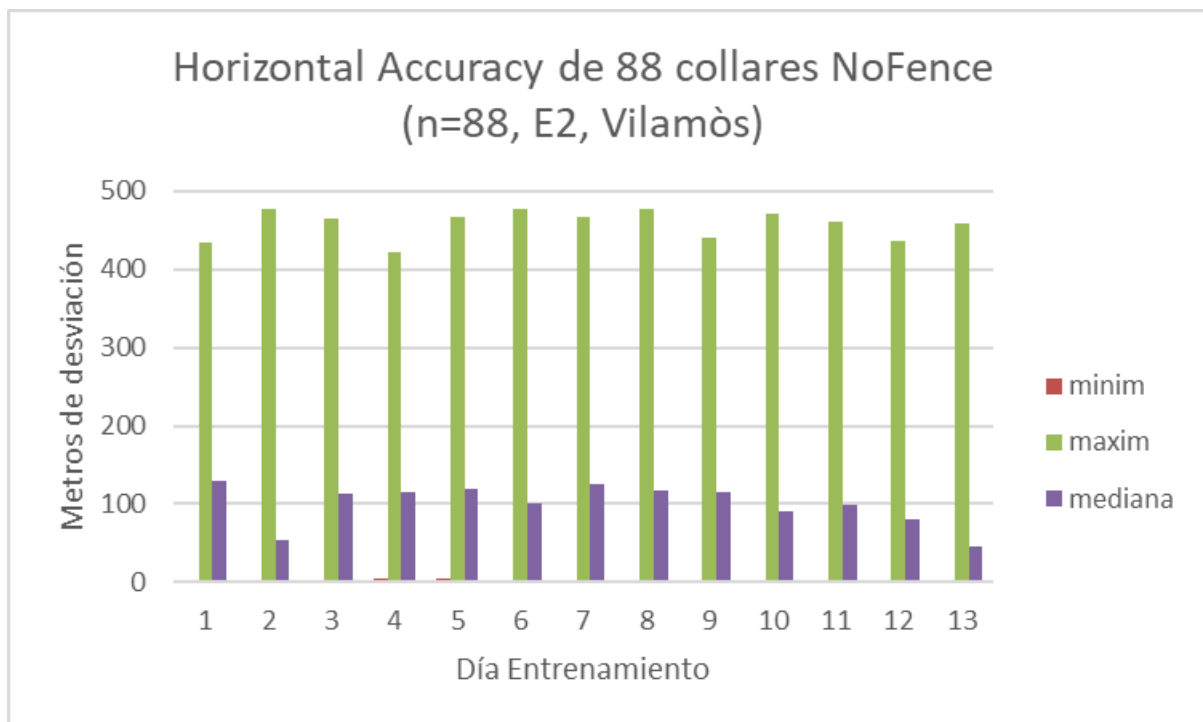
de los días por encima de los 100 m. Esto implica que el error medio en la estimación de la posición de los collares fue de aproximadamente 100 m durante gran parte del E2, lo que puede afectar al funcionamiento del sistema de vallado virtual.

En este contexto, un error de esta magnitud puede provocar que los animales sean detectados como fuera del área permitida cuando en realidad se encuentran dentro, o viceversa, pudiendo generar estímulos incorrectos (avisos sonoros o descargas). Por ejemplo, si un bebedero se sitúa cerca de un límite virtual, una imprecisión de 100 m podría hacer que los animales reciban estímulos al aproximarse a él, dificultando el acceso al agua.

Los datos de horizontal accuracy están sesgados hacia valores altos (outliers positivos). Por lo tanto, la mediana es más representativa del “centro típico” de estos datos que la media. La media podría sobreestimarse debido a esos valores extremos.

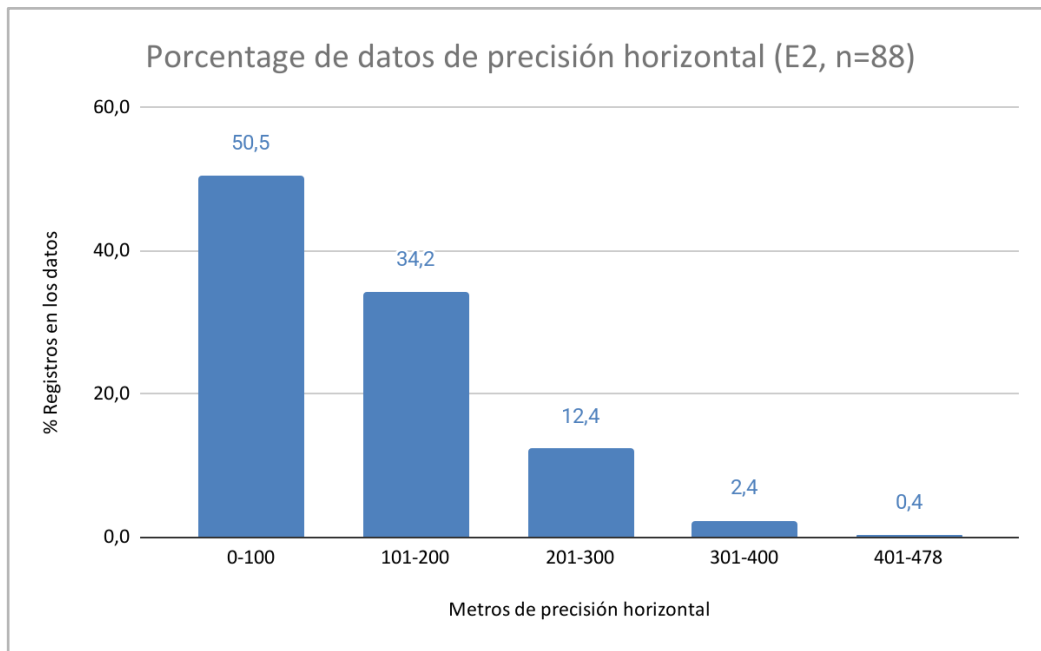
La figura 7 visualiza que los valores máximos diarios de dispersión horizontal se sitúan entre aproximadamente 430 y 480 m, con una variación reducida entre días. Estos valores representan los peores registros de precisión obtenidos en cada jornada y no reflejan el funcionamiento habitual del collar. No obstante, indican la presencia de un porcentaje de localizaciones extremadamente imprecisas, lo cual es habitual en dispositivos GNSS de bajo consumo, especialmente en entornos de montaña. Estos errores suelen estar asociados a una geometría satelital desfavorable (valores altos de HDOP), a la presencia de obstáculos físicos (cobertura vegetal, rocas, relieve abrupto) y a una señal GNSS débil o intermitente.

Por el contrario, los valores mínimos diarios de dispersión horizontal se mantienen por debajo de los 5 m, lo que evidencia que, en determinados momentos, los collares son capaces de alcanzar una alta precisión. Esto sugiere que el hardware del sistema permite registrar posiciones fiables cuando la geometría de los satélites y las condiciones ambientales son favorables.



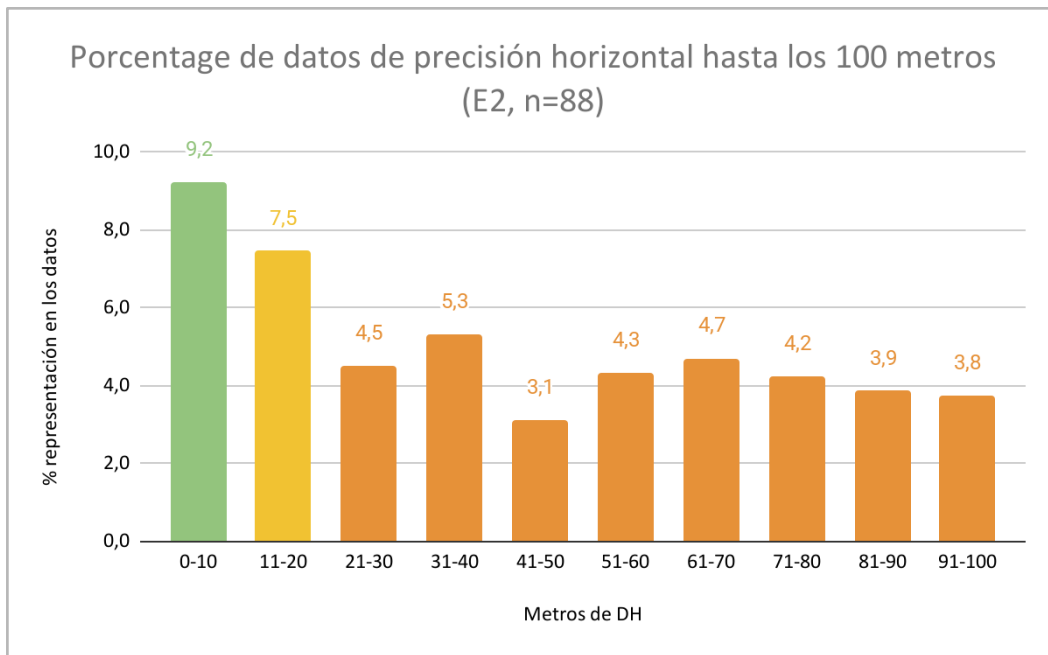
**Figura 7.** Valores máximos, mínimos y medianas de la precisión horizontal de los collares de vallado virtual (E2, n=88).

La mediana diaria de la dispersión horizontal oscila entre aproximadamente 45 y 130 m, lo que indica que la mayor parte de las localizaciones presentan una precisión limitada. Aunque este rango es coherente con lo descrito para dispositivos GNSS de bajo consumo en zonas de montaña con cobertura vegetal, estos niveles de error resultan problemáticos para aplicaciones que requieren una precisión espacial elevada. En el contexto del vallado virtual, una precisión horizontal superior a los 10 m podría comprometer el funcionamiento correcto del sistema y generar estímulos erróneos en los animales.



**Figura 8.** Porcentaje de datos de precisión horizontal de los collares de vallado virtual en E2 (n=88) agrupados por rangos de 100 metros.

En la figura 8 se puede ver que el porcentaje de reportes en E2 con valores de desviación horizontal menor a 100 m representa un 50,5% de los datos. También se observa que un 34,2% de los datos están en un rango de entre 100 y 200 metros de desviación horizontal. Los valores entre 200 y 300 m representan un 12,4% de los datos. Los reportes con valores de desviación horizontal de entre 300 y 500 m representan menos de un 3% de los datos. De los valores de desviación horizontal menor a 100 m (50,5%) menos de un 17% tiene una desviación horizontal menor a 20m y los valores de 7 y 8 metros representan un 1,3% y 1,4% respectivamente (Fig. 9). En otro estudio con Nofence, se ha observado que la precisión horizontal promedio para la fijación de la posición del collar es alrededor de 7 a 8 metros, con variaciones según condiciones como la cobertura arbórea, el terreno y la recepción satelital (Aaser et al, 2024).



