



INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE BUENOS AIRES

PROYECTO FINAL DE CARRERA

PRIMER CUATRIMESTRE 2020

Diseño integral de una plataforma de detección automática de estrés en gallinas ponedoras a partir de su cacareo en granjas productivas

Alumnas:

Agostina REY- 56.508

Julia SCHRÖDER LANGHAEUSER- 56.145

Tutor: Leandro HARILLO

Índice

1. Resumen	4
2. Contexto	5
3. Objetivos	7
4. Metodología de trabajo	9
5. Industria del huevo en Argentina y Latinoamérica	10
5.1. Producción y mercado	10
5.1.1. Modos productivos	13
5.2. Bienestar Animal	17
5.2.1. Beneficios de promover el bienestar animal para el agricultor	18
5.2.2. Normativa argentina	18
5.2.3. Tendencias a nivel regional y global	19
5.2.4. Consideraciones de ética	22
5.3. Identificación de intereses de los distintos <i>stakeholders</i>	23
6. Estrés en gallinas	26
6.1. Efectos sobre las gallinas y la producción.	26
6.2. Factores de estrés en gallinas	28
6.3. Técnicas de medición de estrés en aves	30
6.3.1. Métodos no invasivos	30
6.3.2. Métodos invasivos	31
6.4. Capacidad de comunicación entre gallinas	31
6.5. Bioacústica y estado del arte	33
7. Análisis de factibilidad preliminar	36
7.1. Análisis estacionario	36
7.2. Periodograma y autocorrelación	40
8. Descripción de la solución	45

9. Hardware: requerimientos y especificaciones técnicas	47
9.1. Requerimientos de señales	47
9.2. Caracterización de sensores	49
9.2.1. Micrófonos	49
9.2.2. Sensores de temperatura y humedad	50
9.2.3. Sensor de amoníaco	52
9.3. Microcontrolador	54
9.4. Escenarios de prueba	55
10.Firmware: definición del procesamiento de señales	56
10.1. Filtrado de la señal	56
10.2. Extracción de características en tiempo y frecuencia	56
10.2.1. Características en el dominio del tiempo	57
10.2.2. Características en el dominio de la frecuencia	59
10.2.3. Selección de características	61
10.3. Support Vector Machine (SVM)	61
11.Red de comunicación en granjas	64
11.1. Desafíos	64
11.2. Tecnología	64
11.2.1. WiFi	64
11.2.2. Red Mesh	65
11.2.3. LoRa	68
11.2.4. Híbrido	70
12.Software	73
12.1. Protocolos de comunicación	73
12.2. Arquitectura	75
12.2.1. MVC: Modelo-vista-controlador	76
12.3. Monitoreo del estado de los dispositivos.	77
13.Prueba de concepto	79

13.1. Hardware	79
13.2. Firmware: procesamiento de señales	82
13.2.1. Filtrado de las señales	83
13.2.2. Extracción de características	88
13.2.3. Support Vector Machine	92
13.3. Software	93
13.3.1. Panel de control	93
13.3.2. Historial de situaciones de estrés	96
13.3.3. Gestión de los dispositivos	97
14. Estudio de costos	99
15. Conclusiones	103
16. Anexo 1: Señales en tiempo	106
17. Anexo 2: Espectrogramas	111
17.1. Señales crudas	111
17.2. Señales filtradas con filtro estadístico.	113
17.3. Señales filtradas con filtro determinístico.	116
Referencias	119

1. Resumen

La industria del huevo provee una de las formas más eficientes de producir proteína animal a un costo accesible. La necesidad mundial de una alimentación completa exige a las granjas a evolucionar hacia una avicultura de precisión. El presente proyecto se basa en la potencialidad de detección de estrés en tiempo real en gallinas ponedoras a partir de su cacareo, proponiéndose establecer su factibilidad y diseñar una plataforma integral. El propósito es aprovechar las capacidades comunicativas de las gallinas y los avances en bioacústica para aumentar la productividad del lote y maximizar su bienestar, beneficiando a numerosos *stakeholders*.

La solución planteada involucra *hardware*, *firmware* y *software*, considerando la adquisición de la señal de cacareo junto con información ambiental, el filtrado y preprocesamiento, la extracción de características de la señal sonora, la detección del estrés a partir de estas, la red de comunicación en la granja y una WebApp para el monitoreo y análisis.

Más allá de los aspectos éticos y la imposibilidad consecuente de realizar ensayos sobre las gallinas, se logró armar una prueba de concepto que, junto con el análisis de la bibliografía vigente, permitió establecer la factibilidad y definir una base sólida para la implementación futura del producto.

2. Contexto

La industria del huevo provee una de las formas más eficientes de producir proteína animal. El huevo presenta una base nutricional muy completa siendo fuente fundamental de ácidos grasos, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales acompañados de un gran aporte energético, por lo que su incorporación a la dieta genera beneficios importantes para la nutrición y la salud. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) lo presenta como uno de los alimentos más nutritivos de la naturaleza y plantea aprovechar su potencial como herramienta de lucha contra el hambre y la malnutrición porque brinda un gran aporte nutricional a un costo accesible [1].

Con el aumento de la necesidad mundial de alimentación completa a bajos costos, la producción y el consumo de huevo han sumado popularidad. El desarrollo y la incorporación de tecnología llevaron a una masificación de la industria para – al menos intentar – satisfacer la demanda mundial. Históricamente, las decisiones en una granja se basan mayormente en las observaciones y experiencia de los avicultores, pero esta dependencia de la intervención humana se ve dificultada hoy por el tamaño productivo y la alta densidad de aves con la que se trabaja (las gallinas han llegado a ser el animal doméstico más abundante a nivel mundial) [2]. Es por esto que desde la Cámara Argentina de Productores de la Industria Avícola (CAPIA) se incentiva a los productores a evolucionar hacia una “Avicultura de Precisión” para que, con ayuda de la tecnología, se aumente la competitividad de la industria de forma sustentable. Esto implica la incorporación de procesos y tecnologías para producir más, con mayor calidad, cuidando el medio ambiente y el bienestar animal. En la figura 1, se muestra un esquema de las tres condiciones fundamentales para lograr una avicultura de precisión: el monitoreo constante de variables fisiológicas animales, una predicción confiable y una interfaz de monitoreo que permita tomar acciones de control [4].

La relevancia de este proyecto se basa en gran parte en la importancia de la industria avícola tanto en el mundo como en Argentina y los países limítrofes, siendo Brasil uno de los principales productores a nivel mundial [3]. Con el mismo, se espera hacer un aporte significativo a la industria avícola mediante la presentación de un nuevo método de medición y detección del estrés, para que este no sea sólo inferido a partir de la observación de la actitud de las gallinas por parte del avicultor, sino que se cuente con herramientas cuantitativas y confiables que incorporen los avances en la tecnología y los nuevos conocimientos sobre comportamiento animal. Las gallinas son una

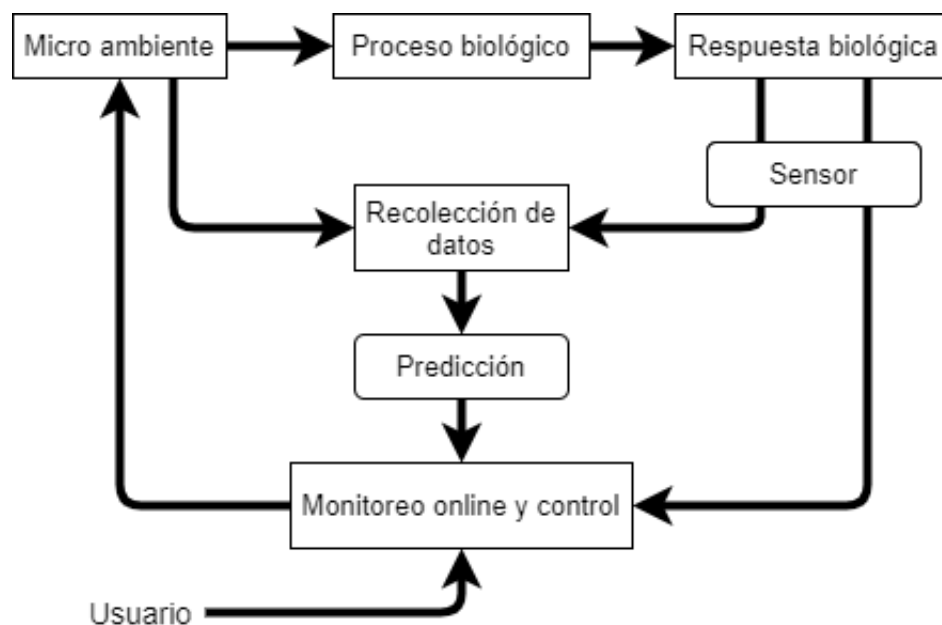


Figura 1: Esquema de avicultura de precisión por integración de mediciones en las biorrespuestas con un modelo predictivo del proceso, para construir un sistema de monitoreo y control [4].

especie animal altamente comunicativa, por lo que a partir de la combinación de sonidos pueden informar a sus vecinos cambios en las condiciones propias o del ambiente [2]. La identificación y gestión de situaciones de estrés en tiempo real mediante métodos no invasivos como el análisis del cacareo de las gallinas en el sonido ambiente, se convertiría en una herramienta de gran impacto en la producción de alimento, influyendo sobre las tasas de mortalidad y los niveles de productividad. A su vez, el monitoreo sobre la situación física y emocional de las gallinas funciona como un estimador del bienestar animal, acompañando las tendencias actuales y satisfaciendo las exigencias de los consumidores.

3. Objetivos

Los objetivos de este proyecto son establecer la factibilidad y presentar el diseño de una plataforma integral (compuesta por *hardware*, *firmware* y *software*) que permita identificar, en tiempo real, altos niveles de estrés en las gallinas ponedoras de huevos dentro de un galpón para que el avicultor pueda realizar acciones correctivas que impacten positivamente sobre los índices de bienestar animal y productividad del lote.

Adicionalmente, se espera que la solución pueda, eventualmente, evolucionar en un producto competitivo para el mercado. Para alcanzar esto, es necesario lograr un buen entendimiento sobre los factores que influyen desde diversos aspectos. Así, se analizará el contexto de la industria avícola nacional y regional, se hará hincapié en las consideraciones de bienestar animal, y se estudiará cómo es la comunicación en las gallinas y cómo influye el estrés, definiendo posibles ensayos a realizar. A su vez, se evaluarán los desafíos y se establecerán los aspectos principales de la problemática, especificando los criterios claves para la ejecución del proyecto y analizando sus costos, con el objetivo de explorar su factibilidad técnica, económica y normativa.

Luego, se buscará diseñar un prototipo de plataforma *end-to-end*, es decir, provista en su totalidad sin necesidad de la participación de terceros, para lograr la detección automática de situaciones de estrés mediante el análisis del sonido emitido y la detección de condiciones ambientales (temperatura, humedad, nivel de amoníaco). El mismo estará compuesto de tres bloques principales: uno de adquisición y preprocesamiento de la señal sonora, otro de extracción de características de la misma y detección y clasificación de estrés, y uno último de alerta, análisis y monitoreo en tiempo real desde una plataforma web, respetando los requisitos de la avicultura de precisión representados en la figura 1.

En cuanto al módulo de *hardware*, se lo podrá clasificar como un dispositivo IoT con procesamiento *on-the-edge*; esto quiere decir: la información recopilada de los dispositivos será clasificada, en la medida de lo posible, en los mismos con el fin de reducir el tráfico de datos y optimizar el procesamiento. Se caracterizarán los sensores disponibles en el mercado para evaluar las mejores opciones para llevar a cabo la adquisición de la señal. Para el caso del *firmware*, se tendrán en cuenta los estudios previos en la temática para delinear los algoritmos de procesamiento de la señal obtenida que permitan obtener una caracterización del estrés en tiempo real. También serán estudiadas las diferentes estrategias de comunicación y transmisión de datos en el módulo de *software*,

así como también diseñar la plataforma *web-based* que será la interfaz con el usuario.

En síntesis, se desea desarrollar una propuesta de un sistema que sea de valor para los avicultores por su influencia en la optimización de la productividad y especial atención al bienestar animal.

4. Metodología de trabajo

El modo de investigación para este trabajo incluyó en lo teórico la revisión de artículos y revistas académicas para analizar el estado del arte y posibles aristas de la solución que se busca presentar, la revista *Industria Avícola* principalmente como fuente de información para entender la industria latinoamericana y el estudio de libros académicos para la presentación de algoritmos.

Se realizó a su vez una entrevista a Eduardo Peluffo, CEO de Proatics (compañía argentina de AgTech que opera en la región), para obtener información sobre la industria en Latinoamérica, conocer su opinión respecto al valor del aporte que podría hacer un producto como el que se está diseñando y validar la forma de presentación de los datos en la prueba de concepto realizada.

Con pruebas y desarrollo en *hardware*, se pudo realizar una grabación en un galpón Zucami en la Avicola Telos (Avicoper su nombre comercial) ubicada en Ruta 32 km 5,5, Pergamino, Provincia de Buenos Aires. Son los productores de huevos más grandes del país, con alrededor de 750.000 aves alojadas. Cuentan con cuatro galpones automatizados Zucami con capacidad para 120.000 aves cada uno, dentro de uno de ellos se realizaron las grabaciones.

5. Industria del huevo en Argentina y Latinoamérica

A continuación, se propone brindar una breve contextualización del mercado, el sistema productivo y el consumo del huevo en el país y en la región. Para ello, primero se presentarán las estadísticas y tendencias actuales en la industria, y se hará hincapié en las implementaciones tecnológicas. Además, se tratará el tema del bienestar animal, ya que el creciente interés en el mismo es un factor clave en el que se encuadra el proyecto. Por último, se identificarán los principales actores dentro del mercado que pueden ser impulsores del proyecto.

5.1. Producción y mercado

Tanto el consumo per cápita como la producción de huevo a nivel global muestran una tendencia creciente. Esto puede atribuirse a múltiples factores, como el crecimiento demográfico, el precio competitivo y el esfuerzo de campañas para promover el consumo a favor de una alimentación saludable y nutritiva [5, 6]. El huevo además de ser un producto culinariamente versátil y presentar ventajas en términos de transporte y conservación, es una excelente fuente de proteína que permite alimentar a un mayor número de personas a partir de un kilogramo de producto que la carne y el pescado [5]. Entre los factores que favorecen, y se prevé que continuarán fortaleciendo, a la industria del huevo se encuentran la creciente demanda de proteína animal en el mundo, la mejora en las genéticas y la incorporación de tecnología en las líneas de producción [6].

Particularmente en Latinoamérica, la población de gallinas ponedoras creció un 11,75 % entre 2013 y 2018 [7] y un 5,17 % de 2018 a 2019, alcanzando los 495 millones de aves [8]. Este crecimiento se pudo ver en todos los países latinoamericanos, con excepción de Bolivia y Venezuela, y principalmente en Colombia (15,4 %) y Ecuador (14,6 %); en Argentina, el incremento fue del 5,75 %. En la tabla que se muestra en la figura 2, se puede ver la evolución de la parvada en cada país en los últimos cinco años. El sector presenta una baja concentración a nivel regional, ya que no contiene empresas multinacionales sino que operan cada una en su propio país. Las empresas que integran el *top 10* suman 120,70 millones (24,38 %) de gallinas; en contraste, este grupo representa casi el 75 % de la producción en la industria de los pollos de engorde. Entre estas diez empresas, cinco son mexicanas y tres son brasileras [8].

También el consumo de huevo se muestra en alza a niveles tanto global como regional. En 2019, el promedio de consumo anual per cápita en toda la región fue de 208 unidades de huevo. En



País	2015	2016	2017	2018	2019
Argentina	42.50	43.10	44.20	42.40	44.84
Bolivia	3.97	4.50	8.69	8.69	8.49
Brasil	91.20	91.20	105.00	105.00	118.50
Chile	12.00	12.70	14.86	16.14	16.10
Colombia	37.00	40.45	43.00	41.00	47.00
Costa Rica	3.50	3.80	3.40	4.12	4.25
Ecuador	9.50	9.50	9.50	12.50	14.43
El Salvador	5.65	6.00	6.00	4.50	4.50
Guatemala	8.50	8.50	8.50	13.10	13.10
Honduras	4.00	4.50	4.50	4.50	4.50
México	154.00	162.00	158.70	163.00	165.00
Nicaragua	2.00	2.20	2.20	2.20	2.20
Panamá	2.51	2.50	2.50	2.50	3.35
Paraguay	2.80	2.80	3.20	3.30	3.40
Perú	16.00	22.30	25.80	27.30	27.70
República Dominicana	6.00	6.00	7.00	7.20	7.20
Uruguay	3.20	2.80	2.80	3.20	3.15
Venezuela	14.00	12.50	13.50	10.00	7.26
Totales	418.32	437.35	463.35	470.65	494.97

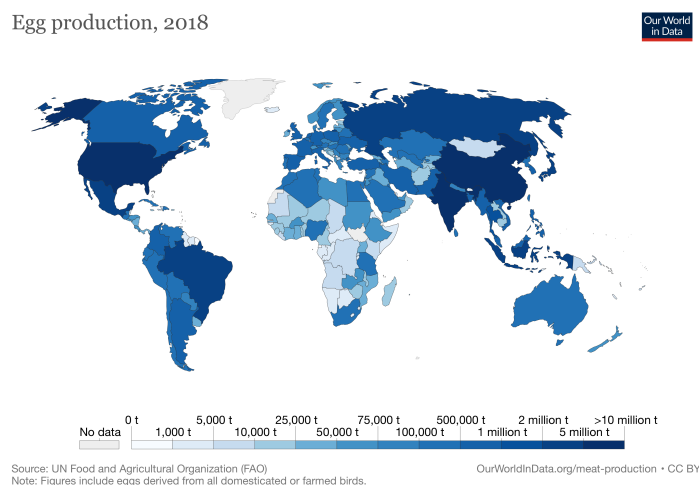
Figura 2: Evolución de la producción nacional de ponedoras 2015-2019, en millones de aves en producción [8].

Argentina, en 2019 el consumo aumentó un 4,8 % respecto del 2018 (de 271 a 284 huevos promedio por persona por año). México es el claro líder en consumo de huevo, con un promedio de 378 huevos por persona, siendo el segundo consumidor a nivel mundial, sólo superado por China; en segundo lugar, se encuentra Colombia con 291 unidades, seguido por Argentina, en el tercer puesto. Uruguay, Chile, Perú, Brasil, Ecuador, Costa Rica y República Dominicana son también países de la región con consumo per cápita de huevo superior al promedio regional.

En la figura 3 se muestran dos mapas, para la producción (en 2018) y el consumo por cápita (en 2017) de huevo por país en el mundo. En ambos, se destaca la imponente participación de América y, particularmente, de Argentina (que en 2018 era el 17° productor y en 2017, el 12° consumidor).

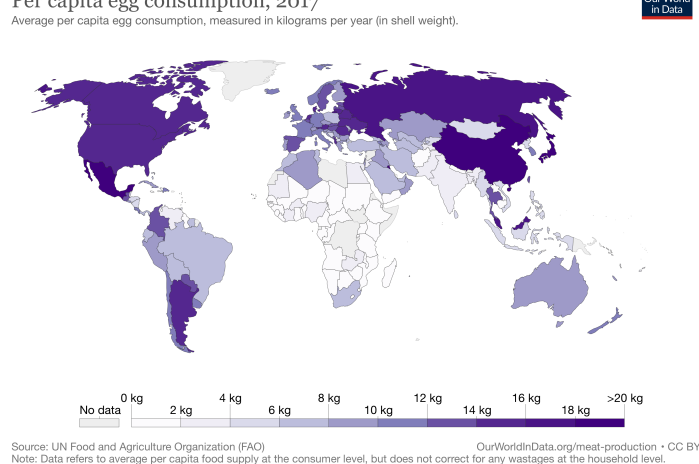
A nivel nacional, la población de gallinas a Abril de 2020 es de 44,84 millones. En cuanto a la distribución de estas aves, la información disponible más reciente corresponde al 2013, cuando según

Egg production, 2018



(a) Distribución de la producción global de huevo en 2018.

Per capita egg consumption, 2017



(b) Distribución del consumo global de huevo en 2017.

Figura 3: Mapas de producción y consumo de huevo a nivel global [9]

el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), el 41 % se concentraba en la provincia de Buenos Aires y el 24 %, en Entre Ríos; el resto se distribuía entre Córdoba, Santa Fe y Mendoza con 7 % cada una, y las demás provincias con el 14 % restante [10]. La distribución de granjas sigue una tendencia similar, como se puede ver en el gráfico de la figura 4 que fue construido a partir de la información brindada por el SENASA sobre la distribución de establecimientos de aves de postura por provincia en 2016 [11].

Parte de la producción argentina de huevos es destinada a la exportación: entre 2018 y 2019 se registró un incremento del 6 % en este movimiento, alcanzando una exportación del 3,6 % de

Distribución de establecimientos de gallinas de postura por provincia (2016)

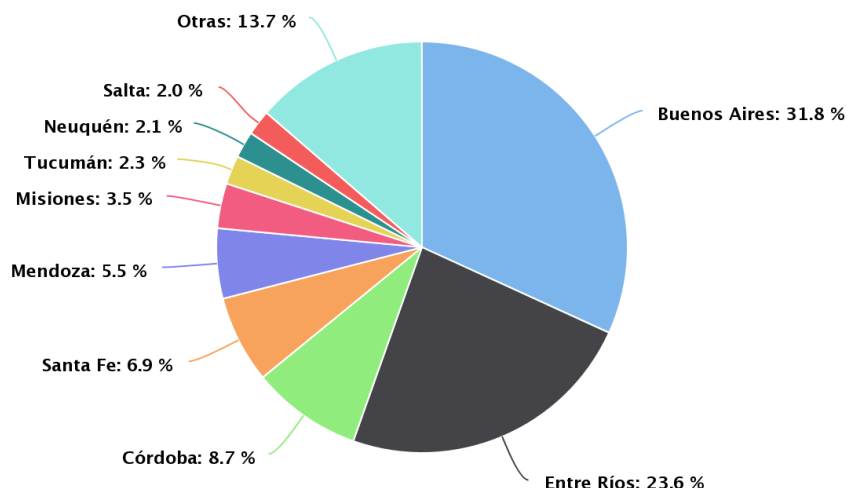


Figura 4: Granjas avícolas de postura por provincia (2016) [11].

los ovoproductos, lo que significó en un total de casi US\$ 55 millones en 2019. Los principales importadores de huevos argentinos son Rusia, Japón y el conjunto de la Unión Europea. El presidente de la Cámara Argentina de Productores Avícolas (CAPIA), Javier Prida, asegura que el país no es competitivo a nivel mundial por cuestiones “tributarias y de costo de mano de obra”, que significan el 45 % del costo de la producción, a los que se les suman las cuestiones “de tipo de cambio” [12].

5.1.1. Modos productivos

El Ministerio Nacional de Agroindustria y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) agrupan a los sistemas productivos de huevo en dos grandes grupos según el grado de confinamiento y las instalaciones empleadas: gallinas a piso o gallinas en jaulas, existiendo también la combinación de ambos sistemas en las distintas etapas de la vida de la gallina [13].

En los sistemas “a piso”, las gallinas se acomodan en el suelo y tienen acceso a camas, ponederos, aseladeros, comedores y bebederos. Dentro de esta modalidad, se hallan distintas categorías: por un lado, están los aviarios, que son galpones que alojan a las gallinas en el suelo y permiten aprovechar también el espacio vertical por medio de diferentes niveles; por el otro, se tienen los sistemas denominados como “alternativos”, a partir de los que se obtienen los huevos conocidos como “de campo” u “orgánicos”. Esta modalidad, en todos los casos, es la que garantiza mayor bienestar para

las gallinas, pero significando mayores inversión y costos de producción, y menor productividad [14].

Los sistemas de baterías o jaulas (se pueden ver ejemplos en la figura 5), por su parte, se clasifican de acuerdo a la densidad de gallinas dentro de las mismas y el nivel de las instalaciones. Las jaulas convencionales suelen contener sus seis lados de red metálica y el piso presenta una leve pendiente para que los huevos rueden y sea más fácil la recolección (ya sea manual o a través de una cinta transportadora); en estos casos, la provisión de alimento se da por una canaleta colocada en el frente y la de agua, por bebederos elevados con picos. En el caso de las jaulas más modernas, se hallan las conocidas como jaulas “enriquecidas”, que podrían interpretarse como jaulas “amobladas” ya que están integradas por aseladero, ponedero y cama, y exigen una mayor superficie y más altura [14]. Las jaulas enriquecidas tienen una productividad igual que las jaulas convencionales, pero la inversión y los costos de producción son mayores, como también lo es el bienestar de la gallina que se aloja en ellas.



(a) Jaulas convencionales¹



(b) Jaulas enriquecidas²

Figura 5: Jaulas

En 1999, cuando las gallinas se mantenían principalmente en jaulas con un espacio de 450 cm² por gallina, el Consejo Europeo de Agricultura estableció que a partir de 2003 sería obligatorio aumentar este espacio a, por lo menos, 550 cm² por gallina como transición hacia el objetivo final: desde 2012 en adelante, sólo se permitiría la utilización de jaulas enriquecidas (750 cm² de espacio vital) o aviarios (1100 cm²). En la figura 6, se muestra un esquema de los sistemas productivos autorizados dentro de la comunidad europea.

¹Cabaña La Asunción, Argentina. <http://www.laasuncionsa.com.ar/avicultura.php>

²Zucami. General Catalog. <https://zucami.com/en/general-catalog-2/>

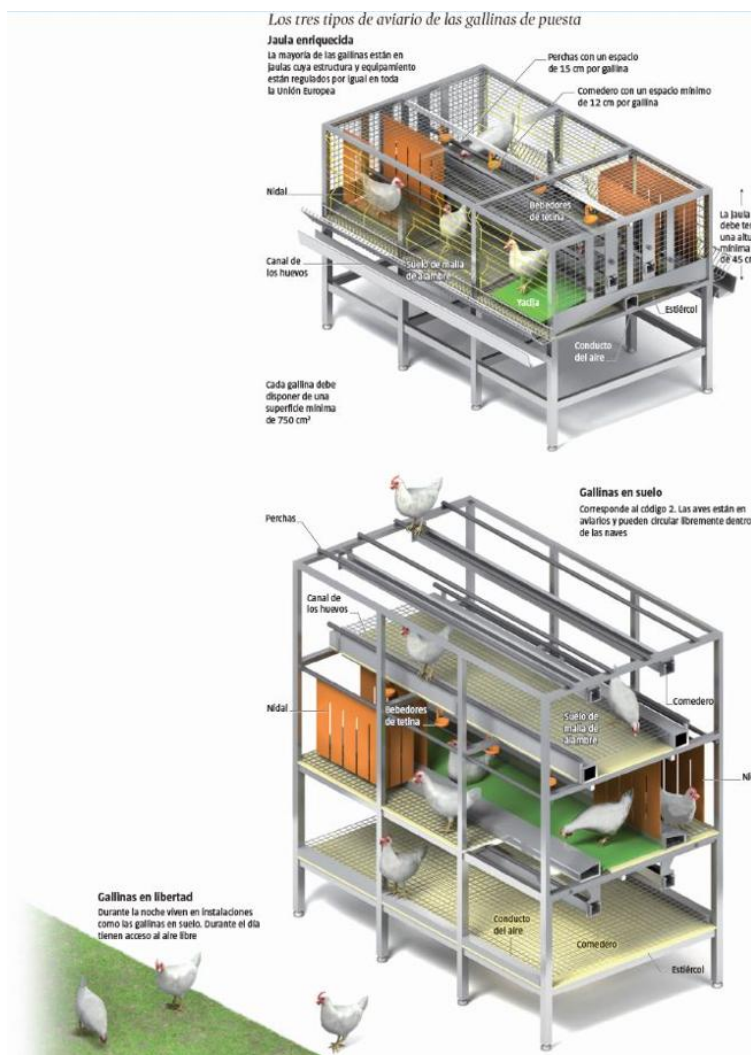


Figura 6: Esquema de sistemas permitidos en la Unión Europea desde 2012¹

Mientras tanto, en América las legislaciones en esta materia son mucho más laxas. Por ejemplo, en México, se exige un espacio vital mínimo de 450 cm² [15], en Brasil, entre 330 y 430 cm² y Estados Unidos, por su parte, exige un mínimo de 430 cm² [14]. En Argentina, el SENASA sólo *recomienda* un mínimo de 550 cm² [16]. Tampoco están prohibidas en América del Sur las jaulas no enriquecidas y, aunque sigue siendo rara la aplicación de estas o sistemas libres de jaula, lentamente se va incorporando la tecnología y se está migrando desde los sistemas tradicionales a los sistemas más modernos [6].