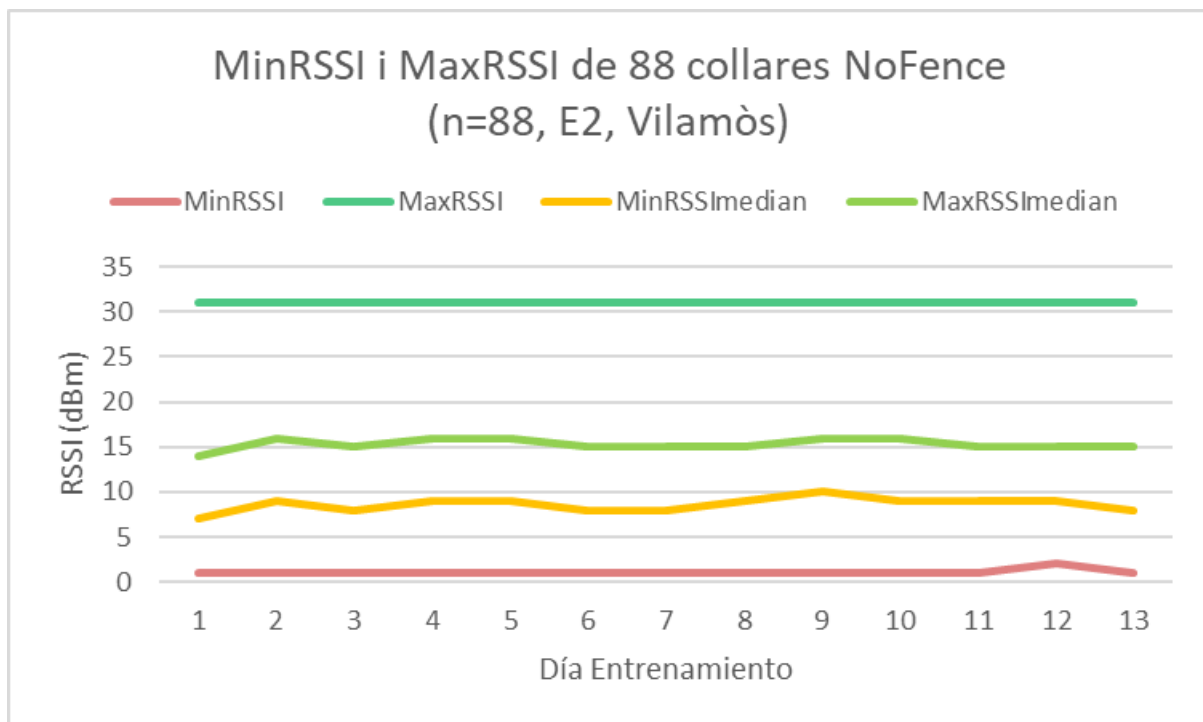
**Figura 9.** Porcentaje de datos de precisión horizontal de los collares de vallado virtual en E2 (n=88) agrupados por rangos de 10 metros hasta los 100 m.

## RSSI

RSSI (Received Signal Strength Indicator) o indicador de la intensidad de señal recibida por el dispositivo. Parámetro clave para entender la calidad de la señal que recibe el collar desde la antena GPS/GNSS y desde la red móvil. El RSSI indica cuánta señal está recibiendo el collar, y por tanto está relacionado con la frecuencia con la que el collar puede enviar datos y su capacidad de sincronizarse con la nube de NoFence.

El gráfico de líneas (Fig. 10) muestra los valores diarios máximos y mínimos de RSSI, así como la mediana de min-RSSI y max-RSSI. Los valores máximos absolutos se mantienen constantes en 31 durante todo el periodo, indicando que en algún momento del día los collares alcanzaron una calidad de señal excelente. Sin embargo, la mediana de max-RSSI se sitúa entre 14 y 16, lo que sugiere que, la mayor parte del tiempo, la calidad de la señal fue intermedia.

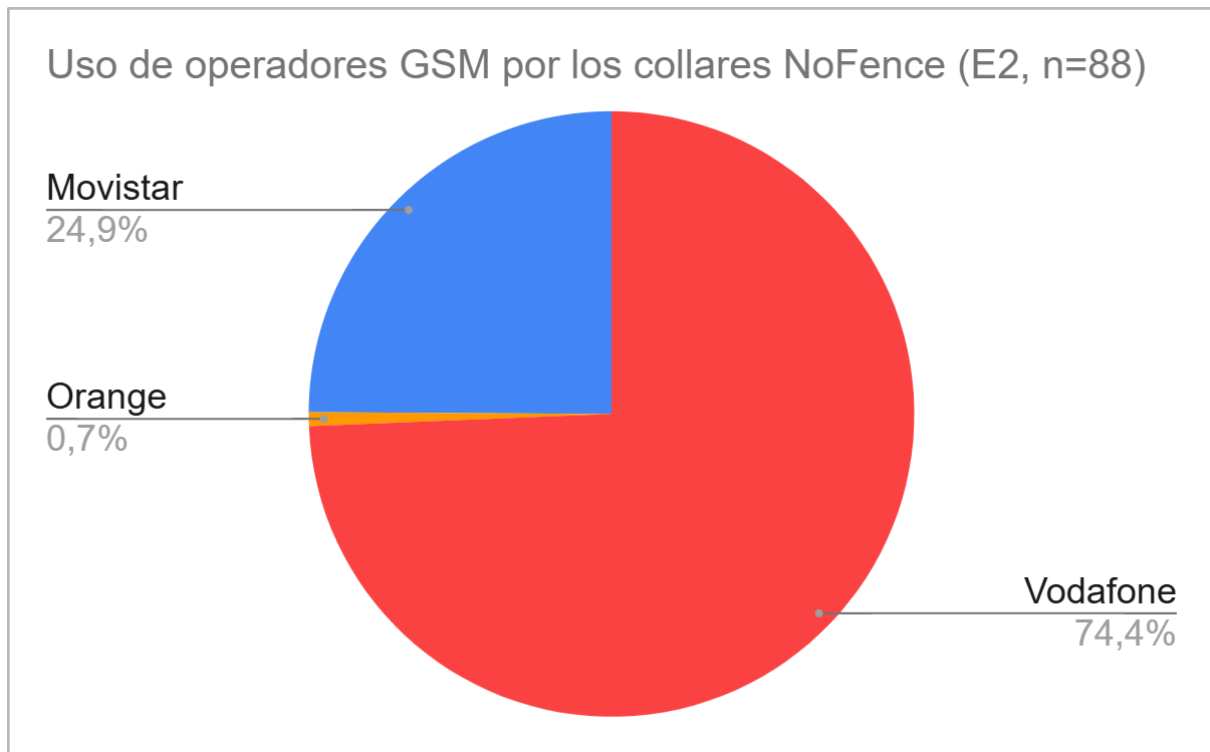
La mediana de los valores mínimos de RSSI oscila entre 8 y 10, reflejando una señal débil pero relativamente estable. No obstante, la presencia de valores mínimos muy bajos en cada día indica momentos de conectividad deficiente. Los valores de RSSI bajos pueden generar retrasos en la transmisión de datos y lagunas temporales en el seguimiento.



**Figura 10.** Valores máximos y mínimos de RSSI así como la mediana de min-RSSI y max-RSSI por cada día en E2 (n=88).

### Operador GSM

El código MCC-MNC identifica el país y la red móvil del operador mediante códigos numéricos (21401 = Vodafone, 21403 = Orange, 21407 = Telefónica Móviles España - Movistar). Durante E2, el operador más utilizado fue Vodafone (74,4 %), seguido de Movistar (24,9 %) y, en muy pocas ocasiones, Orange (0,7 %) (Fig. 11). Dado que todos los animales se encontraban dentro de una misma zona geográfica, es esperable que la conectividad se repartiera entre distintos operadores en función de la cobertura disponible en cada punto y momento.



**Figura 11.** Uso de los distintos operadores GSM por los collares NoFence durante E2.

### Fallos y pérdida física de los collares de vallado virtual

Durante el entrenamiento E2 no se reportó ningún fallo técnico con los collares. En momentos puntuales de cambio de vallado algún collar presentó dificultades de conexión puntuales relacionadas con la baja cobertura móvil, lo que se pudo resolver en estos casos puntuales, conectando dichos collares al vallado vía Bluetooth. Este paso requiere estar a escasos metros de los animales, lo cual puede suponer un reto en montaña.

Por otro lado, 4 animales perdieron su collar de cercado virtual durante el entrenamiento, lo que representa un 4,4% de los 90 collares que participaron en E2. Esto puede presentar un desafío en zonas de terreno abrupto o densa vegetación donde su recuperación puede ser complicada, a pesar de la posibilidad de localizar el collar con la aplicación y haciendo que emita un sonido. También es importante considerar que en nuestro caso manejar a todo el rebaño para colocar los collares perdidos nuevamente no era posible. Las pérdidas ocurrieron en días distintos, lo que implicaría trasladar el rebaño a la granja en varias ocasiones y este debía permanecer en el recinto durante todo el entrenamiento.



### Resumen de características técnicas de los collares de vallado virtual.

La tabla 3 muestra un resumen de los resultados de la evaluación técnica de los collares de vallado virtual en una zona montañosa con un rebaño de ovino.

**Tabla 3:** Categorización de los parámetros considerados en la evaluación técnica de los collares de vallado virtual NoFence para ovino.



Parámetro	Definición	Valores	Categorización
<b>Satélites</b>	Número de satélites utilizados para calcular la posición.	Cantidad (número entero).	Bueno
<b>HDOP</b>	Dilución de precisión horizontal: indica la precisión del posicionamiento horizontal en un sistema GPS.	Escala adimensional; valores altos indican baja precisión de la ubicación.	Bueno
<b>Precisión horizontal</b>	Precisión posicional del GPS en el plano horizontal.	Metros (m).	Medio-Bajo
<b>RSSI</b>	Indicador de la intensidad de señal recibida por el dispositivo.	Unidades de intensidad de señal (dBm).	Medio-Bajo
<b>Operador GSM</b>	Código MCC-MNC del país y la red móvil del operador.	Código numérico: 21401=Vodafone, 21403=Orange, 21407=Telefónica Móviles España (Movistar).	No aplica
<b>Fallos y pérdida física</b>	Problemas técnicos y pérdida física o caída de los collares.	Problemas de funcionamiento del collar.  Número de collares desprendidos del animal.	Medio



### 1.2.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

Algunos de los collares no han sido incluidos en el análisis por circunstancias específicas, mayoritariamente relacionadas con la pérdida física durante el entrenamiento o la incapacidad física de algún individuo para terminar el proceso. Por lo tanto se consideran 28 collares en E1 y 88 collares en E2.

Tanto en E1 como en E2, los datos muestran que numerosos animales no registran alarmas ni pulsos en los distintos días de entrenamiento. Por ello, aquellos animales que no generen ningún registro deben ser clasificados como “No aporta datos” para ese día. Los gráficos siguientes (Fig.12 y Fig.13) muestran, día a día, el porcentaje de animales que sí aportaron datos frente a los que no, durante ambos entrenamientos. A continuación, se destacan los eventos relevantes observados en algunos días de cada entrenamiento.