Otro punto a partir del cual se puede clasificar sistemas productivos según el nivel tecnológico

¹La Vanguardia. Entre el precio y el bienestar. 2017. <https://www.pressreader.com/spain/la-vanguardia-1a-edición/20171128/281981787903402>

es en los galpones utilizados. Los galpones tradicionales no implementan tecnología sino que todas las acciones son llevadas a cabo por humanos. Las ofertas modernas presentan la automatización de la provisión de alimento, climatización y recolección de huevos, lo que reduce tanto la mano de obra como el estrés de las aves. Los galpones automáticos pueden implementar tanto sistemas de jaulas como de aviarios, como se muestra en las imágenes de la figura 7. Según recientes estudios, mantener las gallinas en galpones automáticos repercute positivamente en la productividad de las gallinas y en la conversión alimenticia, lo que se puede atribuir a la mayor comodidad y mejor manejo alimenticio; por otro lado, no se ven efectos del tipo del galpón sobre otros factores como el peso de las aves, la cantidad de alimento consumida y la mortalidad de las gallinas [17].



(a) Galpón automático con aviario



(b) Galpón automático con jaulas enriquecidas

Figura 7: Galpones automáticos marca Zucami²

En este punto, es pertinente destacar que la variabilidad en los tipos de galpones presenta un desafío en la implementación del dispositivo en cuestión, principalmente en cuanto a consideraciones de instalación y en el filtrado de las señales recolectadas, ya que los ruidos producidos y las frecuencias que se necesitan filtrar variarán también. Esta es una de las cuestiones que fue consultada con Eduardo Peluffo, a partir de lo cual se decidió plantear la implementación únicamente en los galpones automáticos, al menos en principio. Esto se debe no solamente a la búsqueda de homogenización de las señales, sino a que los productores que implementan galpones automáticos suelen mostrar una mejor predisposición frente a la tecnología y a la inversión en ella. Además, como se explicó anteriormente, este es el sentido en el que se dirige la industria y, por lo tanto, el presente proyecto debería focalizarse en acompañar este movimiento.

5.2. Bienestar Animal

El bienestar animal es de especial relevancia para el presente estudio al considerar la definición recurrente del estrés como ausencia de bienestar. La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) lo define como “el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere”[18]. Es un concepto que abarca tres aspectos: el funcionamiento biológico orgánico, el estado emocional y la expresión de conductas normales propias de la especie. Ante una falla en alguno de estos componentes, el animal tiende a exhibir respuestas de estrés o a mostrar conductas anormales.

De acuerdo a un comunicado del Farm Animal Welfare Council (FAWC), el bienestar de un animal garantiza cinco libertades: libertad de hambre, sed o desnutrición con acceso a agua fresca y comida nutritiva; libertad de incomodidad brindándole un ambiente acorde incluyendo refugio y zonas de descanso; libertad de dolor, lesiones o enfermedades con prevención y rápido diagnóstico y tratamiento; libertad para expresarse en su forma más natural proveyéndolo de espacio y compañía de su propia especie; libertad del miedo con condiciones que prevengan situaciones que el animal entienda de riesgo [19].

Leonardo Thielo de la Vega, especialista en bienestar animal reconocido internacionalmente, destaca el rol fundamental del bienestar animal en relación con la eficiencia en la producción de huevos en granjas. Además, hace hincapié en el valor ético de este área de estudio, estableciendo que los animales son capaces de experimentar sentimientos muy elaborados y tienen conciencia por lo que deben ser tratados éticamente, y no deben padecer ni sufrimiento físico ni psicológico [20, 21].

El Ministerio argentino de Agricultura, Ganadería y Pesca destaca al bienestar animal como un “valor esencial” que debe ser cuidado a lo largo de toda la cadena pecuaria, que sirve también para mejorar la calidad de los productos [22].

Se propone que el producto objeto del presente proyecto permita obtener medidas cuantitativas del bienestar a partir de su relación inversa y, por ende, servir como herramienta en los procesos de optimización del bienestar animal. Eduardo Peluffo asegura que, si bien hoy en día las plantas en Argentina “no son maduras en cuanto a consideraciones de bienestar animal”, este tomará un rol primordial en la agricultura en un futuro no muy lejano y propone que el producto sea presentado a organismos de certificación de bienestar animal para que promuevan su utilización y, eventual e idealmente, puedan utilizarlo para realizar las mediciones del estrés al momento de evaluar granjas.

A continuación se desarrolla sobre los beneficios, normativa y tendencias vinculadas al bienestar animal, para entender su importancia para la productividad agropecuaria, así como también la manera en la que resulta ser una fortaleza para el proyecto.

5.2.1. Beneficios de promover el bienestar animal para el agricultor

Más allá de la relevancia en cuestiones de ética y respeto por el animal, la optimización del bienestar de los animales tiene beneficios directos para el productor y el consumidor. El Ministerio Nacional de Agricultura, Ganadería y Pesca destaca los siguientes [22]:

- Disminuye la mortalidad, las enfermedades y las lesiones en los animales, aún permitiendo reducir el consumo de antibióticos, lo que resulta en menores gastos y pérdidas derivados de estas.
- Mejora la calidad de trabajo y disminuye los riesgos para el avicultor.
- Maximiza la productividad y la rentabilidad.
- Aumenta la calidad e inocuidad del producto que llega al consumidor
- Favorece la percepción pública positiva como consecuencia del trato digno y humanitario con los animales.

Estos puntos enfatizan la utilidad del producto presentado en el contexto actual ya que permiten vincularlo directamente con la productividad y la rentabilidad de los procesos productivos.

5.2.2. Normativa argentina

En el sitio del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca se halla un apartado que contiene la normativa vigente en materia del bienestar animal.

En primer lugar, se tiene la Ley Nacional N°14346/1954 sobre malos tratos contra animales donde se prohíben los actos de maltrato (como lo son la mala alimentación, el trabajo forzado excesivo y la estimulación con drogas sin fines terapéuticos) y crueldad (como mutilaciones, aflicción de dolor, lesiones o muerte intencionales y experimentación no indispensable) [23]. La misma delinea conceptos básicos para asegurar que ningún animal sea sometido a situaciones extremas, pero se hace poca referencia a cómo debe ser la crianza agropecuaria. Esta ley reemplaza a la 2786/1891,

emitida en el siglo XIX, que define al maltrato animal como acto punible y es la más antigua encontrada en Latinoamérica en esta temática.

En 2018, se emite la Resolución N° 575 que se refiere específicamente a los requisitos de bienestar en pollos de engorde. Si bien esta normativa no aplica directamente sobre las gallinas ponedoras, es importante destacar ciertos puntos pertinentes que se exhiben en el manual anexo para promover el bienestar de las gallinas [24]. Por un lado, se establece la importancia de que se encuentren en un entorno controlado, exigiendo el monitoreo, registro y control sobre las condiciones ambientales (temperatura, humedad, ventilación y luminosidad). Por el otro, se hace referencia al estrés en tres instancias: se determina que no se deben producir ruidos fuertes y que los mecanismos de captura deben ser los adecuados, ambas medidas destinadas a minimizar el estrés de las aves, y también que la luminosidad debe ser tal para promover la calma.

En 2019, se expide la Resolución N° 1697/2019: con nuevos requisitos para el bienestar animal en el ámbito pecuario y deportivo. En esta, se considera que “la utilización de animales conlleva la responsabilidad ética de velar por su bienestar en la mayor medida posible” [25]. Además, se define que existe una relación directa entre la calidad de vida de los animales y la productividad, destacando la existencia de beneficios económicos. En este artículo, se encuentra la primera referencia hacia el estrés: “El manejo de los animales debe promover una relación humano-animal positiva y no debe provocar heridas, miedo duradero ni estrés evitable”.

En síntesis, no queda establecido en ninguna de las normas vigentes un nivel de estrés específico ni se definen maneras de medirlo, pero sí se promueve su reducción a través de la toma de medidas de prevención.

5.2.3. Tendencias a nivel regional y global

Cada vez son más las empresas que incorporan criterios de bienestar en animales de granja en sus sistemas productivos. Esto se atribuye, principalmente, a las preocupaciones generales por el bienestar animal de la sociedad en general y de los consumidores en particular, y a los esfuerzos y campañas de las ONGs, redes sociales y medios de comunicación [26]. Además, se suma como factor importante el aumento en evidencias de que las medidas de bienestar animal repercuten positivamente sobre la rentabilidad y brindan beneficios económicos para el productor [27]. Se presentan a continuación datos obtenidos de diferentes reportes que muestran esta fuerte tendencia, tanto en el mundo en general como en Latinoamérica en particular.

The Business Benchmark on Farm Animal Welfare es líder mundial en medidas de bienestar animal en empresas de la industria alimentaria y, desde 2012, presenta reportes anuales a partir del desarrollo de cuestionarios a varias empresas geográficamente distribuidas. En 2019 se entrevistaron 150 empresas alimentarias, de las cuales 50 son norteamericanas, 70 europeas y el resto se distribuye entre varios países que incluyen a Australia, Brasil, China, Japón, Nueva Zelanda y Tailandia. También se pueden categorizar a estas empresas según su actividad: 63 son productores y fabricantes, 52 son vendedores minoristas o mayoristas y 35 son restaurantes y bares. En el reporte de 2019, se muestra el gráfico de la figura 8 donde se representa la evolución de la incorporación de medidas respecto del bienestar animal entre 2012 y 2019; las tres bandas se refieren al nivel de implementación de medidas para optimizar el bienestar: si estas son integrales a la estrategia del negocio (celeste), si existe evidencia de implementación de medidas (naranja) o si esta evidencia es limitada o nula (violeta) [28].

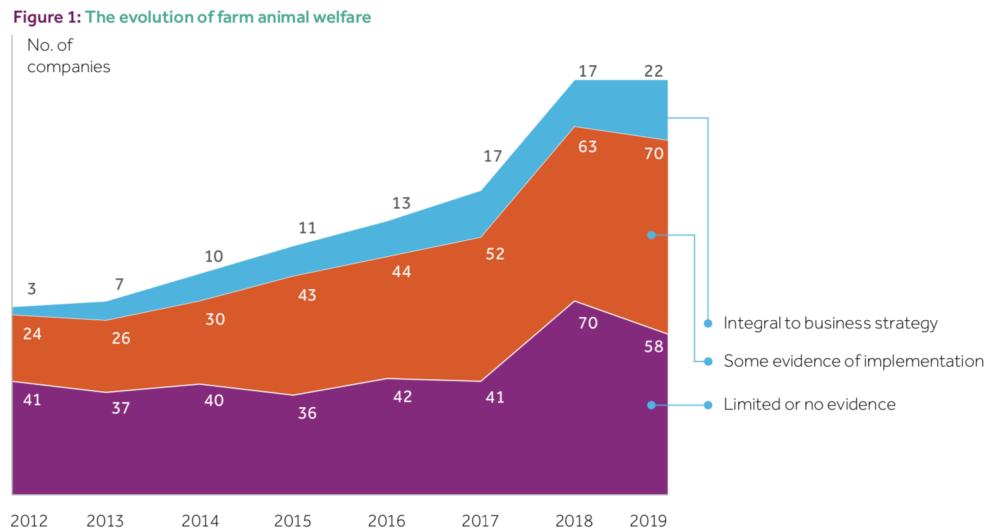


Figura 8: Evolución del número de compañías que toman medidas para el bienestar en animales de granja 2012-2019 [28]

Es importante destacar que la cantidad de empresas incluidas en el reporte año a año también fue aumentando (excepto entre 2018 y 2019), por lo que es necesario comparar estos números porcentualmente para poder notar el avance real. En 2019, las empresas que incorporan el bienestar como integral a la estrategia conformaron casi el 15 % del total, mientras que en 2018 fue del 11 % y en 2012, de poco más del 4 %. El porcentaje de empresas con cierto nivel de medidas de bienestar

aumentó de 42 a 47 % respecto de 2018, mientras que en el 2012 este grupo representaba el 35 %. Las empresas sin medidas de bienestar se encuentran en descenso, significando un 60 % en 2012, un 47 % en 2018 y un 39 % en 2019.

En el informe también se muestran los resultados clasificados geográficamente, como se muestra en la figura 9. Los valores de las barras se refieren a la puntuación promedio obtenida a partir de las respuestas de los cuestionarios ponderadas según su escala de importancia. Esto fundamenta cuantitativamente lo que es claro: el continente europeo es el líder en esta materia, no sólo en sus legislaciones sino que también en la cultura empresarial, mientras que América se posiciona por detrás. Como establece Leonardo Thielo de la Vega, los países europeos son los pioneros en materia de bienestar animal y estas prácticas se deben extender a Latinoamérica [21]. A su vez, se puede ver cómo el subcontinente de América del Norte muestra una leve ventaja respecto de Latinoamérica en este aspecto.

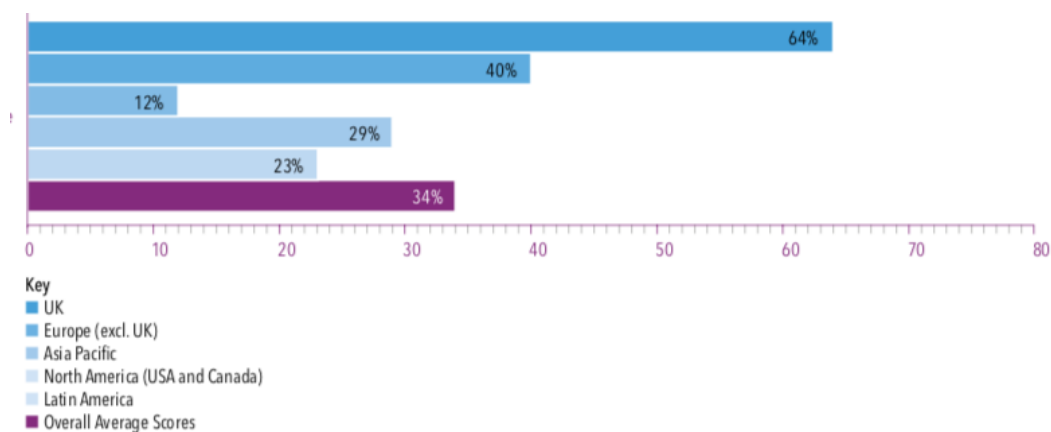


Figura 9: Comparación geográfica de número de empresas que toman medidas de bienestar animal por área de estudio (2019) [28]

Lo que estas cifras no permiten notar es la evolución temporal en cada región en particular. Para estudiar esto para el caso de Latinoamérica, se puede tomar como referencia la figura 10, obtenida del informe anual de Certified Humane, la certificadora de bienestar animal más grande en la región, y una de las pocas. Si bien este no es un indicador directo de incorporación de medidas para mejorar el bienestar de los animales en los sistemas productivos, permite apreciar el interés creciente por la temática.

Para el caso particular de Argentina, las pérdidas económicas que se podrían evitar mediante el mejoramiento del bienestar animal parecen ser las principales impulsoras de esto último, muy por

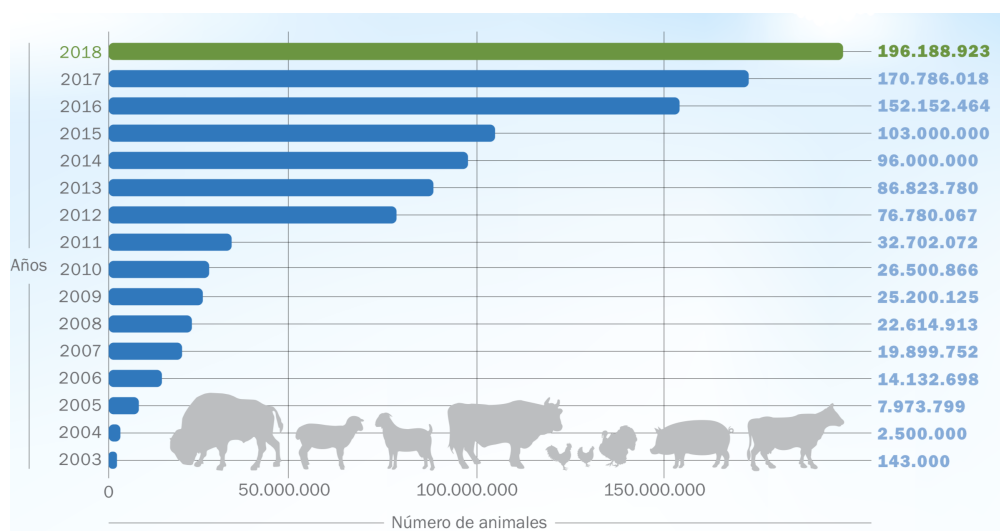


Figura 10: Cantidad de animales criados bajo los estándares de bienestar de Certified Humane en América Latina [29]

delante de las consideraciones morales [27]. En el último tiempo, la materia estuvo incentivada no sólo por los medios y redes sociales, sino que se destacó un rol activo del SENASA como regularizador y educador.

5.2.4. Consideraciones de ética

Así como se identifica la preocupación actual creciente por el bienestar animal como un factor impulsor de proyectos de este tipo, también es necesario destacar en este contexto que se presentan restricciones en los estudios por consideraciones de la ética animal.

Gran parte de las investigaciones disponibles fueron realizadas en anexo a estudios permitidos para vacunaciones, pero no se cuenta con autorizaciones a nivel mundial para llevar a cabo ensayos de estrés por sí solos. Por lo tanto, no se cuenta al día de hoy con una base de datos de señales de gallinas dentro de un galpón comercial ni una caracterización definida del sonido que producen las mismas en situaciones de estrés.

En Argentina, los estudios con animales en laboratorio o en campo deben ser llevados a cabo únicamente por entidades registradas en el SENASA que presenten protocolos adecuados y autorizados [23, 30, 31], que garanticen el correcto uso y trato de los animales. No está permitida, entonces, la experimentación animal para un proyecto como el presente. Por lo tanto, en esta primera etapa de análisis de factibilidad y diseño, no se podrán llevar a cabo los escenarios de prueba deseados

ni generar las situaciones de estrés necesarias para obtener distintos grupos de mediciones y poder entrenar el clasificador que se describirá en la sección 10. Consecuentemente, sólo se podrán realizar las mediciones de las gallinas en su entorno “normal” y no se podrá inducir el estrés, pero estas grabaciones deberían proveer una buena base para plantear y evaluar una propuesta de procesamiento de las señales. Se espera en un futuro, sumar actores interesados de la industria para poder obtener grabaciones de las gallinas en las situaciones de estrés que se dan naturalmente como puede ser una vacunación, o un aumento de la temperatura por una falla en los ventiladores.

5.3. Identificación de intereses de los distintos *stakeholders*

Si bien en un primer momento se pensó en que el interesado en el dispositivo sería el productor avícola, este no es el único actor influyente. Se identificaron quiénes son los principales *stakeholders* o actores que pueden ser impulsores del proyecto y potenciales canales de introducción al mercado.

Productor

El productor avícola es quien puede verse beneficiado de manera más directa por la implementación de este dispositivo, ya que pueden aprovechar la información brindada para tomar acciones preventivas o correctivas con la finalidad de maximizar su rentabilidad. En un artículo de la revista Industria Avícola se establece que, según cálculos generales, “las empresas que utilizan analítica para tomar decisiones pueden ver mejorías en sus utilidades de entre 20 y 30 por ciento. En avicultura, hemos visto que el retorno de la inversión puede superar fácilmente las 10 veces” [32].

Eduardo Peluffo asegura que para que el granjero se interese es necesario apuntar hacia un retorno de la inversión, ya que, según los patrones de la industria en Argentina, no será suficiente recurrir al interés por la tecnología o la consideración moral del bienestar animal. Se reconoce la importancia de fundamentar cuáles son las ventajas para el productor: es necesario establecer una conexión clara entre la productividad de las gallinas y su nivel de estrés (lo que se explica en la siguiente sección) y demostrar que el dispositivo es útil para la reducción de este último, como manera de lidiar con la resistencia al cambio que, como en muchos otros ambientes, tiende a presentarse en la industria avícola.

Es importante destacar que este dispositivo llega para automatizar un proceso que ya ocurre: los granjeros observan a las gallinas y evalúan su comportamiento para detectar anormalidades e

intentar identificar sus causas para poder solucionarlo; entonces, de esta manera se ofrece tener una reducción de inversión de trabajo humano que puede, en cambio, ser aplicado en tomar las medidas que sean necesarias para evitar o corregir las situaciones contraproducentes que conlleven a una menor postura de huevos. El Dr. Johan van Erum, veterinario belga especializado en aves de corral, afirma que “la recolección de datos es de gran importancia para el veterinario avícola para identificar factores que mejoren la salud avícola, adaptar protocolos veterinarios para prevenir enfermedades y ayudar en la reducción de antibióticos” [33].

Consumidores empresariales

En este grupo se encuentran las empresas que son clientes directos del productor y la vía por la cual el huevo llega al consumidor final, como lo son los grandes supermercados, cadenas de restaurantes u hoteles, vendedores mayoristas, procesadores o clientes de exportación. El presidente de la Asociación Chilena de Bienestar Animal, el Dr. Roberto Becerra, declara que muchas de estas empresas utilizan el bienestar animal como “estrategia de *marketing*” [34]; entonces, empiezan a controlar a sus proveedores respecto de los niveles de bienestar de sus animales.

Esto es interesante ya que estos pueden ser actores que incentiven o exijan a los productores el uso de dispositivos como el que está en cuestión como manera de tener un registro histórico del estado de los animales y sumar a la trazabilidad del huevo. Eduardo Peluffo insiste en que estos pueden ser actores claves en este sentido, ya que sus exigencias a los productores en cuanto al bienestar animal puede ser la vía principal de acceso a estos últimos.

Consumidor final

Quizás los principales impulsores de los dos actores descriptos anteriormente respecto de asuntos de bienestar animal son estos últimos: los consumidores directos del huevo. Existe una clara tendencia de interés creciente en el consumidor respecto de qué alimentos ingiere, desde diversos aspectos [35]. Las redes sociales y *blogs* tienen una gran influencia ya que en la actualidad mantienen esta temática presente en los usuarios de manera casi constante y por medio de un efecto de reacción en cadena (el interés contagia a usuarios que también comparten sus opiniones y lo expanden a otros), aumentando la atención y la preocupación social.

Los enfoques ocurren desde el lado de la salud propia y de las conciencias animal y ecológica,

aspectos que se alimentan unos a otros y producen un mayor involucramiento general. El interés por el bienestar animal no sólo es preocupación de los animalistas, sino que también existe una teoría popular de que la crianza de animales en mejores y más sanas condiciones tiene beneficios varios, como mayores seguridad alimentaria, sabor y valores nutricionales y menor impacto ecológico, sobre todo en la generación conocida como *millennials* [35].

A su vez, la sociedad está cada vez más dispuesta a pagar más por mayor calidad y transparencia, y el costo deja de ser el aspecto central durante la toma de decisiones [35, 36]. En los últimos años, estas tendencias tuvieron un impacto directo en la avicultura, fomentando la incorporación de prácticas que apunten a satisfacer las necesidades de estos consumidores conscientes [37].

Cámaras

Durante muchos años, el huevo fue víctima de una campaña negativa por la asociación errónea con el aumento del colesterol, que tanto la ONU como el Ministerio de Agroindustria clasifican como “percepción equivocada”[1]. Si bien esta visión se logró revertir en el último período, actualmente la producción de huevos continúa sufriendo de una mirada social negativa porque se la acusa de maltrato animal. Este producto puede ser atractivo para asociaciones o cámaras como la CAPIA gracias a que puede ayudar a demostrar la preocupación de los productores por el cuidado de las aves de una forma objetiva.

Certificadoras de bienestar animal

Las empresas certificadoras de bienestar animal, tales como Certified Humane o Produtor do Bem, pueden aprovechar el dispositivo como una herramienta para obtener una trazabilidad del estado de las gallinas histórica y no circunstancial, ya que se puede desarrollar una sección de registros históricos que permitan evaluar el nivel estrés a lo largo del tiempo, en lugar de sólo poder realizar los estudios al momento de la visita de los agentes. Esto acaba siendo una motivación para desarrollar, además del módulo de monitoreo y alerta, una sección de visualización de datos históricos.

6. Estrés en gallinas

A partir de la investigación, se comienza a entender a las gallinas como seres más inteligentes de lo que las personas suelen creer. Esta nueva visión de su inteligencia, lleva a replantearse su capacidad de comunicación y su sensación de bienestar y percepción de la ausencia de la misma. Es así cómo se tiene hoy una idea de que las gallinas se estresan, se comunican y comunican su estrés y, al comunicarlo, se contagian el malestar.

El estrés es una tensión provocada por situaciones agobiantes que originan reacciones psicosomáticas o trastornos psicológicos a veces graves [38]. Suena difícil relacionar esta definición con una situación en animales aunque sus reacciones suelen ser biológicamente similares a las humanas. Para relacionarlo con la vida del animal, es más directo entender el estrés como ausencia de bienestar.

6.1. Efectos sobre las gallinas y la producción.

La reacción del animal frente al estrés se define con el Síndrome General de Adaptación (GAS - Selye, 1936) y se divide en tres fases: una fase de alarma, una de resistencia y una de agotamiento.

Se encuentra hoy una clara diferencia entre gallinas rurales contra las gallinas de la industria. Se presenta una comparación en la tabla 1. Dos puntos interesantes a comparar son la esperanza de vida siendo doce años en las rurales y un año y medio en las de cautiverio y la postura (huevos por día) siendo 0.891 en las rurales y 0.825 en cautiverio. Se piensa que la principal causa para esta diferencia es el distinto nivel de bienestar en cada caso.

Tipo de producción Propiedad	Campo	Comercial
Esperanza de vida	12 años	84 semanas
Consumo de grasas	80 % omega 3s	80 % omega 6s
Ácido fítico	Mínimo	Excesivo
Postura diaria	0.891	0.825
Luz	Natural	Artificial
Medicación	Menos/no	Mayor cantidad
Contacto con el piso	Si	No
Consumo de alimento	Menor	Mayor
Niveles de estrés	Bajo/No	Alto/Excesivo

Cuadro 1: Comparación entre gallinas de campo y gallinas comerciales en: esperanza de vida, consumo de grasas, ácido fítico, postura diaria, luz, medicación, contacto con el piso, consumo de alimento, niveles de estrés [39].

En respuesta a los factores de estrés se activa una cadena biológica bien determinada en la que intervienen el sistema neural, endócrino e inmunológico. El sistema neurogénico se activa como primera respuesta para pelear o evitar el estímulo. Se elevan la presión sanguínea, la tensión muscular, la sensibilidad de los nervios, el ritmo de respiración y el azúcar en sangre. La médula suprarrenal genera una cascada hormonal que resulta en la secreción de catecolaminas como la adrenalina que estimulan la enzima hepática adenil ciclase que, además de aumentar la energía disponible activa la producción de anticuerpos.

El eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HHA) se activa como un intento de adaptación al cambio en el ambiente. Nuevamente, el estímulo produce una cascada de eventos hormonales y neurales. La estimulación del hipotálamo lleva a la producción del factor liberador de corticotropina (CRF por sus siglas en inglés) que estimula la glándula pituitaria para la secreción de la hormona adrenocorticotropina (ACTH) que a su vez estimula la glándula suprarrenal para la producción de corticosteroides (CS).

La CS fomenta la glucogenólisis aumentando los niveles de glucosa en sangre y tiene efectos sobre el metabolismo mineral. El cambio metabólico favorece la deposición de grasa y la disminución de la proteína muscular. La gluconeogénesis también estimulada produce un aumento de ácido úrico

lo que lleva a un aumento del consumo de agua para poder eliminarlo con la orina. El aumento en el consumo de alimento no es tan rápido con el de consumo de agua produciendo una baja de peso en las gallinas; el intestino se distiende por el aumento de agua permitiendo menor absorción de los nutrientes. A largo plazo, los altos niveles de CS en sangre se asocian con enfermedades cardiovasculares, hipercolesterolemia, lesiones gastrointestinales y modificaciones en la función inmunológica. Por el estrés, el animal tendrá una mayor susceptibilidad a enfermedades por la disminución de su aptitud física, pero además, el CS tiene un efecto directo sobre el sistema inmunológico reduciendo la actividad del tejido linfático [40].

A raíz de las consecuencias biológicas del estrés se han identificado los siguientes como los cinco síntomas principales del estrés:

- Pérdida de peso
- Disminución de la postura
- Disminución en la esperanza de vida
- Baja en la tasa de conversión de alimento
- Supresión inmune y mayor propensión a contraer enfermedades.

Es rápidamente identificable el hecho de que todos estos factores influyen directamente en la productividad [41].

6.2. Factores de estrés en gallinas

Las gallinas son sensibles al tacto y su piel contiene numerosos receptores para temperatura, presión y dolor por lo que los cambios de estos parámetros afectarán su bienestar [2]. Para entender qué factores ambientales vale la pena incorporar y qué pruebas de campo se pueden llevar a cabo para armar un set de datos, es importante identificar qué escenarios causan un déficit de bienestar en las gallinas y con qué velocidad de reacción.

Entorno social: tanto el aislamiento como la sobrepoblación son perjudiciales para el bienestar de las gallinas. Acostumbradas a la vida en comunidad, separar a una sola gallina tiene un impacto directo en su bienestar mientras que si no tienen espacio suficiente, su bienestar disminuye. Según las recomendaciones para la genética *Hyline W80* que es la más utilizada en el país, las gallinas necesitan un espacio de 490 cm² (20 aves/m²) a 750 cm² (13 aves/m²) [42, 43].