#### Entrenamiento 1 (Fig. 12)

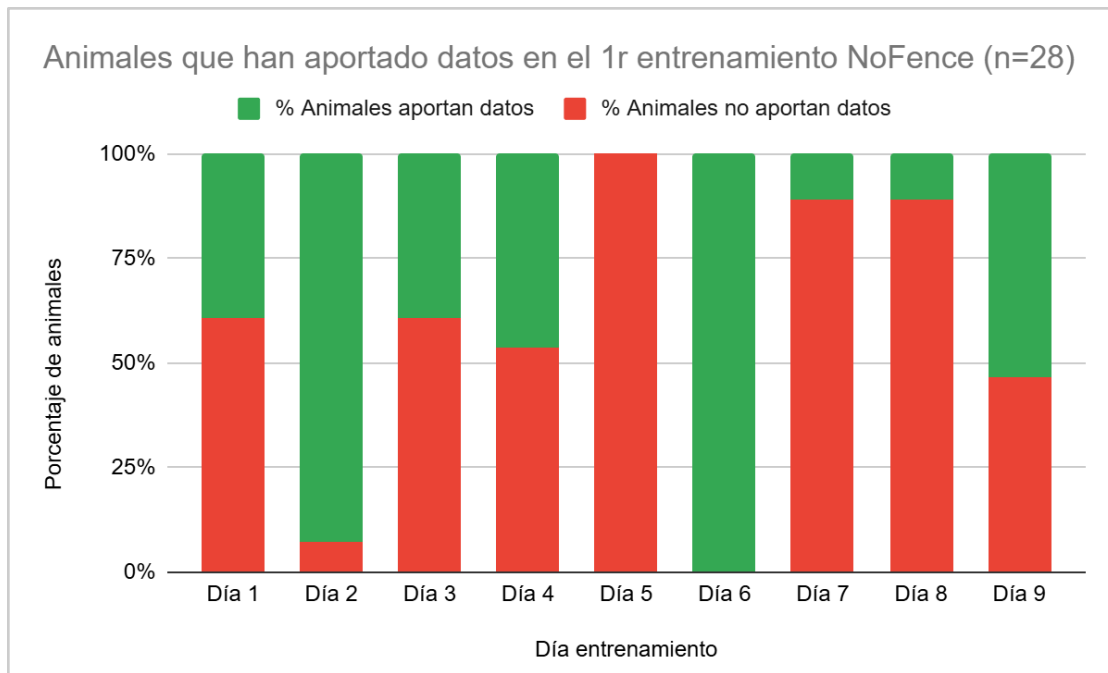
**Día 2:** Hubo muchas interacciones porque los animales estaban asustados y no sabían cómo alejarse del cercado. Se retrocedió la línea virtual 5-10 m y terminaron tranquilizándose.

**Día 4:** La mayoría de las alertas del día 4 son de una única interacción de todo el rebaño con el cercado debido a una huida para alejarse de un estímulo.

**Día 6:** Se sacaron dos ovejas del entrenamiento por razones de bienestar. El resto del rebaño estaba bien adaptado hasta que por la tarde el pastor pasó cerca de ellas con otra parte del rebaño. Al verlo, intentaron incorporarse al grupo del pastor y se emitieron las alarmas y pulsos.

**Día 8:** Cambio de vallado virtual, excluyendo el lado opuesto del cercado físico.

**Día 9:** Cambio de vallado virtual, ahora con 2 líneas virtuales, superior y derecha.



**Figura 12.** Porcentaje de animales que han aportado datos y que no en E1 (n=28).

### Entrenamiento 2 (Fig. 13)

**Día 4:** Realización de quemas controladas en el marco del proyecto OVIHEC.DAT, con cuatro pilas situadas dentro del cercado.

**Día 6:** Prueba de silvopastura sin vallado físico. Tres ovejas no participaron en la prueba al encontrarse enganchadas en la malla sin electricidad.

**Día 7:** Modificación de los límites de vallado virtual.

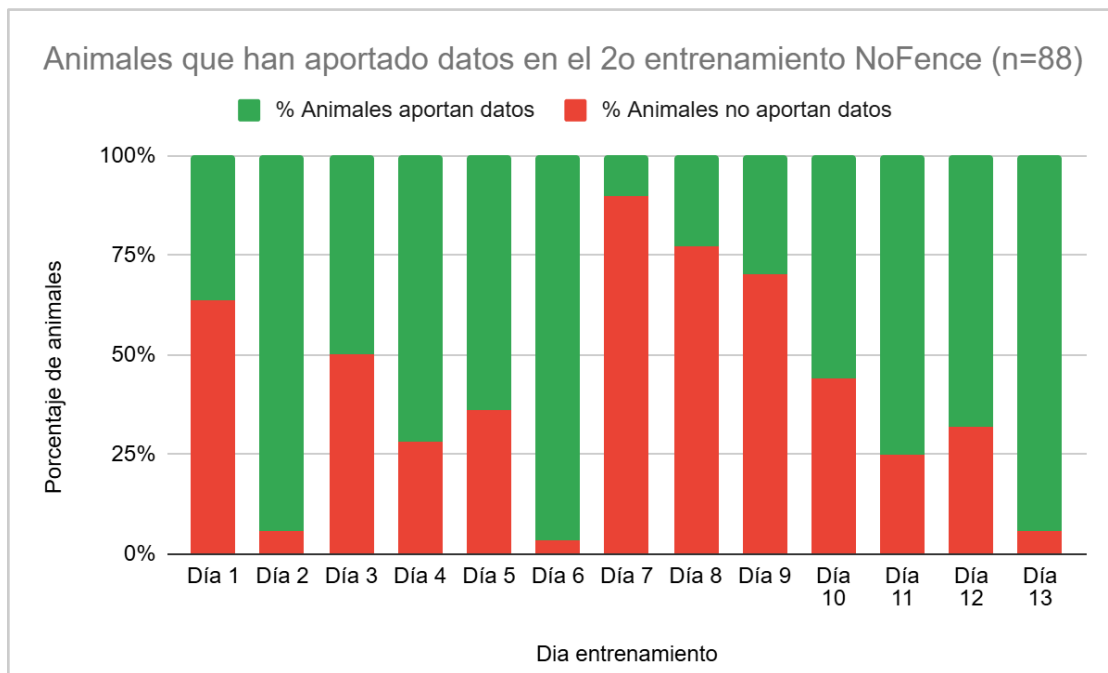
**Día 10:** Modificación del vallado virtual debido a la concentración del rebaño cerca del punto de agua y a la proximidad excesiva del límite virtual. Al mediodía se amplió el área hacia la zona inferior por escasez de alimento. Dos ovejas quedaron enganchadas en la malla sin electricidad.

**Día 11:** Escasez general de alimento en el área de pastoreo.

**Día 12:** Modificación del vallado virtual y ampliación del cercado físico por falta de alimento. Los animales, con un comportamiento exploratorio intenso. Ante el elevado número de pulsos registrados en varios individuos, el vallado fue reajustado para reducir las interacciones.



**Día 13:** Nueva modificación del vallado por escasez de alimento. Los animales mantuvieron un comportamiento exploratorio elevado e interactuaron notablemente con los límites del vallado virtual.



**Figura 13.** Porcentaje de animales que han aportado datos y que no en E2 (n=88).

### Eficacia del entrenamiento

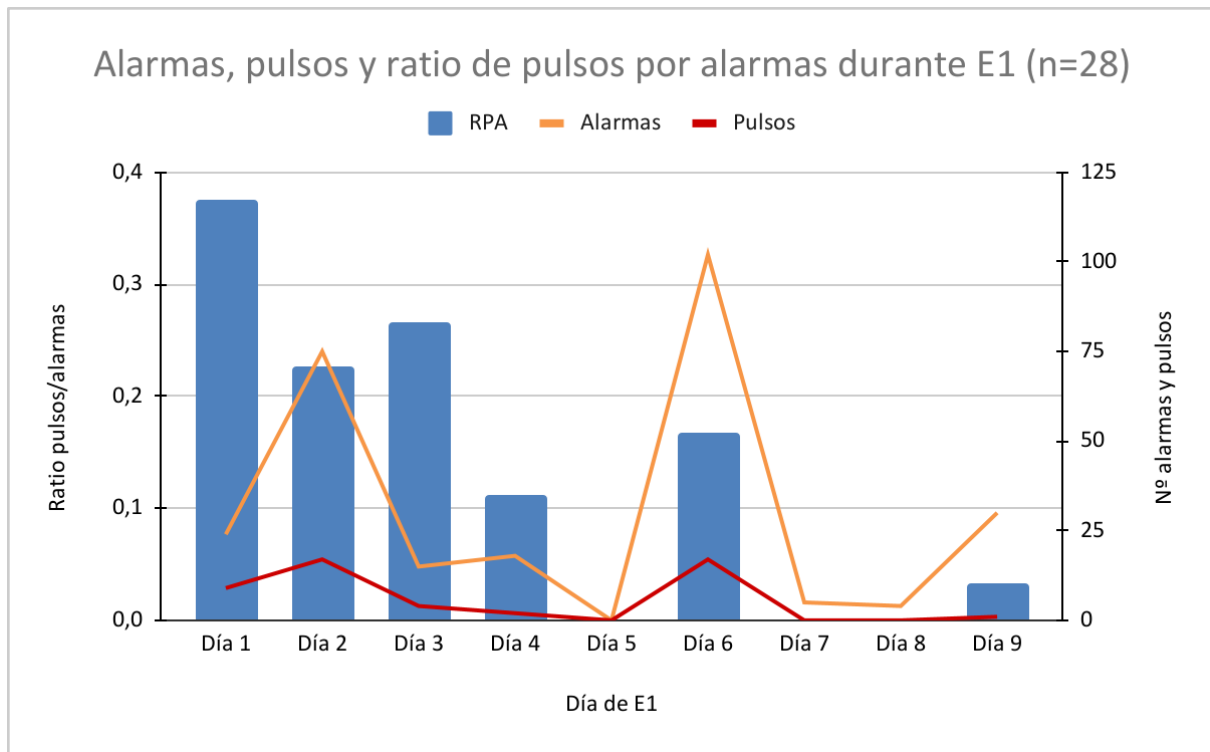
Hay que comparar la ratio de pulsos por alarma entre un día y el anterior para todo el grupo. Entonces, obtendremos una estimación del “aprendizaje” para cada día de entrenamiento para todo el rebaño.