Temperatura y humedad: en diversos ensayos se pudo evidenciar como aumentos o disminuciones rápidos de temperatura producen un aumento de cortisol en sangre en las gallinas. Es importante destacar que a la hora ya se pueden evidenciar un pico de cortisol, indicando que las gallinas sienten la incomodidad rápidamente [40, 44, 45].

Altos o bajos niveles de humedad tienen un efecto directo en las condiciones del ambiente del galpón. Con baja humedad, las gallinas estarán expuestas a mucho polvo generando incomodidad y con alta humedad, se produce un fenómeno conocido como cama húmeda donde la superficie sobre la que están las gallinas se vuelve perjudicial por estar muy húmeda mientras se permite la multiplicación de microorganismos.

Nivel de amoníaco: altos niveles de amoníaco elevan el estrés en las aves [40].

Manipulación: el agarre y manipulación de las gallinas les produce un estado de miedo y alerta y en consecuencia, estrés. La técnica de agarre tiene una relación directa con el nivel de estrés pero, sin embargo, la técnica que es mejor para su bienestar no es la mejor para la industria [46] .

Relacionado con esto, el transporte en camiones puede ser también un disparador de estrés en las gallinas: entran en juego la temperatura, los sonidos, el movimiento y las vibraciones [47].

Falta de acceso a alimento y agua: como se mencionó previamente, el libre acceso a agua y alimento es uno de los cinco puntos para el bienestar animal. Las gallinas de granjas productivas están acostumbradas a un acceso constante a los mismos y, especialmente en los galpones automáticos; si se produce una falla en el sistema, las gallinas notarán esta falta y aumentará su nivel de estrés [48].

Incorrecta composición del alimento: las gallinas necesitan para su buena alimentación un alto porcentaje de grasas omega-6. En el desarrollo comercial, suele cambiarse esta proporción por omega-3, causando un incorrecto desarrollo hormonal que afecta las glándulas endocrinas. A su vez, la alimentación de las gallinas suele contener químicos sintéticos y metabolitos de micotoxinas que le producen una permeabilidad intestinal aumentada y entonces, estrés por un déficit de nutrientes. El efecto de una mala alimentación es acumulativo y no tiene una reacción rápida por parte del animal [49].

Miedo: situaciones donde las gallinas temen por su bienestar o el de sus compañeras y pueden perder su libertad como puede ser una presencia humana cercana les generan miedo y entonces estrés [40] .

6.3. Técnicas de medición de estrés en aves

Las técnicas actuales de medición de estrés en aves se clasifican por el nivel en que afectan al animal, en invasivas y no invasivas, y por la interferencia de factores externos, en directas e indirectas. A la hora de elegir el mejor método para determinar el bienestar animal, se realiza una selección de acuerdo a las limitaciones y alcances de los recursos para llevar a cabo las mediciones [50, 51].

6.3.1. Métodos no invasivos

Los métodos no invasivos presentan como principal ventaja la no interferencia en la vida del animal aunque esto lleva a que sean más subjetivos o más difíciles de interpretar. Los más relevantes hoy en día son:

Análisis de parámetros etológicos: a partir de un análisis de los comportamientos del animal en su hábitat natural, entre los que se incluyen tanto acostarse, levantarse, defecar, orinar como picoteo o agresividad se busca determinar frecuencias y duraciones en estados de bienestar y estados de estrés. Suele entrenarse un especialista en observar y escuchar a las gallinas para detectar situaciones anormales. Los cambios de comportamiento suelen estar directamente relacionados con los niveles de estrés volviendo ésta una medición directa aunque subjetiva [52].

Pruebas de miedo: se mide la duración de la inmovilidad tónica que es el estado de parálisis aparente como respuesta a una amenaza. Se sostiene al animal durante 15 segundos y se registra cuanto tarda en recuperar el movimiento una vez liberado.

Parámetros productivos: se toman como índice de bienestar del lote el peso corporal de las gallinas y su uniformidad, su conversión alimenticia, el peso de los huevos y la calidad de la cáscara. De todas formas, hay muchos factores incidiendo en la productividad por lo que es difícil atribuir una diferencia completamente a la disminución del bienestar.

Parámetros fisiológicos: se busca medir parámetros fisiológicos de cada ave y compararlo contra un estándar. Puede usarse la temperatura corporal por un termómetro infrarrojo, termografía ocular o del dorso o la frecuencia cardíaca y su variabilidad como mediciones directas. Puede hacerse también un ensayo para obtener los niveles de cortisol en saliva, orina heces y el pelo que se relaciona con el nivel real de sangre tras una calibración.

6.3.2. Métodos invasivos

Los métodos invasivos requieren la manipulación de la gallina causando incluso dolor en las mismas, una situación que es estresante en sí misma. Esto hace que los resultados que se obtienen pueden representar el estrés del propio momento de la muestra. Incluso, de trasladar la gallina para la práctica, los resultados tampoco se corresponden con el ambiente en el que la misma se encontraba. Los principales son los siguientes:

Calidad de la carne: la calidad de la carne se ve influenciada por muchos factores entre ellos el estrés. La calidad se define analizando sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y bacteriológicas. Es evidente que para analizar la calidad de la carne es necesario terminar con la vida del animal.

Hematología: al comparar los valores obtenidos de una muestra por venipuntura con valores de referencia de: el hematocrito, la relación neutrófilos/linfocitos, las proteínas totales (principalmente la proporción de albumina), el colesterol, el cortisol, los triglicéridos entre otros, se obtiene una clara imagen del nivel de estrés del animal. Solo con un análisis de una muestra sanguínea se tiene una medición directa y cuantitativa del nivel de estrés en las aves.

Respuesta inmune humoral: con suero sanguíneo del ave puede medirse el título de anticuerpos que también varía en situaciones de mayor estrés.

Se interpreta entonces, como los métodos propuestos tienen limitaciones para llevar a cabo esta medición. Ya sea por la subjetividad, por inducir estrés en la medición o tener más factores que el estrés influyendo en el análisis, los resultados son difíciles de interpretar. Es difícil llevar cualquiera de estos métodos a galpones comerciales donde la cantidad de gallinas puede superar las 100.000. Estas limitaciones promueven la necesidad de buscar una posibilidad de medición y detección a distancia y en conjunto, sin la necesidad de un especialista observando las gallinas.

6.4. Capacidad de comunicación entre gallinas

Suele considerarse a las gallinas como animales poco inteligentes, carentes de los indicadores de inteligencia que se encuentran en otros animales. Sin embargo, se está demostrando que esto está cada vez más lejos de la realidad y una evidencia es su capacidad para comunicarse [2]. Comunicar es transmitir señales mediante un código común al emisor y al receptor con el objetivo de manifestar o hacer saber a un ser algo [38]. Siguiendo esta definición, de poder comunicarse las gallinas muestran

una capacidad cognitiva mayor a la esperada, sobre todo si pueden emitir sonidos correspondientes con la situación en la que se encuentran y el entorno que las rodea. Se ha analizado también que las gallinas pueden tener emociones más complejas que las que se pensaba incluyendo aburrimiento, frustración, alegría, ansiedad o depresión [51] dando lugar a la incógnita de si sus vocalizaciones estarán directamente relacionadas con sus emociones.

La comunicación referencial involucra la capacidad de enviar información específica del ambiente, tiene semántica y requiere una intencionalidad y representación mental por parte del animal. La mayor evidencia científica en gallinas se basa en estudios donde el emisor emite distintos sonidos acordes a la situación en la que se encuentra y se observa que el receptor tiene distintas reacciones todas correspondientes con la situación del emisor [2]. Cabe destacar, que en la mayoría de los casos los sonidos emitidos y su intensidad se veían influenciados por las gallinas que se encontraban a su alrededor tanto por cantidad como por rangos dentro de su jerarquía social.

Profundizando, en distintos estudios y al analizar distintos componentes de la señal, se han logrado identificar al menos 30 sonidos distintos emitidos por las gallinas. Dentro de estos, en particular 19 han podido asociarse directamente a un estado en particular como puede ser alarma, angustia, miedo, apareo o poner un huevo [53]. Se han identificado en las gallinas situaciones de depresión y ansiedad comunicadas a través de *Distress Vocalizations* (DVocs), principalmente con la intención de informar su situación a sus vecinas y, en casos de separación, de reencontrarse. Este tipo de sonidos se caracterizan por su alta energía, disminución en frecuencia y duraciones alrededor de 0.4 segundos [54]. Las mismas son claramente identificables en una señal de audio como se evidenciará en la sección 13 [55].

Así como se definió el concepto de *DVocs*, se encuentran también los llamados *Gakell-call*. Esta vocalización se presenta como resultado a la privación de comida y se caracteriza por una nota alargada, algo creciente en frecuencia, seguida de una o más notas más cortas [56]. Se ha incluso definido como, a mayores períodos de privación, aumenta la cantidad de *Gakell-calls* reafirmando su relación[48].

En esta primera instancia de proyecto, se busca simplemente identificar una falta de bienestar en los animales por lo que en el procesamiento se buscará simplemente detectar una diferencia del cacareo base y no identificar cada sonido. Estos resultados sin embargo, son útiles tanto para plantear una diferencia entre situaciones estresantes y no y también para reafirmar la posibilidad de en un futuro realizar una distinción por escenario.

Es en este primer escenario de identificación donde las conclusiones encontradas al analizar la comunicación de los ancestros de las gallinas domésticas resulta útil. Se definen entonces claros puntos de análisis marcando siempre la segunda opción como la referida a la angustia: [57]

- Clear tones vs. white noise — Notas claras vs. ruido blanco
- Low vs. high pitched notes — Notas bajas vs. agudas
- Brief vs. long notes — Notas cortas vs. largas
- Soft vs. loud notes — Notas suaves vs. fuertes

Otro punto importante a verificar es como, a partir de comunicar el contexto y la situación de falta de bienestar o tranquilidad, la sensación se contagia en las demás. Esto fue también validado planteando la posibilidad de muestrear una menor cantidad de gallinas para interpretar una situación más general simplificando el muestreo, el procesamiento y la clasificación [2].

6.5. Bioacústica y estado del arte

La bioacústica es el estudio de la producción, transmisión y recepción de los sonidos animales. [58] En los últimos años se observa un creciente interés en el campo de la bioacústica como una herramienta para la medición del bienestar animal. Esto se refleja en gran parte con el aumento de las investigaciones, fomentado también por cada vez mejores resultados gracias a la posibilidad de procesamientos más poderosos. Debido a la creciente información y validación de correlación entre la comunicación de los animales y su nivel de bienestar, se vuelve cada vez más factible la posibilidad de tener un monitoreo constante y automatizado en su vivienda.

En este proceso se busca decodificar la vocalización del emisor. Tomando la conducta fisiológica del emisor a la hora de realizar la vocalización y la conducta del receptor al escucharla se intenta comprender la sintaxis y la semántica de su comunicación (Fig. 11) Los distintos algoritmos que se van desarrollando para su procesamiento incluidos los utilizados para vocalización de humanos forman parte de la evolución de la bioacústica.

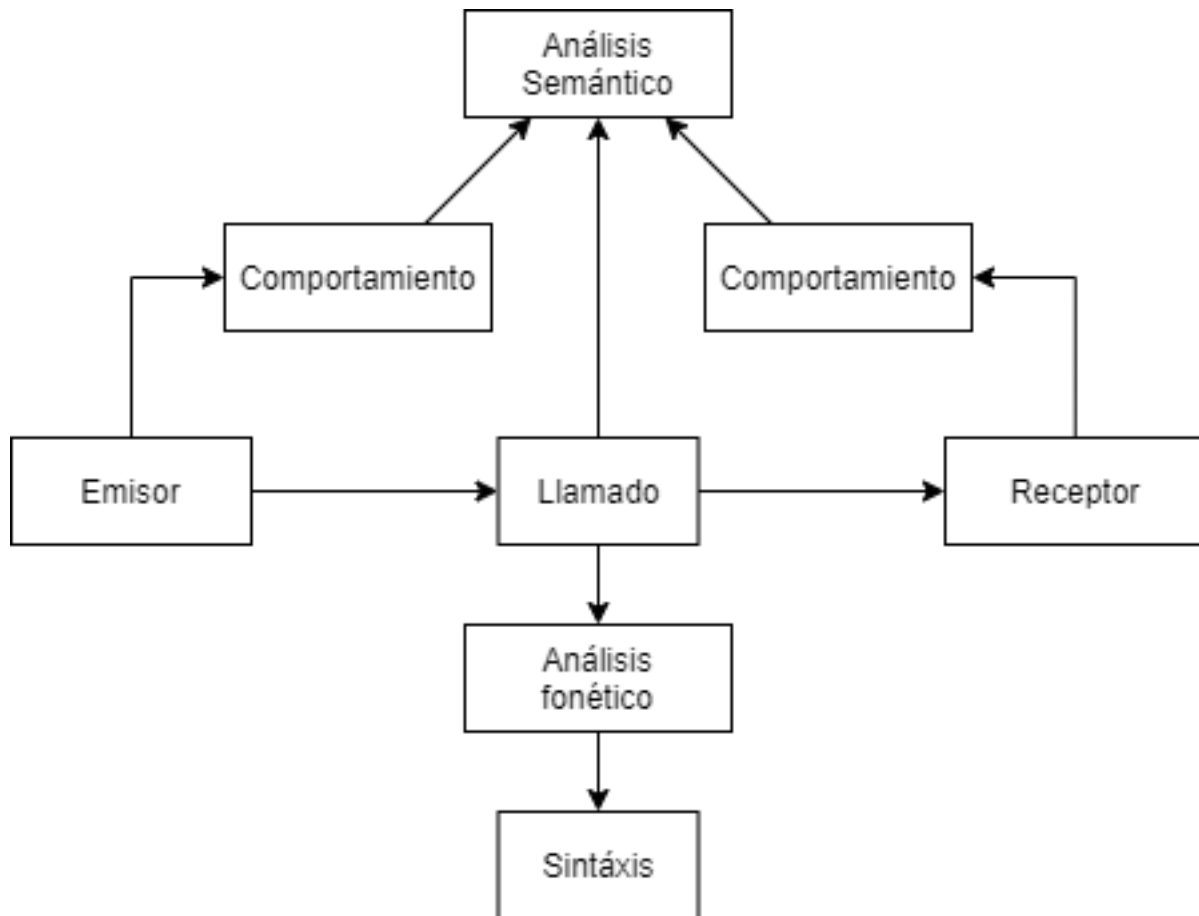


Figura 11: Bioacústica. Proceso de definición de semántica y sintaxis [54].

Hoy el principal objetivo está puesto en definir el diccionario de cada animal ya que se está valorizando su directa relación con el estado de bienestar.

En el caso de los cerdos, se realizaron por ejemplo estudios para el reconocimiento de *Pig Wasting Disease* mediante grabaciones de audio de los cerdos y detección de su tos diferenciando primero donde hay sonido y luego si es o no tos del cerdo [59]. También relacionado con su bienestar se estudió la correlación entre situaciones de estrés de cerditos y su vocalización para un monitoreo en tiempo real similar a lo que este trabajo busca planificar [60].

En el caso de las vacas, hubo también una amplia evolución en los últimos años como se puede leer en [61]. Se está más cerca de obtener un diccionario de su comunicación resaltando la individualidad de cada vaca al emitir sonidos. Al igual que con los cerdos se busca detectar la tos de las mismas como indicador de enfermedades respiratorias [62].

Con Wayne Daley del Georgia Tech Research Institute como referente, se tuvo un enorme avance

en el campo de bioacústica para gallinas en los últimos 10 años. Los estudios recientes buscan encontrar los mejores algoritmos para el análisis de su vocalización con distintos objetivos.

Se intentó identificar el mejor algoritmo para diagnosticar bronquitis infecciosa en gallinas comparando las máquinas de vectores de soporte (*Support Vector Machines*, SVM en inglés), las máquinas de aprendizaje extremo (*Extreme Learning Machine*, ELM en inglés), los Coeficientes Cepstrales en las Frecuencias de Mel (MFCC por sus siglas en inglés) y la opción de armar un diccionario para contrastar los audios. De estas, la mejor hasta ahora resulta ser SVM con resultados más que alentadores [52, 63, 64].

Relacionado al bienestar y al estrés de las gallinas, los estudios más claros son respecto al estrés por calor, en parte porque son los estudios más accesibles. El equipo de Daley realizó un estudio en el cual, tras grabar gallinas durante 65 días y en 6 de los mismos aumentar la temperatura, pudieron identificar un umbral de intensidad y frecuencia para detectar vocalizaciones y ver el aumento en situaciones de estrés [45]. En otros lugares del mundo como Brasil y Corea se realizaron investigaciones para determinar cuales son las características más representativas de un audio con vocalizaciones de gallinas en situaciones de estrés [65, 66]. En el caso del estudio de Corea, se planteó un equipo similar al que busca explicar este trabajo con buenos resultados al usar un SVM como clasificador.

7. Análisis de factibilidad preliminar

Previo a profundizar la investigación y analizar los factores y definiciones intervinientes en el proceso de detección del estrés, nos propusimos hacer un análisis preliminar para tener una primera aproximación con señales reales, con el objetivo de intentar clasificarlas y realizar evaluaciones para tomar ciertas consideraciones en cuenta a futuro.

No contamos con una base de datos de señales de cacareo de gallinas clasificadas para poder hacer estudios significativos pero encontramos dos señales en internet¹: una correspondiente a una gallina en situación clasificada como “normal”, y otra en situación de estrés. No tomamos estas señales directamente como fueron descargadas, sino que las grabamos nuevamente con un micrófono INMP441 (ver detalles en la sección 9) para evaluar el efecto de la distancia del micrófono sobre los resultados obtenidos. En la figura 12 se muestran tres señales: las dos primeras parten del mismo audio y corresponden al cacareo de una gallina en condiciones “normales”, diferenciándose entre sí por la distancia de posicionamiento del micrófono (a 50 cm en la señal cercana y a 250 cm en la lejana); la tercera señal es del cacareo de la gallina en situación de estrés (a 50 cm). Si bien tanto la cantidad de grabaciones disponibles así como también la información y descripción sobre ellas son muy limitadas, sirven para poder realizar una primera aproximación e intentar clasificarlas a groso modo y evaluar si hay aspectos claramente distinguibles.

7.1. Análisis estacionario

Una señal es clasificada como determinística o aleatoria según la viabilidad de predecir valores futuros de la misma a partir de observaciones previas. En las series determinísticas, la predicción es exacta. Lo contrario ocurre para las series aleatorias o estocásticas, donde el grado de precisión viene dado por la dependencia entre observaciones sucesivas.

Una señal aleatoria se caracteriza por ser impredecible, no presentar repeticiones y no poder ser descripta con precisión mediante relaciones matemáticas; consiste en un conjunto de realizaciones posibles, cada una con su correspondiente probabilidad de ocurrencia asociada [67]. Ahora bien, sus propiedades estadísticas promedio presentan una regularidad considerable y sí pueden ser consideradas determinísticas, por lo que las señales aleatorias pueden ser descriptas matemáticamente

¹ “Chicken Sounds”, *AverageHunter*, 07-Mar-2018. [Online]. Disponible: <https://averagehunter.com/wild-game-downloads/chicken-sounds/>. [Visitado: 15-May-2020].

utilizando la teoría de procesos estocásticos y pueden ser analizadas utilizando métodos estadísticos [68].

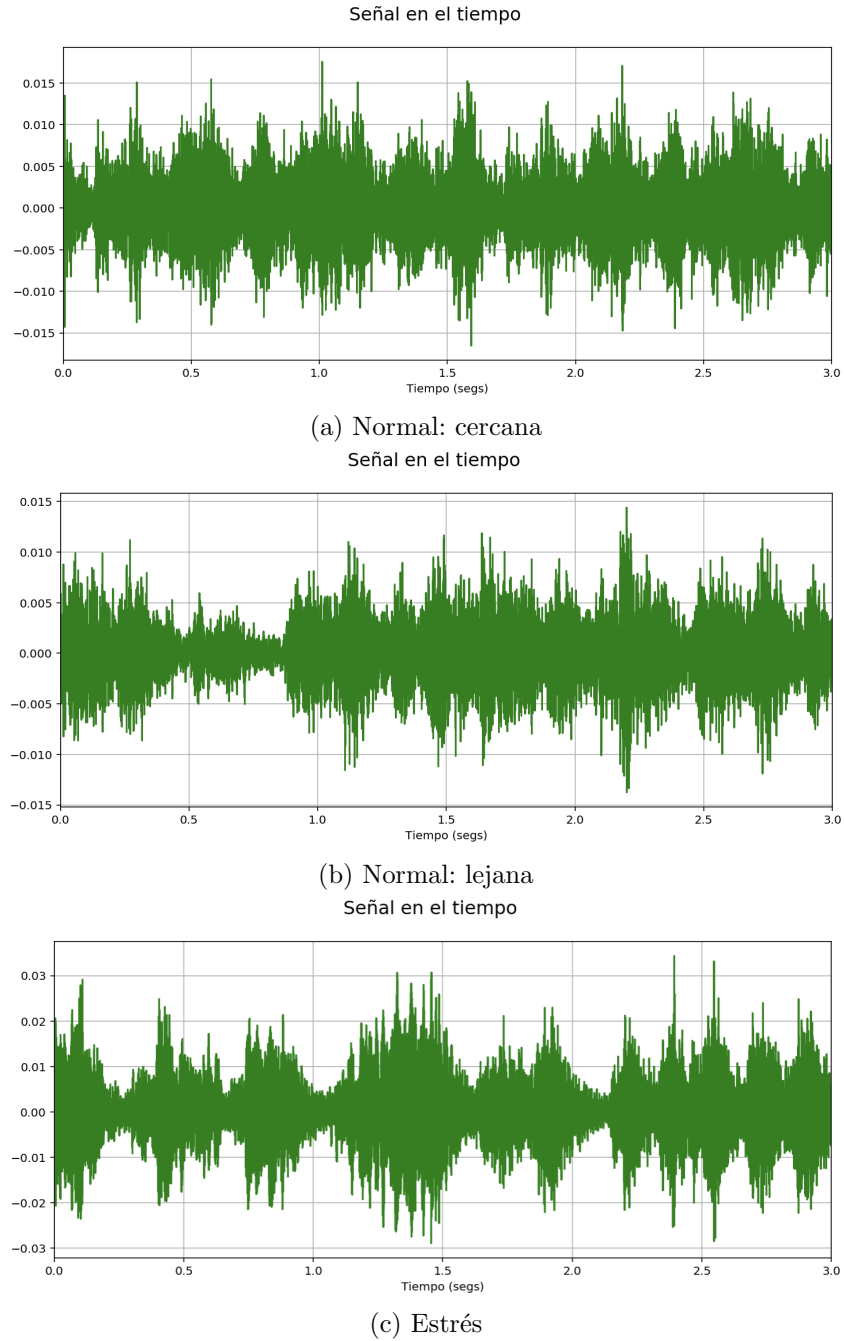


Figura 12: Evolución temporal del cacareo de gallinas a partir de señales de audio ¹

¹“Chicken Sounds”, *AverageHunter*, 07-Mar-2018. [Online]. Disponible: <https://averagehunter.com/wild-game-downloads/chicken-sounds/>. [Visitado: 15-May-2020].

Una serie temporal aleatoria representa una realización particular de un proceso estocástico. El término proceso estocástico se utiliza para describir la evolución temporal de un fenómeno estadístico según leyes probabilísticas [69]. Se trata, entonces, de un proceso que es función del tiempo pero que su evolución no puede ser definida previo a ejecutar un experimento.

Las señales en el presente estudio muestran un claro origen aleatorio ya que su comportamiento no puede ser definido *a priori* ni se obtienen resultados idénticos al replicar las condiciones en las que se realizan las grabaciones. Por lo tanto, no se puede identificar ni clasificar el estrés *a priori*, pero esto se podría lograr mediante el análisis estocástico.

Por tratarse de señales reales, no es posible computar su espectro sino que se debe realizar una estimación del mismo. Como *a priori* no se cuenta con suficiente información de la señal, se utilizan técnicas de análisis no paramétricas que no asumen ninguna forma funcional particular, sino que el estimador se determina exclusivamente por la data; en caso de intentar aplicar técnicas paramétricas, la selección incorrecta de parámetros del modelo conllevaría a resultados erróneos.

En [68] se define que no existen técnicas generales para el análisis de señales no estacionarias. Un proceso aleatorio $x(n)$ es definido matemáticamente como estacionario si las estadísticas determinadas para $x(n)$ son iguales a las determinadas para $x(n + k)$, para toda k . En la práctica, la estacionariedad de una señal aleatoria implica que sus propiedades estadísticas no cambian en el tiempo.

Una alternativa de evaluación de la estacionariedad de una señal es el análisis del espectrograma de la misma. El espectrograma puede ser obtenido mediante la transformada de Fourier de tiempo reducido (*Short-Term Fourier Transform, STFT*), cuyo nombre se refiere a que se aplica sobre un segmento más corto (generalmente mucho menor) que la señal completa, y se define matemáticamente como [70]:

$$x(m, k) = \sum_{n=1}^N x(n)[w(n - k)e^{-j\omega m/k}]$$

donde N es la cantidad de muestras incluidas en el segmento y $w(n)$ es la ventana aplicada.

Se realizaron los espectrogramas en Python aplicando `signal.spectrogram(x, fs, window, nperseg, noverlap)`, siendo `x` el segmento de señal a analizar, `fs` la frecuencia de muestreo, `window` la ventana aplicada (se eligió la ventana *Hann*, por la caída en sus lóbulos laterales), `nperseg` la cantidad de muestras por segmento (se tomaron las muestras correspondientes a 50 ms) y `noverlap`

la cantidad de muestras de *overlap* o superposición entre segmentos (se aplicó un 25 % de superposición). En la figura 13 se muestran los espectrogramas graficados para: en (a) y (b) la señal en condiciones normales (se representa la señal cercana ya que los resultados eran los mismos para la cercana y la lejana), en (c) y (d) la señal en situación de estrés. La razón por la cual se incluyen dos gráficos para cada señal es que una se encuentra en escala lineal (a la izquierda en cada fila) y la otra (a la derecha), en logarítmica, ya que se pueden observar distintas características en cada una.

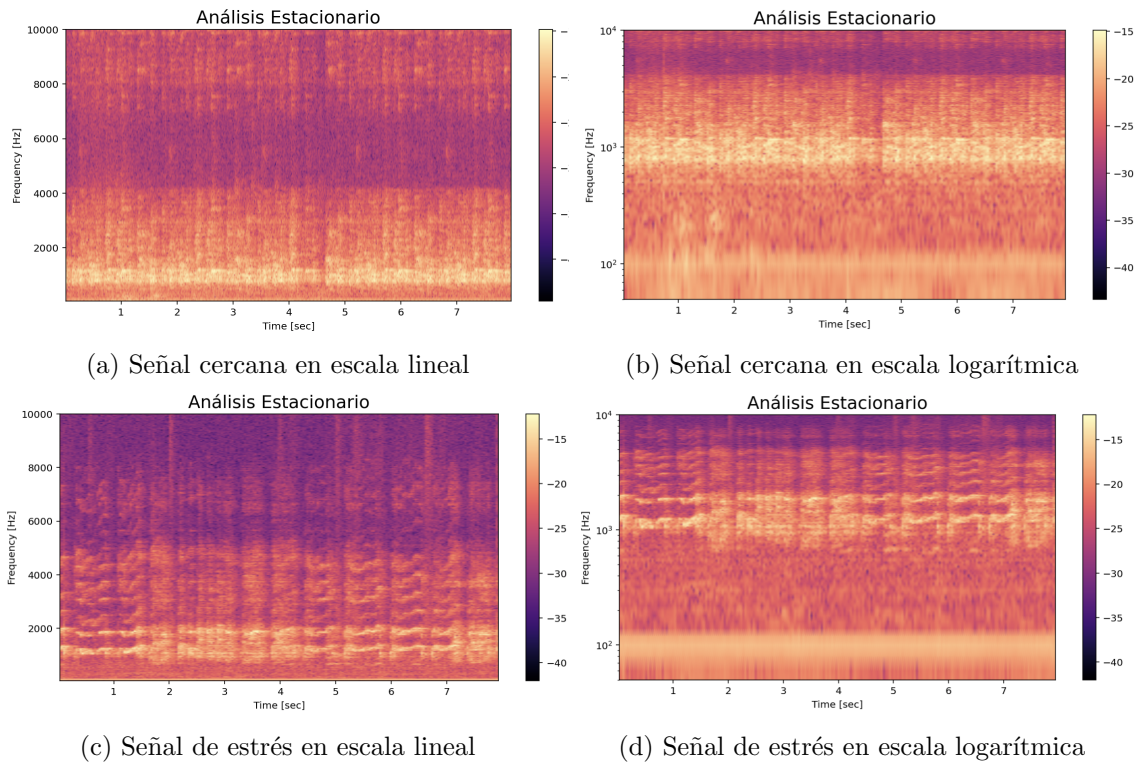


Figura 13: Espectrogramas de señales normal y de estrés

En todos los espectrogramas de la figura 13, sin importar la escala o la situación de la gallina, se distinguen claramente bandas horizontales que se debe a que no se tiene una variación significativa en frecuencia a medida que varía el tiempo. A partir de este primer acercamiento, por lo tanto, se puede concluir que se trata de un proceso estocástico estacionario y, consecuentemente, tiene sentido buscar un modelo que lo describa y clasifique.