El ratio de pulsos por alarmas se calcula con la fórmula:

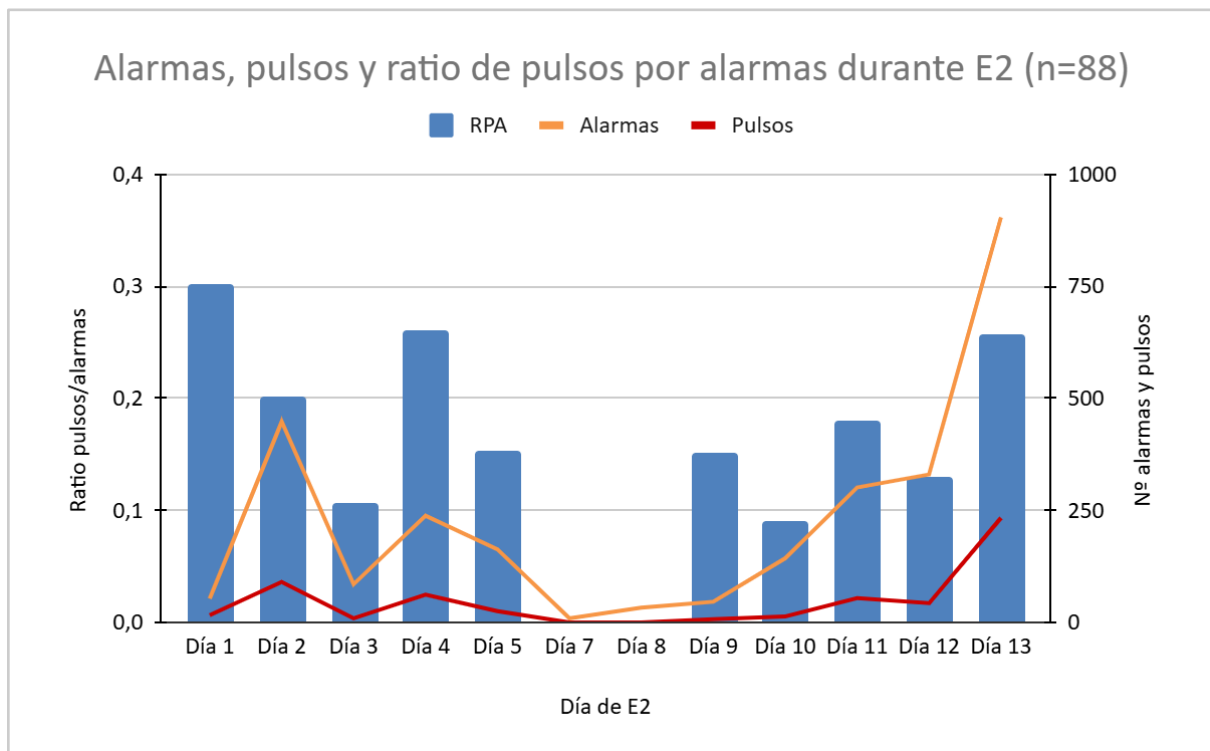
$$RPA \text{ o Ratio Pulsos Alarmas} = Pulsos \text{ Totales Día } x / Alarmas \text{ Totales Día } x$$

Para aproximar el aprendizaje nos basamos en la fórmula:

$$Aprendizaje = RPA \text{ día inicial} - RPA \text{ día siguiente}$$



**Figura 14.** Número total de pulsos y alarmas y RPA (ratio de pulsos entre alarmas) de todo el rebaño por cada día del E1 con collares de vallado virtual (E1, n=28).

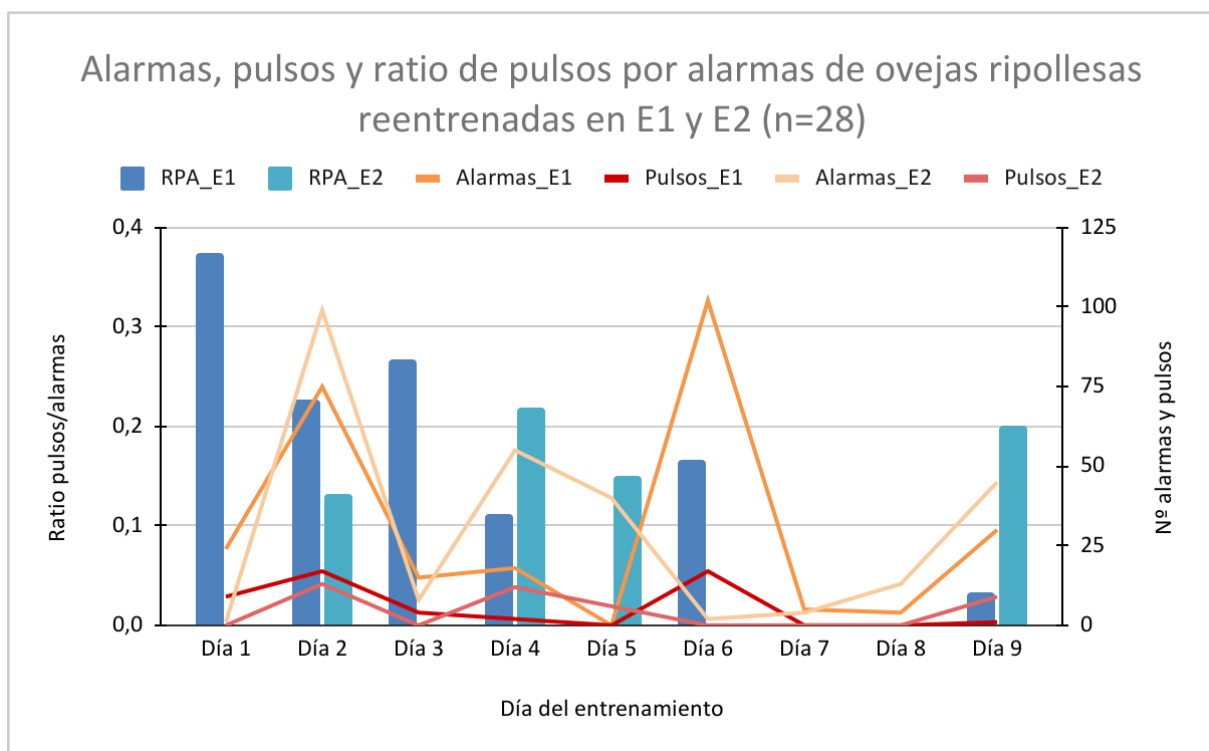


**Figura 15.** Número total de pulsos y alarmas y RPA (ratio de pulsos entre alarmas) de todo el rebaño por cada día del E2 con collares de vallado virtual (E2, n=88).



En los gráficos 14 y 15 que muestran el número total de pulsos y alarmas y RPA por cada grupo se ve que tanto en E1 como en E2 tanto las alarmas como los pulsos llegan a mínimos en el día 7 (o incluso en el día 5, ya que en ambos entrenamientos hubo circunstancias excepcionales el día 6). Los días siguientes se realizaron cambios en la ubicación del vallado virtual para comprobar el aprendizaje de los animales con la tecnología. El número de pulsos en esos días fue bajo a pesar de los cambios en el vallado virtual. Los altos valores del día 6 de E1 se relacionan con un evento en el que el rebaño que estaba entrenando intentó seguir al pastor, que pasó cerca con otro rebaño. Se observa un aumento de RPA en los últimos días de los dos entrenamientos. En E1 el incremento observado en el último día puede estar relacionado con el aumento de una a dos líneas virtuales en el campo de entrenamiento. Los valores altos de RPA en E2 desde el día 11 hasta el 13 se pueden asociar con la escasez de alimento en el área de entrenamiento.

La figura 16 visualiza la comparación en el desempeño de 28 ovejas que fueron entrenadas en E1 y reentrenadas en E2 con collares de vallado virtual. Los valores de RPA de los animales reentrenados en E2 son inferiores o iguales a los de E1 con excepción de los días 4 y 9. Las alarmas y los pulsos muestran un comportamiento similar.

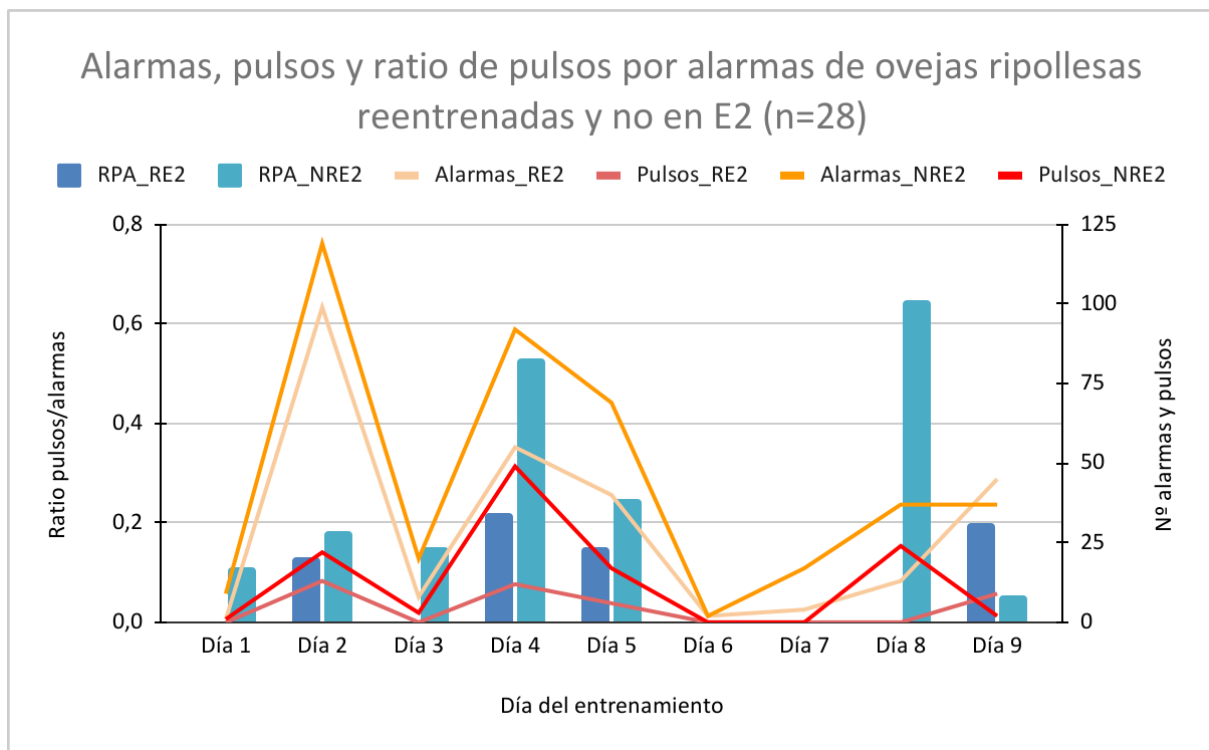


**Figura 16.** Número total de pulsos, alarmas y RPA (ratio de pulsos entre alarmas) de los animales entrenados en E1 y reentrenados en E2 con collares de vallado virtual (E1 y E2, n=28 en cada grupo).



En la figura 17 se aprecia la comparación entre los pulsos, alarmas y RPA de dos grupos de 28 ovejas ripollesas. El grupo RE2 (ripollesas reentrenadas) había sido previamente entrenado con collares virtuales en E1 y el grupo NRE2 (ripollesas no reentrenadas) era novel con esta tecnología. Los datos muestran un comportamiento parecido de los dos grupos pero con valores más altos de pulsos, alarmas y RPA por parte de los animales que eran noveles con el vallado virtual.

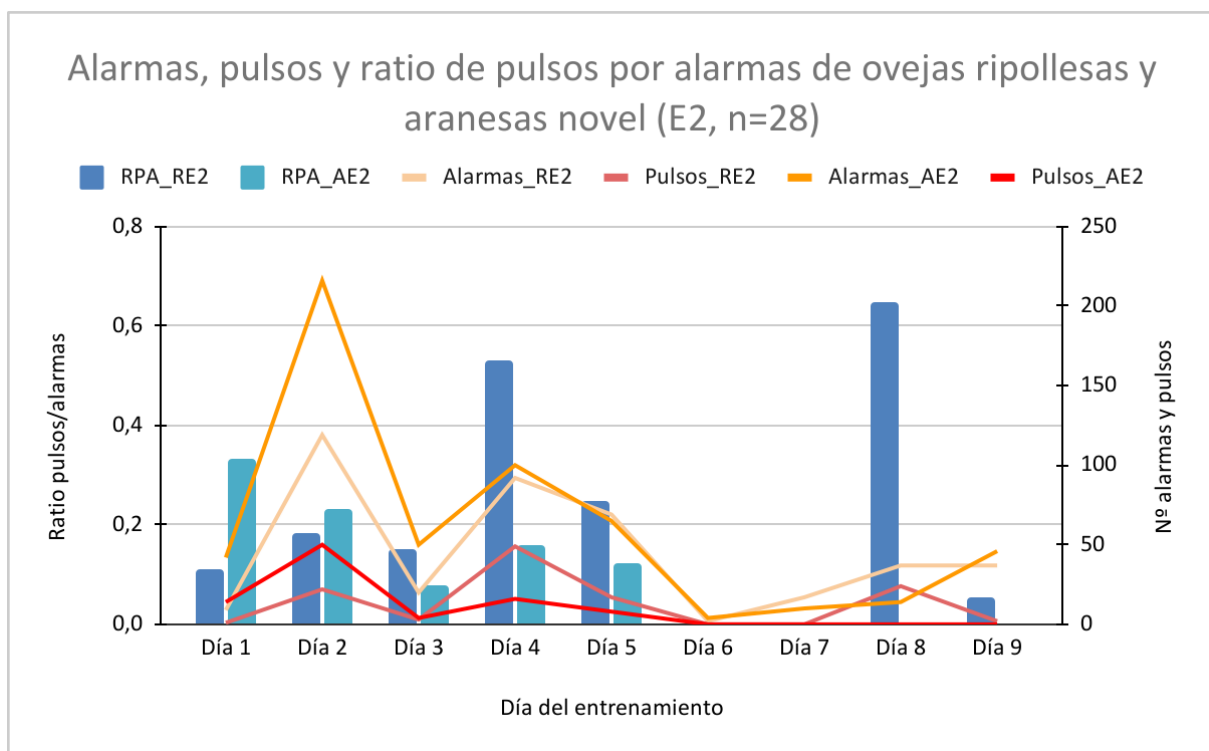
Los animales entrenados previamente en E1 obtuvieron valores más bajos de alarmas, pulsos y RPA comparado con otro grupo de su misma raza durante E2. Esto nos muestra que los animales que ya habían entrenado con vallado virtual muestran más facilidad para reemprender el uso de la tecnología que animales noveles. Aún así las diferencias entre los dos grupos no són muy notables. Esto puede ser debido al posible agrupamiento por raza que hacen las ovejas. Es decir, probablemente la mayoría de ovejas ripollesas se agruparon y movieron con sus afines, de los cuales una parte ya conocía el funcionamiento de la tecnología.



**Figura 17.** Comparación de las alarmas, pulsos y ratio de pulsos partido por alarmas (RPA) de dos grupos de 28 ovejas ripollesas. El grupo RE2 había sido previamente entrenado con collares virtuales y el grupo NRE2 era novel con esta tecnología.



Para distinguir el efecto de la raza en el entrenamiento se han comparado dos grupos de animales de razas distintas y noveles en la tecnología de vallado virtual seleccionados de manera aleatoria; 28 ripollesas y 28 aranesas. Las ovejas aranesas obtienen valores más altos que las ripollesas, de pulsos, alarmas y RPA durante los dos primeros días pero a partir del tercer día la tendencia cambia y su desempeño se vuelve mejor que el de las ripollesas. Aún así los dos grupos llegan por igual a la estabilización de aprendizaje el día 6 del entrenamiento, con un repunte puntual del grupo novel de ripollesas el día 8 (Fig. 18).



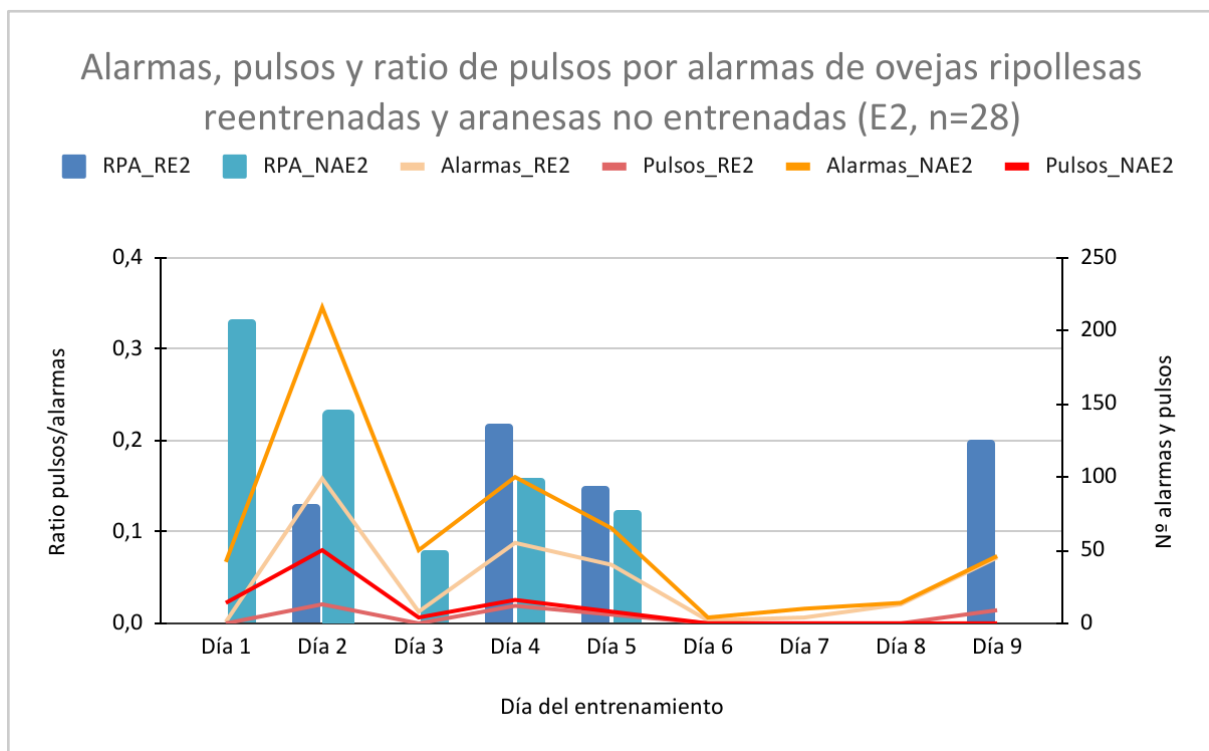
**Figura 18.** Número total de pulsos, alarmas y RPA de animales noveles con los collares de vallado virtual de raza aranesa y ripollesa (E2, n=28 por grupo).

Para una mejor comparativa entre las razas se han contrastado los resultados de un grupo de 28 ovejas ripollesas previamente entrenado con collares virtuales y otro de 28 ovejas aranesas novel en esta tecnología. Podemos ver, igual que en la comparativa con ripollesas novel, que los animales previamente entrenados obtuvieron mejores valores de alarmas y pulsos en la mayoría de día que los animales



noveles. Aún así los valores de RPA no se distinguen claramente entre las ovejas ripollesas ya entrenadas y las arañas novel (Fig. 19).

Las ovejas ripollesas que ya habían entrenado con vallado virtual muestran más facilidad para reemprender el uso de la tecnología que los animales noveles de raza aranesa. Aun así, su desempeño no se distingue claramente. La raza aranesa es comúnmente considerada avispa, inteligente y fuerte; lo que representa bien a los individuos de esta raza incluidos en este proyecto. En contraste, las ovejas ripollesas del estudio eran menos fuertes y avispas, lo que podría haber influido en los resultados observados, reflejando un desempeño parecido entre ambas poblaciones a pesar de que las ovejas ripollesas consideradas en esta figura ya conocían el funcionamiento de la tecnología y las arañas no.

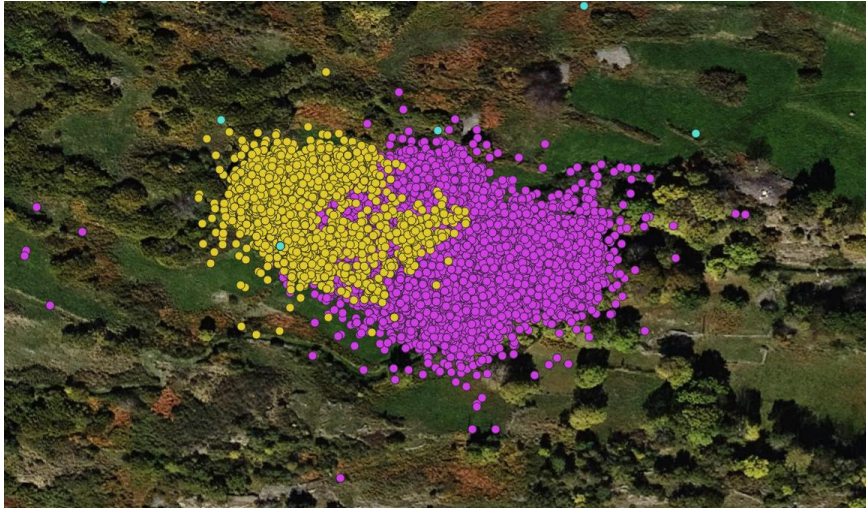


**Figura 19.** Comparación de las alarmas, pulsos y ratio de pulsos entre alarmas (RPA) de un grupo de 28 ovejas ripollesas y otro de 28 ovejas arañas. El grupo RE2 de ripollesas había sido previamente entrenado con collares virtuales y el grupo de arañas NAE2 era novel en esta tecnología.