Además, a partir de los espectrogramas se pueden realizar otras observaciones. Por un lado, sobre todo en el espectrograma en escala lineal, se distingue la presencia también de pequeñas

frangas verticales que pueden ser atribuidas a interrupciones propias de cadencia del cacareo de las gallinas, y que son más notorias en el espectrograma de la señal en estrés. A raíz de estas interrupciones detectadas, se puede considerar que en la etapa de procesamiento posterior de señales reales obtenidas, se realice el análisis sobre segmentos de longitudes variables.

También es importante destacar que esta técnica permite apreciar diferencias entre las situaciones normal y de estrés. Observando el gráfico lineal de señal normal, se tiene una alta energía alrededor de 1 kHz que se va aclarando a medida que aumenta la frecuencia hasta que se encuentra con un abismo entre aproximadamente los 4 kHz y 7 kHz para luego volver a presentar cierta energía en la banda entre 8 kHz y 10 kHz. Para el caso de la señal de estrés, se puede ver también una banda clara en 1 kHz pero esta presenta más ruido y una separación en dos bandas más angostas, que también puede llegar a ser considerado una característica propia de la señal de estrés. En cuanto a las frecuencias más altas, el patrón obtenido es distinto al de la señal normal: si bien también la intensidad se va aclarando a medida que aumenta la frecuencia, la principal caída se ve esta vez más cerca de los 5 kHz con un leve aumento entre 6 kHz y 8 kHz, sin recuperación de la energía a partir de los 8 kHz.

Por último, en los espectrogramas en escala logarítmica se nota una banda clara alrededor de las frecuencias de 100 Hz, siendo esta más evidente en el caso de la señal de estrés. Surge, entonces, el dilema entre si este pico en frecuencia es una característica relevante de la señal de estrés o si, por lo contrario, es ruido; esta última opción fue considerada como la más probable ya que no se muestran picos similares en los armónicos, como se esperaría que suceda si se tratara de una frecuencia fundamental. Por esto, se aplicó un filtro pasa-altos Butterworth de orden 5 con frecuencia de corte de 300 Hz. El audio obtenido luego del filtrado permite detectar con igual claridad el cacareo de la gallina, por lo que se concluye que no se trata de una frecuencia fundamental sino que de ruido; esto debe ser tenido en cuenta a la hora de realizar el filtrado de las señales obtenidas, ya que puede ser necesario aplicar, en primer lugar, un filtro pasa-altos también.

7.2. Periodograma y autocorrelación

Luego, se realizó un análisis a partir del periodograma promediado ya que este es uno de los principales estimadores no paramétricos del espectro y, a continuación, se evaluó la autocorrelación en el tiempo. La autocorrelación y la densidad espectral de potencia forman un par de la transfor-

mada de Fourier, ya que el segundo es comúnmente definido como la transformada de la función de autocorrelación [70].

La correlación entre dos señales discretas $x(n)$ y $y(n)$ provee una medida cuantitativa de su similitud y se calcula como [69]:

$$\hat{r}(l) = \sum_{n=l}^{N-1} x(n)y(n-l)$$

La secuencia de autocorrelación de una señal compara cada uno de sus valores con el valor que toma luego de un *lag* o desplazamiento l , para evaluar la dependencia temporal. De esta manera, se puede calcular la autocorrelación normalizada de una señal $x(n)$ y *lag* l según la ecuación [68]:

$$\hat{r}(l) = \frac{\sum_{n=l}^{N-1} x(n)x(n-l)}{\sum_{n=0}^{N-1} |x(n)|^2} \quad (1)$$

Para $l = 0$, la secuencia se correlaciona perfectamente con ella misma y se obtiene el valor máximo de 1; cuando la señal no presenta cambios significativos entre una muestra y la otra, la autocorrelación toma valores cercanos a 1, aunque levemente disminuidos. Generalmente, la autocorrelación disminuye a medida que aumenta l ya que las señales más lejanas muestran menos dependencia entre sí [68]. Aquí se tiene, entonces, otra relación de compromiso: se desea tomar la mayor cantidad de muestras para poder tener en cuenta la mayor información posible, pero se debe seleccionar un intervalo de tiempo corto para no contaminar los resultados.

El periodograma es un estimador de la densidad espectral de potencia que muestra cómo se distribuye la potencia de un segmento en función de la frecuencia. Se lo puede expresar como

$$\hat{R}_x(\omega) = \sum_{l=-(N-1)}^{N-1} \hat{r}_\nu(l)e^{-j\omega l} \quad (2)$$

donde $\hat{r}_\nu(l)$ es la estimación de la autocorrelación de la señal junto con la ventana seleccionada [68].

El periodograma de la señal completa es un estimador pobre del espectro porque presenta una gran varianza, que sólo aumenta a medida que aumenta la cantidad de muestras, en lugar de tender a cero [67, 68]. En el método de Welch-Barlett, se busca disminuir la varianza mediante el promediado de periodogramas: se subdivide la señal en K segmentos (que se superponen en el método de Welch),

se calcula el periodograma de cada uno y se realiza el promedio de estos. El espectro obtenido a partir de este promediado representa las características globales del espectro de una manera más precisa [70]. Cabe destacar que a medida que aumenta K , la varianza tiende a cero pero esto viene acompañado de una disminución también de la resolución [68].

En la figura 14 se muestran los periodogramas de las señales definidas como normales a corta y larga distancia, respectivamente, superpuestos con el periodograma obtenido para la señal de estrés. Los mismos fueron representados en Python aplicando `signal.welch` con una ventana *Hann* y tomando $f_s/5$ muestras por segmento con un *overlap* del 25 %.

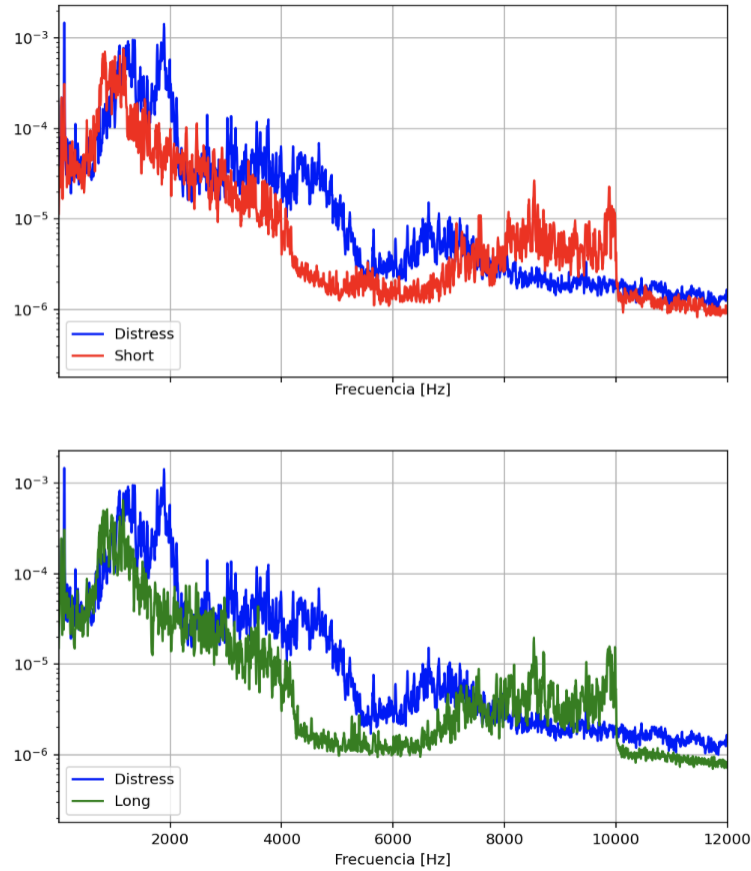


Figura 14: Periodogramas

Los periodogramas muestran una gran presencia de ruido pero igualmente se pueden destacar, a partir de su observación, las mismas características que se resaltaron en el espectrograma de la figura 13, lo que tiene sentido dado que se trata de un proceso estacionario. Entonces, se puede ver que ambas señales poseen una frecuencia fundamental de aproximadamente 1 kHz y que la señal de

estrés presenta también otros picos con mayor amplitud a baja frecuencia, pero la señal en situación normal muestra mayor amplitud a partir de los 8 kHz. También se puede notar el pico alto en los 100 Hz, mayor para la señal de estrés, que había sido identificada como ruido en el análisis previo. Observar el periodograma, a su vez permite inferir que la distancia de posicionamiento del micrófono no presenta impactos significativos sobre el espectro de la señal (aunque no se veía tanta similitud en los gráficos temporales de la figura 12).

En la figura 15, se muestran los gráficos de autocorrelación para las señales en estado normal superpuestas (a) y la señal de estrés (b), calculadas en Python aplicando el método `autocorrelate` de la librería `librosa`. Se tomó un *lag* correspondiente a 300 ms (calculado como $l = 300ms/1000 * fs$).

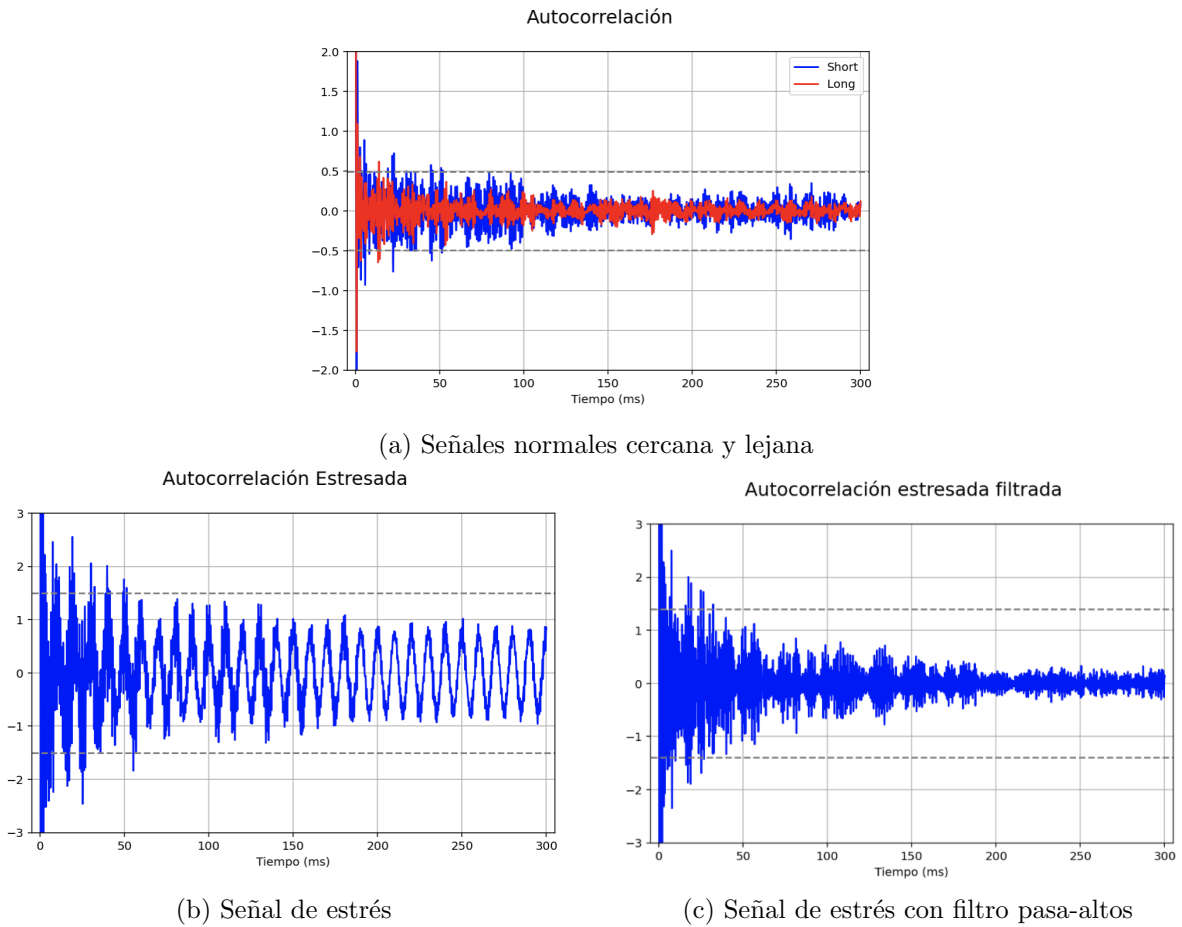


Figura 15: Autocorrelación

En los gráficos de autocorrelación se ven marcadas dos líneas punteadas que representan $1/8$

de la potencia máxima. Este valor es importante porque se corresponde con una caída de 20 dB y sirve para evaluar qué tan significativos son los resultados de la autocorrelación. En la figura 15(a), correspondiente a las señales en situaciones normales, se puede ver que la autocorrelación se aplanan rápidamente, sobre todo para la señal lejana. Esto sirve, por un lado, para concluir que la distancia del micrófono sí produce efectos sobre los resultados (al contrario de lo que se había inferido a partir de la observación de los periodogramas) y que ya una distancia de 2.5 m es demasiado larga y se debería posicionar al micrófono más cerca (se debería probar con hasta 2 m). Por otro lado, el análisis de la autocorrelación permite comenzar a estimar cuál debería ser la cota de las ventanas a tomar en el momento de procesar la señal: pasados los primeros 50 ms, ya la señal entra por debajo de la línea correspondiente a $1/8$ de potencia, por lo que se sugiere tomar ventanas de 50 ms para incluir toda la información relevante sin aumentar innecesariamente los costos de procesamiento.

Al calcular la autocorrelación para la señal de estrés directamente, se obtiene el gráfico mostrado en la figura 15(b), donde se nota una gran tendencia periódica con una caída en potencia mucho menor a la propia de la señal normal. Se pueden contar cinco picos dentro de cada cuadro de 50 ms, a partir de lo que se puede calcular un período de 10 ms o una frecuencia de 100 Hz. Esta frecuencia coincide con el pico detectado en el periodograma que se había concluido, *a priori*, como ruido. Luego se calculó la autocorrelación de la señal de estrés luego de la aplicación del filtro pasa-altos, y se obtuvieron los resultados representados en la figura 15(c). Este último presenta una mayor similitud en sus características con la señal normal: también tiene una gran caída luego de los primeros 100 ms (aunque esta es menor) y concentra la mayor parte de su energía en los primeros 50 ms, por lo que esta continúa siendo la ventana sugerida para el procesamiento.