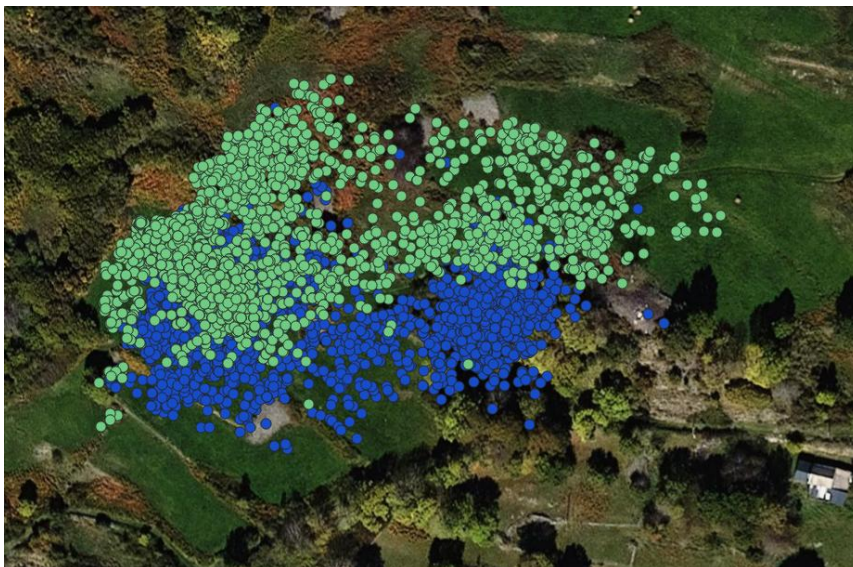
A continuación se muestran las localizaciones de los collares de vallado virtual durante los entrenamientos (Fig. 20 y Fig. 21). Se ha distinguido en colores las ubicaciones que corresponden a dos vallados virtuales que delimitaron zonas distintas durante cada entrenamiento. Estas imágenes visualizadas en QGIS muestran



que los límites virtuales pudieron distinguir y mantener límites de pastoreo en las ovejas.



**Figura 20.** Mapa de las localizaciones de los collares de cercado virtual durante E1. En lila; ubicaciones reportadas durante el uso del vallado virtual “E1\_Zona1”, en amarillo; ubicaciones durante el uso del vallado virtual “E1\_Zona2”.



**Figura 21.** Mapa de las localizaciones de los collares de cercado virtual durante E2. En verde; ubicaciones reportadas durante el uso del vallado virtual “E2\_Zona1”, en azul; ubicaciones durante el uso del vallado virtual “E2\_Zona2”.



### 1.2.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.

La prueba descrita en la metodología para testear la efectividad de los collares de vallado virtual con el rebaño de 90 ovejas durante una jornada de silvopastoreo resultó desfavorable.

Los animales caminaron en un grupo semi-cohesionado mientras pastaban ocasionalmente. Cuando por primera vez los collares de los primeros animales emitieron la alerta de interacción con el vallado virtual estos animales y los adyacentes reaccionaron de manera brusca y mostrando pánico, los primeros animales se abalanzaron en línea recta cruzando el cercado virtual y seguidos por el resto del rebaño (Fig. 22). Cada animal que cruzaba el límite recibía una alarma y en unos segundos todos los collares emitían a la vez alarmas y pulsos que acentuaron el pánico del grupo. El rebaño corrió sin control hasta que las alarmas y pulsos cesaron. En las dos ocasiones el vallado virtual fue apagado manualmente desde la aplicación móvil. El grupo fue reagrupado y redirigido con éxito con manejo tradicional en las dos ocasiones por el pastor y los perros del rebaño.



**Figura 22.** Mapas de las pruebas con vallado virtual en silvopastura (n=89, 9/7/25). Las marcas verdes corresponden a las alarmas emitidas por los collares, las amarillas a los pulsos eléctricos y las rojas a los escapes del vallado. Extraído de la aplicación para móvil de NoFence.



### 1.3. Discusión

#### 1.3.a) Capacidad técnica de los collares NoFence para funcionar en condiciones de montaña con un rebaño de ovino.

Los resultados obtenidos durante el periodo de entrenamiento E2 indican que los collares NoFence presentan una capacidad técnica funcional para su uso en rebaños de ovino en entornos de montaña, aunque con limitaciones que deben ser consideradas en el diseño de proyectos de silvopastura.

La precisión horizontal observada puede resultar insuficiente para proyectos que requieran delimitar zonas muy estrechas o proteger elementos puntuales, aunque puede ser adecuada para la gestión extensiva de áreas amplias de pastoreo.

Durante el periodo de estudio se registraron pérdidas físicas de algunos collares, lo que pone de manifiesto la necesidad de mejorar los sistemas de sujeción cuando se trabaja con ovino en terrenos abruptos.

En conjunto, los collares NoFence muestran un potencial elevado como herramienta de gestión extensiva en montaña, especialmente para el manejo de áreas amplias y la reducción de cerramientos físicos, aunque su uso debe ir acompañado de una planificación cuidadosa, mejoras técnicas y una evaluación previa de las condiciones del entorno.

#### 1.3.b) Evaluación del aprendizaje de las ovejas con la tecnología de vallado virtual.

En las figuras 13 y 14 se ve que en E1 y E2 tanto las alarmas como los pulsos llegan a mínimos en el día 7 del entrenamiento con los collares de vallado virtual. En los días siguientes se realizaron cambios en la ubicación del vallado virtual para comprobar el aprendizaje de los animales con la tecnología. El número de pulsos en esos días fue bajo a pesar de los cambios en la posición del vallado virtual. Los altos valores del día 6 de E1 se relacionan con un evento en el que el rebaño que estaba entrenando intentó seguir al pastor, que pasó cerca con otro rebaño. El aumento de RPA en los últimos días de los entrenamientos (E1: día 9, E2: días 11-13) está posiblemente relacionado con la falta de alimento en el cercado físico. En este punto, los animales parecían asumir un mayor riesgo de recibir un pulso al intentar acceder a alimento próximo al límite virtual. Este aspecto es relevante, ya que forzar en exceso la permanencia de las ovejas en zonas con escasa disponibilidad de recurso puede incrementar la probabilidad de traspaso del vallado virtual. En general, como ya se ha comentado, los resultados muestran una estabilización del



aprendizaje de los dos rebaños alrededor del día 7 del entrenamiento. También se puede apreciar que eventos como la proximidad de otro rebaño o la escasez de alimento pueden alterar la forma en la que el rebaño respeta el vallado virtual.

Como muestra la comparación en el desempeño de 28 ovejas ripollesas que fueron entrenadas en E1 y reentrenadas en E2 con collares de vallado virtual, los valores de RPA de los animales reentrenados en E2 son inferiores o iguales a los de E1 con excepción del día 4. La diferencia en los valores del día 4 de E2 respecto al resto puede estar relacionada a un comportamiento anormal del rebaño respecto al evento de quemas controladas que ocurrió próximo a su zona de entrenamiento. Las alarmas y los pulsos muestran un comportamiento similar. Se puede suponer una mejora en el entendimiento de la tecnología de vallado virtual por parte de los animales que estaban siendo reentrenados en E2 comparado con su primer entrenamiento en E1. La capacidad de pequeños grupos de ovejas para entender y respetar el funcionamiento de un vallado virtual ya había sido previamente confirmada en varias ocasiones con distintos dispositivos (Campbell et al., 2021, 2023; Eftang et al., 2023; Marini et al., 2018, 2020). En la literatura científica actual consta que los grupos más grandes testeados con vallado virtual fueron de 37 ovejas (Campbell et al., 2023) o 36 ovejas (Marini et al., 2020, 2022). Por primera vez, este estudio ha entrenado un grupo conformado por 90 ovejas con collares de vallado virtual.

Una de las principales limitaciones identificadas en el sistema de estudio fue la necesidad de excluir a los corderos del proceso de entrenamiento, dado que no pueden portar los collares por motivos de bienestar animal. Según los fabricantes, estos dispositivos no deben utilizarse en animales que estén acompañados de crías que aún no puedan llevar el collar, ya que su presencia puede interferir en el aprendizaje y uso de la tecnología por parte de las madres. En este contexto, el fuerte vínculo madre-cría induce a las ovejas a priorizar el seguimiento del cordero, a pesar de las señales acústicas y los estímulos eléctricos emitidos por el collar. Esto puede dificultar o retrasar la correcta asociación entre los estímulos del collar y el límite virtual, comprometiendo así la eficacia del proceso de aprendizaje y el posterior uso. En sistemas extensivos de producción cárnica, la necesidad de separar a los corderos durante el periodo de entrenamiento y uso del vallado virtual supone una limitación práctica relevante, cuyas implicaciones productivas, logísticas y de bienestar deberían ser evaluadas para entender las limitaciones que esto puede suponer para un productor.

Este estudio ha evaluado el estado de salud de los animales únicamente a través de observaciones visuales del comportamiento y la detección de posibles heridas, cojeras u otras alteraciones físicas. Aunque no se recogieron datos cuantitativos, las observaciones indicaron que durante los primeros días los animales manifestaron

comportamientos compatibles con situaciones de estrés, siendo el más relevante el apilamiento del rebaño (Fig. 23 y 24).



**Figura 23.** Ovejas en el segundo día de entrenamiento (E1) evidenciando apilamiento.



**Figura 24.** Ovejas en el tercer día de entrenamiento (E2) evidenciando apilamiento.

En etología se utiliza el término selfish herd behaviour para describir la tendencia de los animales gregarios, como las ovejas, a agruparse bajo situaciones de amenaza o estímulos de miedo. En este contexto, cada individuo intenta situarse en el interior del grupo para reducir su propio riesgo, lo que puede dar lugar a agregaciones muy



densas. Esta estrategia evolutiva ha sido descrita en numerosas especies sociales y se ha observado experimentalmente en ovejas bajo amenaza de depredación, simulando la presencia de un depredador mediante perros pastores (King et al., 2012). Por lo tanto las observaciones realizadas en este proyecto ponen de manifiesto la necesidad de que futuros estudios sobre tecnología de vallado virtual incluyan evaluaciones específicas y sistemáticas del bienestar de las ovejas, con el fin de analizar de forma objetiva la relación entre el uso de estos dispositivos y la aparición de respuestas asociadas al estrés. Comprender esta relación es clave para definir los límites de aplicación de la tecnología, especialmente en periodos sensibles como la gestación.

En conjunto, los resultados muestran que las ovejas fueron capaces de aprender y respetar el vallado virtual tras un periodo de entrenamiento breve, con una estabilización del aprendizaje alrededor del séptimo día. Los animales reentrenados presentaron un mejor desempeño que en su primer contacto con la tecnología, lo que sugiere un efecto de aprendizaje previo. Este estudio amplía la evidencia existente al demostrar la viabilidad del vallado virtual en grupos de ovejas de gran tamaño, y pone en relevancia limitaciones de la tecnología para su uso en producción extensiva.

### **1.3.c) Aplicabilidad de los collares NoFence en silvopastura.**

Hay diversos factores a tener en cuenta a la hora de interpretar estos resultados. En primer lugar hay que considerar que redirigir un rebaño de 90 ovejas en movimiento requiere tiempo y espacio para que el grupo trace una U y cambie de sentido. El cercado virtual de NoFence está diseñado para hacer retroceder al animal en cuanto interactúa con él y provee al animal de escasos metros para hacer el cambio de sentido. Este método es efectivo con distintas especies, especialmente en vacas y cabras. Esto puede ser debido a que las especies acabadas de mencionar no acostumbran a moverse en grupos tan grandes y cohesionados como las ovejas. Estas últimas, especialmente en modo de alerta, no actúan como individuos sino como una masa única. Este factor pudo contribuir a que las primeras ovejas no contemplaran la opción de retroceder al interactuar con el vallado virtual, ya que tenían al resto del grupo avanzando inmediatamente detrás de ellas. En esta situación, la única vía de escape percibida se situaba hacia delante, ya que un giro colectivo sobre sí mismas era impracticable, comportamiento poco natural en un contexto de desplazamiento grupal.



Estos resultados implican una dificultad para implementar la tecnología de cercado virtual en el silvopastoreo guiado de ovejas con grupos de 90 individuos o más. Estos resultados no contradicen la posibilidad de que esta tecnología pueda ser usada en otros tipos de manejo que no contemplen a las ovejas interactuando con el vallado virtual mientras caminan en grupos grandes. Por ejemplo, el cercado virtual podría resultar práctico en grupos reducidos de ovejas o en rebaños que permanezcan en una zona de pastoreo sin ser dirigidos por un pastor o perros durante el uso de los collares NoFence. Es decir, que el rebaño se encuentre en fase estática en una zona concreta delimitada por vallado virtual y no en movimiento. También puede ser útil cuando el vallado virtual abarca una superficie mucho mayor que la zona por la que el ganado está siendo conducido, si los perros hacen girar al rebaño lejos del límite del vallado virtual, seguramente este siga siendo útil. Sin embargo, no se puede esperar que un grupo grande de animales que siguen una dirección de pastoreo concreta den todos la vuelta de forma repentina al encontrarse con el límite virtual.

En segundo lugar, esta prueba se realizó durante el sexto día del segundo entrenamiento con los collares NoFence. En ese momento, los valores de pulsos y alarmas en el cercado de entrenamiento ya eran mínimos, tanto ese día como el anterior, lo que se asocia habitualmente con un proceso de aprendizaje. Sin embargo, es importante señalar que una baja interacción con el cercado no garantiza necesariamente un aprendizaje consolidado, por lo que no puede descartarse que los animales requirieran un periodo de entrenamiento más prolongado.

En tercer lugar, hay que considerar que el grupo con el que se realizó la prueba constaba de 89 animales. Ésta es una cifra elevada de individuos para este tipo de prueba. Se consideró la posibilidad de dividir al rebaño en grupos más pequeños. Esto implica un aumento del estrés y reactividad del grupo dividido (que se intensifica cuando el número de animales es menor). Este es un factor de riesgo para el bienestar de los animales y por lo tanto esta opción se desestimó. Hay que tener en cuenta que para grupos que ya son reducidos este no es un factor de influencia, y tampoco para rebaños acostumbrados a este tipo de manejo.

La prueba de la tecnología de vallado virtual en silvopastura guiada resultó en la desaprobación por parte del pastor responsable. Esto fue debido a los riesgos para el bienestar de los animales, especialmente considerando el estrés excesivo y el riesgo de lesiones, escapes y extravío de los animales. En futuras pruebas una opción sería ampliar la superficie del vallado virtual y permitir que sean los perros pastores quienes redirijan al rebaño antes de que este alcance el límite del vallado virtual.



## 1.4. Conclusiones

Los collares NoFence demostraron funcionar correctamente para la gestión de rebaños ovinos en montaña, mostrando un buen desempeño en pastoreo extensivo de áreas amplias. No obstante, se identificaron ciertos aspectos a tener en cuenta, como la precisión del sistema en zonas muy estrechas y la sujeción de los dispositivos en terrenos abruptos, que deberían evaluarse y adaptarse según las condiciones específicas del proyecto.

El entrenamiento de las ovejas confirmó que los animales pueden aprender y respetar un vallado virtual, incluso en grupos grandes de hasta 90 individuos, con estabilización del aprendizaje en torno al séptimo día. No obstante, existen limitaciones prácticas importantes, como la incompatibilidad con los corderos y los riesgos de estrés asociados al apilamiento del rebaño, que se producen por varias horas consecutivas en los primeros días de entrenamiento. Esto subraya la necesidad de incorporar el efecto de esta tecnología sobre el bienestar animal en cualquier aplicación productiva.

En cuanto a la aplicabilidad en silvopastura guiada, los resultados indican que la tecnología no es adecuada para rebaños grandes en movimiento en las condiciones en las que fueron testadas. La cohesión natural de las ovejas dificulta la redirección mediante cercado virtual, generando estrés y riesgos de lesiones o escapes. Por tanto, el uso de collares NoFence podría ser viable solo en grupos pequeños o en situaciones de pastoreo estático, y en caso de manejo guiado intensivo en rebaños grandes, es necesario tener en cuenta que los giros del rebaño deben ser realizados por el pastor o los perros pastores a una distancia prudencial de los límites del vallado virtual.



## 1.5. Referencias

Brunberg, E. I., Bergslid, I. K., Bøe, K. E., & Sørheim, K. M. (2017). The ability of ewes with lambs to learn a virtual fencing system. *Animal*, 11(11), 2045-2050. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000891>

Campbell, D. L. M., Belson, S., Lea, J. M., Ouzman, J., Lee, C., Kalinowski, T., Mowat, D., & Llewellyn, R. S. (2023). Automated Virtual Fencing Can Effectively Contain Sheep: Field Trials and Prospects. *Animals*, 13(4), 619. <https://doi.org/10.3390/ani13040619>

Campbell, D. L. M., Marini, D., Lea, J. M., Keshavarzi, H., Dyllal, T. R., & Lee, C. (2021). The application of virtual fencing technology effectively herds cattle and sheep. *Animal Production Science*, 61(13), 1393-1402. <https://doi.org/10.1071/AN20525>

Eftang, S., Vas, J. B., Holand, Ø., Bøe, K. E., & Andersen, I. L. (2023). Sheep's learning ability and behavioural response to a fully automated virtual fencing system. *Applied Animal Behaviour Science*, 269, 106112. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106112>

King, A. J., Wilson, A. M., Wilshin, S. D., Lowe, J., Haddadi, H., Hailes, S., & Morton, A. J. (2012). Selfish-herd behaviour of sheep under threat. *Current Biology*, 22(14), R561-R562. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.05.008>



Marini, D., Cowley, F., Belson, S., & Lee, C. (2022). Comparison of virtually fencing and electrically fencing sheep for pasture management. *Animal Production Science*, 62(11), 1000-1005. <https://doi.org/10.1071/AN21459>

Marini, D., Kearton, T., Ouzman, J., Llewellyn, R., Belson, S., & Lee, C. (2020). Social influence on the effectiveness of virtual fencing in sheep. *PeerJ*, 8, e10066. <https://doi.org/10.7717/peerj.10066>

Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S., & Lee, C. (2018). Controlling Within-Field Sheep Movement Using Virtual Fencing. *Animals*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/ani8030031>



## 2. Recomendaciones para el uso de collares de vallado virtual con rebaños de ovejas.

A la luz de los resultados obtenidos, el uso de collares de vallado virtual en ovino se perfila como una herramienta potencialmente útil en sistemas de pastoreo extensivo, especialmente en superficies amplias donde no se requiera una delimitación espacial muy precisa. En entornos de montaña, se recomienda valorar previamente las características del terreno y los objetivos de manejo para determinar la idoneidad de la tecnología en cada caso.

El tamaño y el comportamiento del rebaño son factores relevantes a considerar. En este estudio, la elevada cohesión social del rebaño en movimiento dificultó su redirección mediante vallado virtual, lo que sugiere que la tecnología podría adaptarse mejor a grupos de menor tamaño, a manejos menos dinámicos o a situaciones en las que los animales permanezcan en una misma zona de pastoreo durante periodos prolongados. En caso de rebaños grandes, los movimientos del rebaño deberán ser dirigidos por el pastor y perros pastores lejos de los límites del vallado virtual.

El proceso de entrenamiento requiere una planificación adecuada, contemplando un periodo inicial de adaptación y condiciones que favorezcan el aprendizaje, como la disponibilidad suficiente de alimento y la minimización de estímulos externos. Asimismo, se recomienda tener en cuenta que no se puede usar la tecnología con la presencia de corderos no destetados, ya que el vínculo madre-cría puede influir en la respuesta de las ovejas al vallado virtual. Como el cordero no llevará collar, este estará libre para cruzar el vallado, y si lo hace, la madre tendrá un potente estímulo para hacerlo también, lo que pone en riesgo que permanezca dentro de los límites que habría establecido el ganadero.

Desde la perspectiva del bienestar animal, resulta aconsejable incorporar observaciones sistemáticas del comportamiento durante las primeras fases de uso, con el fin de detectar posibles respuestas asociadas al estrés y ajustar el manejo si fuese necesario. La consideración del bienestar animal es especialmente relevante en periodos sensibles del ciclo productivo como la gestación.

Finalmente, se recomienda que la implementación de collares de vallado virtual en ovino vaya acompañada de una evaluación previa de aspectos técnicos, etológicos y productivos. Este enfoque permitirá orientar la aplicación y transferencia de la tecnología de forma gradual y adaptada a cada contexto, en coherencia con los objetivos de cada proyecto.



Para ofrecer de forma aplicada recomendaciones para el uso de collares de vallado virtual en rebaños de ovejas, se ha desarrollado un protocolo de uso de la tecnología orientado al entrenamiento de estos animales (Anexo 1). Tal y como se discute y concluye en el apartado anterior, la aplicación de dicho protocolo debe realizarse considerando los requerimientos técnicos y las limitaciones y consideraciones actualmente identificadas de los collares de vallado virtual.



### Anexo 1 - Protocolo de entrenamiento y uso de la aplicación móvil y los collares de vallado virtual NoFence para ovejas.

Antes de empezar:

Hay que considerar 4 puntos básicos:

1. Cercado de entrenamiento.
2. Plan de entrenamiento.
3. Inhibidores
4. Cobertura de red móvil

#### 1. Cercado de entrenamiento.

Para realizar el entrenamiento hay que habilitar un cercado físico vallado con malla electrificada.

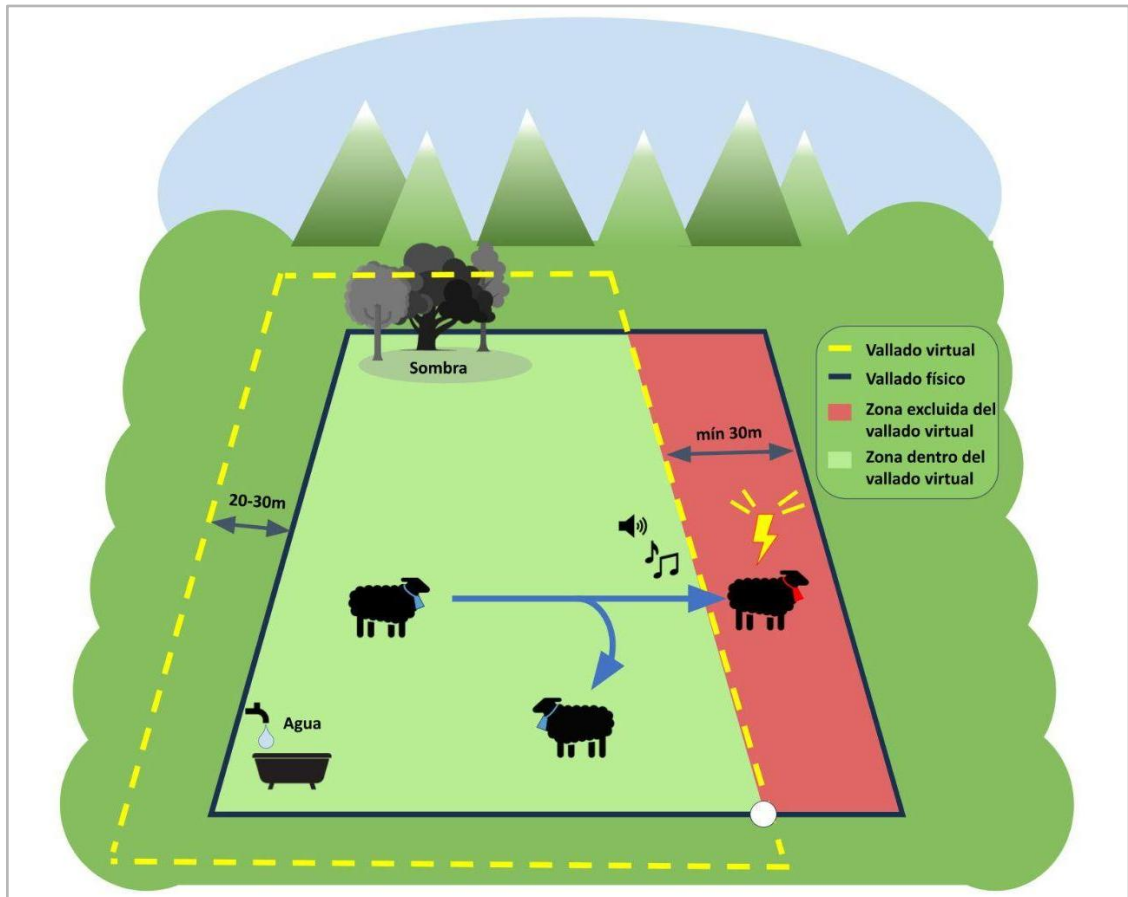
Tiene que asegurarse la disponibilidad de alimento, agua, sombra y cobijo del frío para todos los animales a entrenar. Es indispensable hacer un cálculo previo del alimento disponible en el cercado para garantizar que los animales entrenados tengan comida para un período mínimo de 10 días.

Para la selección del área de entrenamiento hay que concretar el número de cabezas a entrenar y preseleccionar a los individuos considerando lo siguiente:

- No se pueden entrenar corderos ni ovejas con cordero.
- Los animales a entrenar deben estar físicamente preparados para las condiciones que presenta el entrenamiento.
- Los animales deben ser lo suficientemente grandes físicamente para llevar el collar sin problema ni molestias.
- A ser posible la lana debe estar corta en la zona del cuello.
- Para los animales es más fácil acostumbrarse a las condiciones del entrenamiento si mantienen el grupo al que están acostumbrados.



Véase una imagen resumen de las características del área de entrenamiento para los collares NoFence a continuación:



El área de entrenamiento debe cumplir lo siguiente:

- Tenga suficiente pasto para alimentar al grupo seleccionado durante mínimo 10 días (hay que prever que el número de días puede variar entre grupos).
- Asegure el acceso al agua.
- Disponga de una zona de sombra.
- No puede haber ningún edificio o zona muy densa de árboles, ya que interfiere en el posicionamiento de los collares y pueden emitir pulsos erróneamente.



- Sea lo más regular posible, la forma más intuitiva para los animales es rectangular/cuadrada. Se debe evitar crear pasillos, zonas estrechas o irregulares.
- Haya la menor pendiente y obstáculos posibles.
- Los animales conozcan el terreno, es una zona donde se sientan seguros para minimizar el estrés.

Una vez seleccionado el cercado de entrenamiento hay que delimitar el área con un vallado físico, como una mallá eléctrica para ovejas.

Cuando el cercado físico esté instalado hay que definir un vallado virtual adecuado considerando que:


- Sea un rectángulo que rodee el cercado por la parte exterior asegurando que tres de los lados estén a al menos 20-30 m del cercado físico.
- Haya una única línea del rectángulo de cercado virtual que cruce el cercado físico, creando una división de aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de cercado físico disponible para el pasto y  $\frac{1}{4}$  excluido por el cercado virtual.
- De la línea virtual al cercado físico debe haber al menos 30 m (en el caso de las ovejas) para proveer una zona de escape y recuperar la calma.
- Se debe evitar que haya obstáculos antes, después o justo en la zona donde está la línea virtual. La presencia de estos puede interrumpir una interacción adecuada que permita un aprendizaje correcto y fluido.
- Es importante no excluir ni poner el cercado virtual cerca del punto de agua ni de la zona de sombra.



## 2. Plan de entrenamiento.

NoFence especifica que para usar sus collares hay que dejar a los animales en un mismo pasto durante los días del entrenamiento, incluidas las noches.

El entrenamiento por lo tanto consiste en dejar que los animales interactúen gradualmente con el collar y el vallado virtual a lo largo de los días. El objetivo es que los animales relacionen el sonido que precede al pulso eléctrico y den media vuelta al escucharlo. Se espera que a los 4 días aproximadamente bastantes de los animales ya relacionen el sonido de los collares con darse la vuelta antes de recibir un pulso.

1. Descargar la aplicación móvil (con PlayStore o AppStore) buscando “NoFence” y bajando la aplicación con el logo de la marca. Véase aquí como ejemplo: 
2. Iniciar sesión con la cuenta en la aplicación móvil de NoFence:
  - a. **Usuario:** ejemplo@gmail.com
  - b. **Contraseña:** Ejemplo1
3. Conceder permisos a la aplicación:
  - a. Permitir acceso a la ubicación del dispositivo (facilita el trabajo de campo).
  - b. Permitir notificaciones (facilita el monitoreo del rebaño en tiempo real).
4. Crear un vallado para delimitar la zona de pastoreo:
  - a. Seleccionar el apartado “Vallados” en la parte inferior de la pantalla.
  - b. Seleccionar el símbolo “+” en la parte superior derecha de la pantalla.
  - c. Marca por lo menos 3 puntos en el mapa para crear un vallado virtual en la zona a delimitar.



- d. Una vez creado el vallado virtual, presione “Guardar” en la esquina superior derecha de la pantalla y asigne un nombre (p.ej.: Test\_Val\_Aran).
  - e. Ahora, desde la opción “Vallados” en la parte inferior de la pantalla, puede ver los diferentes vallados creados. Seleccionando el deseado (p.ej.: Test\_Val\_Aran) se puede cambiar el nombre, editar el límite y duplicar o eliminar el vallado usando el botón de “Configuración ⚙️” de la esquina superior derecha.
5. Activar y testear los collares.
- a. Activar los collares al menos 15 min antes de ponerlos a los animales. Consiste en insertar la batería en el collar (se debe escuchar un sonido) en una zona despejada, lejos de cualquier construcción y dejar tiempo suficiente para que el collar se actualice.
  - b. Comprobar el funcionamiento de los collares. En la aplicación móvil, apartado “Collares” en la parte inferior de la pantalla, buscar los collares usando “Búsqueda 🔍” en la esquina superior izquierda de la pantalla. Clicar sobre el collar deseado, y comprobar que la localización actual sea correcta.
6. Colocar los collares a los animales.
- a. Colocar el collar alrededor del cuello del animal, aproximadamente en la mitad baja del cuello más próxima al pecho que a la cabeza, rodeándolo con la tira elástica (previamente atada a una de las cadenas) y enganchando el extremo libre a la cadena del otro lado.
  - b. Asegurarse que cabe un dedo entre el collar y el cuello del animal y que se puede rodear el dedo con la tira elástica fácilmente. Esta medida asegura que el collar no esté demasiado flojo y que le dé margen al animal a engordar y/o producir lana.



7. Mover los animales a la zona de pastoreo.
  - a. Asegurarse que el rebaño se encuentra dentro del área delimitada por el vallado virtual. Se debe asegurar que en este momento los animales no se encuentren dentro o cerca de ninguna construcción o en una zona densa de árboles.
  - b. Comprobar que haya al menos dos marcas de las tres de cobertura en cada collar. Desde la aplicación móvil;
    - i. En la parte inferior de la pantalla, en el apartado “Collares”, buscar los collares usando la opción “Búsqueda 🔍” de la esquina superior izquierda de la pantalla.
    - ii. Clicar sobre el collar deseado, en la parte inferior derecha se muestra el apartado “Cobertura 📊” que representa las marcas de cobertura móvil. Seleccionando este apartado se accede al historial de red. Este muestra los datos de cobertura de red para el collar durante las últimas 24 horas o en la última semana.
    - iii. Asegurar que hay un mínimo de dos de las tres marcas que indican la cobertura móvil del collar.
  - c. Dejar aclimatar a los animales durante 15 minutos a la zona de pastoreo.
  - d. Activar el vallado virtual
    - i. En la aplicación móvil, seleccionar “Collares”, en la parte inferior de la pantalla.
    - ii. Usando el botón “Seleccionar” de la parte inferior de la pantalla, escoger los collares que se encuentran en la zona de pastoreo. Se pueden encontrar collares rápidamente usando la



- opción “Búsqueda 🔍” de la esquina superior izquierda de la pantalla.
- iii. Presionar la opción “Mover collares”.
  - iv. Escoger el vallado virtual previamente creado (p.ej.: Test\_Val\_Aran).
  - v. Repasar la información del movimiento y confirmar en la parte inferior “Confirmar poner el vallado”.
  - vi. Esperar a que los collares se sincronicen con el nuevo vallado. El tiempo de carga normalmente es de unos pocos minutos, pero aumenta si hay poca conexión móvil o un número elevado de collares.
8. En el apartado “Estado”, en la parte inferior izquierda de la pantalla, ahora podemos ver el vallado virtual activo con los collares asociados.
9. Para un monitoreo de la batería, cobertura, avisos del límite, pulsos, escapes, actividad y otra información sobre los collares, se puede usar el apartado “Collares” en la parte inferior de la pantalla junto con el panel “Ordenar” en la esquina superior derecha.

### **3. Inhibidores**

Como se ha comentado en el apartado “área de entrenamiento” no puede haber edificios en la zona de entrenamiento. En caso de que los animales puedan acercarse a menos de 30 metros de algún edificio hay que consultar la instalación de inhibidores NoFence.

### **4. Cobertura de red móvil**



Para comprobar los datos de cobertura de red móvil actual y el historial de red hay que seguir los siguientes pasos desde la aplicación móvil.

Comprobar que haya al menos dos marcas de las tres de cobertura. Se puede hacer desde la aplicación móvil;

- En la parte inferior de la pantalla en el apartado “Collares”, buscar alguno de los collares usando la opción “Búsqueda 🔍” de la esquina superior izquierda de la pantalla.
- Clicar sobre el collar deseado. En la parte inferior derecha se muestra el icono de “Cobertura 📶”, que representa las marcas de cobertura móvil. Seleccionando este apartado se accede al historial de red. Este muestra los datos de cobertura de red para el collar durante las últimas 24 horas o la última semana.