8. Descripción de la solución

Luego de un primer estudio de factibilidad y de analizar el entorno en el que se desarrolla el proyecto, se debe definir cómo será la solución en su totalidad. La misma debe presentar una interacción entre el *hardware* de bajo costo diseñado particularmente para cubrir los requerimientos técnicos, el *firmware* que permita detectar el estrés y el *software* para brindar de manera segura información clara al usuario sobre el estado de bienestar de sus gallinas. En la figura 16, se muestra el esquema de una solución integral que combina estos tres módulos. Cabe aclarar que el mismo posee un carácter tentativo ya que representa la ubicación *a priori* de cada componente y que el análisis siguiente puede concluir en optar por diferentes alternativas.

El proceso comenzará en el galpón productivo donde, a partir de un dispositivo que contiene sensores conectados a un microcontrolador, se efectuará la adquisición de las condiciones ambientales (temperatura, nivel de amoníaco y humedad) y del cacareo emitido por las gallinas en reacción a las mismas. Las señales auditivas serán procesadas *in situ* para identificar, o no, situaciones de estrés. Los resultados serán enviados a un servidor local y registrados en la base de datos. Este servidor podrá ser la propia computadora del usuario y funcionará en cualquier sistema operativo ya que la solución estará desarrollada en la última tecnología multiplataforma.

Se registrarán datos no sólo de los resultados del clasificador (presencia o ausencia de estrés) sino también de las condiciones ambientales medidas y de los estados de conectividad de los dispositivos. Los mismos quedarán a disposición del usuario mediante dos alternativas: en su teléfono móvil recibirá notificaciones con alertas al detectar condiciones no deseadas (como estrés o desconexión) en el momento y, por otro lado, podrá acceder al sitio web seguro donde se muestren estadísticas e información tanto instantánea como histórica para poder realizar monitoreo, gestión y análisis a partir de los datos generados por el procesamiento.

Para cada componente de estos módulos, se presenta a continuación un estudio detallado sobre las alternativas disponibles, evaluando su factibilidad y reconociendo el alcance y las limitaciones, buscando definir los requerimientos y objetivos de cada uno. A su vez, se debe definir cómo será la comunicación entre los mismos para poder ofrecer una solución integral que, en síntesis, tome mediciones y genere y provea información de valor para el productor en tiempo real.

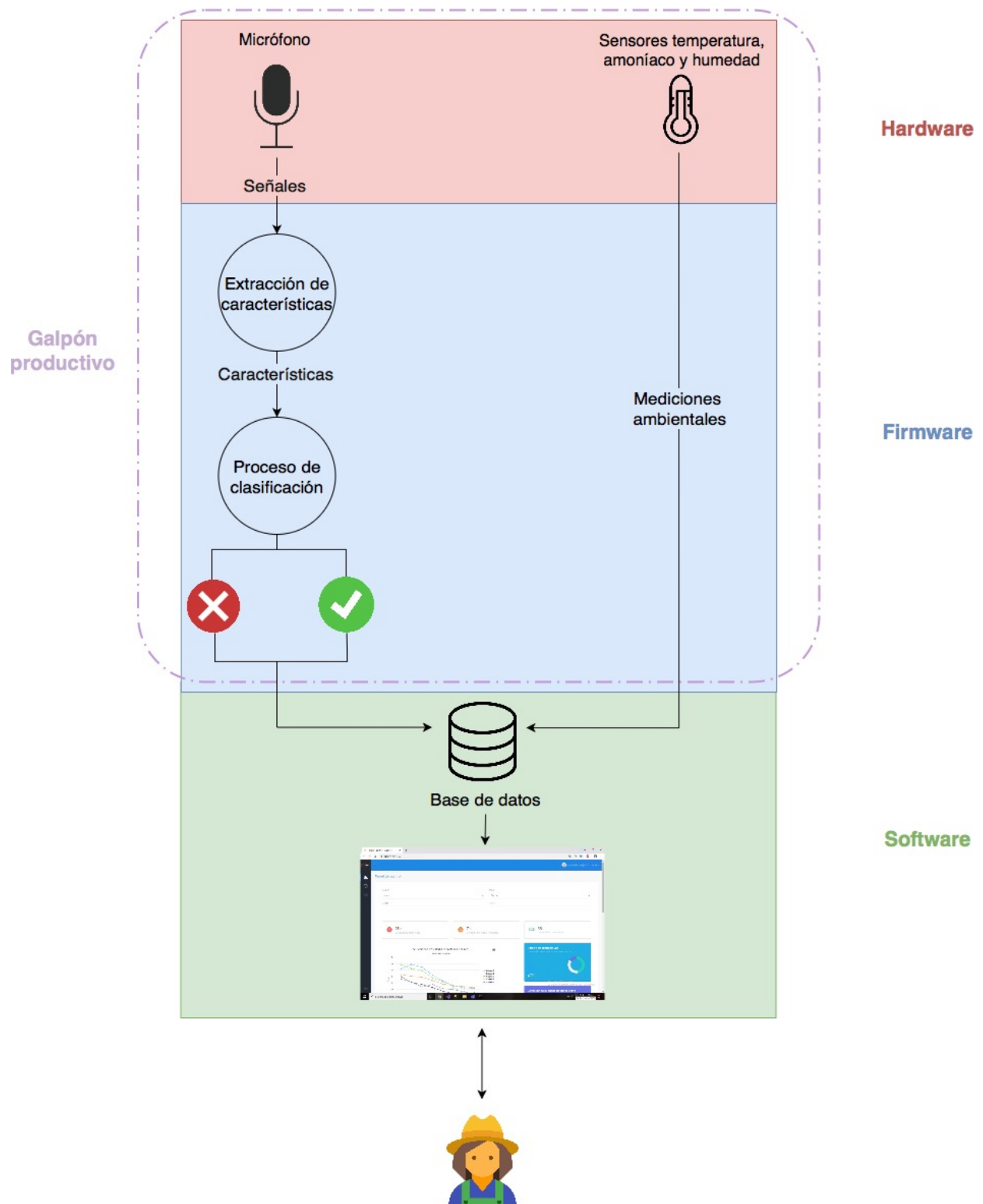


Figura 16: Proceso de detección de estrés en tiempo real.

9. Hardware: requerimientos y especificaciones técnicas

En función de la información ya explorada, se plantean los aspectos técnicos del proyecto, con un análisis de las señales a obtener y con qué *hardware* pueden realizarse las mediciones así como en qué contextos diseñados.

9.1. Requerimientos de señales

Dada la investigación realizada de procedimientos similares, se plantean las características ideales de las señales a muestrear.

Respecto al largo de las grabaciones necesario para obtener información representativa, se encuentra que en grabaciones de un minuto de duración ya hay vectores suficientemente representativos de la vocalización que la gallina intenta realizar. De hecho, hay casos de éxito donde se procesan sólo 10 segundos de ese minuto completo [66]. Se considera entonces la posibilidad de tomar señales de un minuto para procesar distintos intervalos de 10 segundos de la misma buscando su relación.

Es fundamental elegir correctamente la frecuencia de muestreo y la resolución de la señal de audio a grabar. La frecuencia de muestreo (en Hz) se representa en la figura 17 como la separación de los escalones, es decir, cada cuánto se toma una muestra en segundos. Teniendo en cuenta el Teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe ser 2 veces mayor que la frecuencia máxima que de interés. Según estudios realizados, los principales sonidos producidos por las gallinas se encuentran entre 50 y 10.000 Hz y las mismas perciben frecuencias entre 60 y 11950 Hz [53, 71]. Existe la duda de si pueden escuchar infrasonidos (menores a 20 Hz) pero no serían las comunicaciones más representativas [2]. El oído humano percibe frecuencias entre 20 y 20.000 Hz ([72]) por lo que la típica frecuencia de muestreo para señales de audio es 44.100 Hz, sin embargo, en este caso de aplicación alcanzaría con una frecuencia de 22.050Hz es decir, tomar 22.050 muestras por segundo.

La resolución de la señal está determinada por su rango dinámico: la cantidad de bits que se utilizan para muestrearla. En la figura 17, se representa el rango dinámico con la cantidad de alturas utilizadas para muestrear la señal, en este caso, al tener 16 escalones, se muestrearía con 4 bits (2^4). En señales de audio se suelen realizar mediciones entre 4 y 32 bits. De acuerdo a las previas investigaciones, con 16 bits, es decir, 65.536 niveles de audio, se tiene un nivel de ruido lo suficientemente bajo como para poder realizar un procesamiento correcto [65, 71].

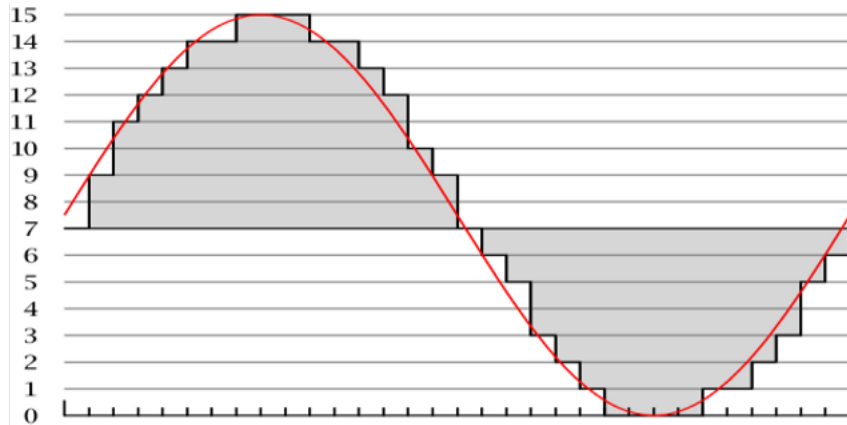


Figura 17: Frecuencia de muestreo y rango dinámico.¹

Se plantea, a su vez, la necesidad de medir las condiciones de ambiente a la vez que las señales de audio. Las condiciones de principal interés por su efecto en el bienestar y facilidad de medición serán la temperatura, la humedad y los niveles de amoníaco. En una primera instancia, estas mediciones servirán simplemente para verificar que las pruebas se están realizando en las condiciones pautadas. En una siguiente etapa, las mediciones obtenidas podrían formar parte del vector de entrada al clasificador que se verá en la sección 10.3.

En cuanto a la temperatura, los valores ideales varían con la edad del animal. Tomando el mínimo y máximo valor de temperatura en la vida de la gallina, se tiene un rango de 21°C a 33°C por lo que no se necesita un sensor con un rango mucho mayor [73]. A su vez, el cambio de temperatura no se produce a altas velocidades (así como no sucede en la temperatura ambiente) por lo que el tiempo de respuesta no debería ser una limitación. A su vez, los cambios leves de temperatura no parecen producir un efecto en las gallinas ([74]) por lo que la precisión del sensor no debe ser alta: con pasos de 0,1 °C es suficiente.

Los valores óptimos de humedad se encuentran entre el 50 y el 65 % [75]. Con una humedad relativa menor al 50 %, se tienen condiciones polvorientas mientras que con una humedad alta se dan condiciones ideales para un desarrollo microbiano aumentando los niveles de amoníaco en el galpón lo que a su vez perjudica el desarrollo de las aves. Una baja humedad puede generar irritabilidad en el sistema respiratorio de las aves mientras que la alta humedad produce dificultad para la respiración. El rango ideal es amplio, por lo que, de tener poca precisión en la detección, puede achicarse el umbral de alarma para compensarlo. Nuevamente, cualquier tiempo de respuesta

¹<http://consejodj.blogspot.com/2015/04/tasa-de-muestreo-y-profundidad-de-bits.html>

menor a un minuto será suficiente para detectar los cambios.

En Estados Unidos se estableció como nivel máximo de amoníaco en un galpón 25 ppm. A ese nivel, ya puede ser percibido con el olfato y comienza a tener efectos negativos [76]. El sensor necesitará entonces poder registrar cuándo se supera el límite, se define como necesario detectar al menos cuando este valor se duplique.

9.2. Caracterización de sensores

9.2.1. Micrófonos

A raíz del análisis de los *stakeholders* involucrados en la sección 5.3, se hace clara la necesidad de hacer lograr alcanzar un bajo costo. Es por esto que no pueden instalarse en una granja una cantidad ilimitada de micrófonos ni micrófonos de estudio de alta calidad que implican muy altos costos. Es con esto en mente que se analizan dos ramas de micrófonos para usar con microcontroladores: de comunicación I2S (Inter-IC sound) o que envían directamente la señal analógica. I2S es el estándar de comunicación de señales de audio donde se separa la señal de data de la señal del reloj para evitar fluctuaciones en la señal. Se divide entonces el bus en al menos 3 líneas: la del reloj (SCK por sus siglas en inglés), la de selección de palabra (WS) que indica por qué canal se está transmitiendo y la línea de señal de datos multiplexados (SD) [77]. La característica principal a destacar de este protocolo es que por estar diseñado específicamente para audio permite obtener mejor calidad en la señal. En la mayoría de los microcontroladores, hay un sector destinado a la comunicación I2S por lo que no interfiere en el procesamiento que el mismo esté realizando. Se debe tener en cuenta que no permite tomar cualquier frecuencia de muestreo, suele ser sólo 22 kHz o 44 kHz; por las necesidades planteadas previamente, esto no es un problema en el desarrollo.

Como otra opción se podría utilizar un micrófono que transmita la señal analógica y muestrearla con un conversor analógico digital (ADC) en la entrada al microcontrolador. Esto permite un mayor control de los parámetros de entrada aunque la calidad de la señal estará condicionada por todos los pasos de la transmisión. El ADC podría ser uno externo o propio del microcontrolador a utilizar. El microcontrolador utilizado puede cambiar en distintas versiones del prototipo en busca del producto final, pudiendo generar que con algunas versiones se use el ADC del microcontrolador y en otras uno externo, generando la necesidad de adaptar el funcionamiento del dispositivo y desarrollando una dependencia adicional a otro componente.

Es difícil decidir sin una comparación práctica cuál micrófono sería el mejor. Teniendo esto en cuenta, se adquirió un micrófono de cada tipo para analizar qué tan simples son de programar, ajustar su ganancia y tomar grandes volúmenes de datos pudiendo recomendar mejor cuál sería la mejor opción. Se elige como micrófono I2S el INMP441 y como micrófono analógico el MAX4466. Se los presenta en la figura 18. Estos micrófonos se consiguen en AliExpress por U\$S 3 y U\$S 1, respectivamente.

El micrófono INMP441 es también un micrófono omnidireccional. Esto significa que no deben considerarse pérdidas de señal en función de la distancia y que captará señales en 360°, como indica la Teoría de antenas [78]. Esto resulta muy útil para tomar la señal de más de una jaula de gallinas a la vez pudiendo estimar mejor cuántos micrófonos se necesitan para cubrir un galpón comercial y pudiendo considerar un mayor alcance con cada micrófono instalado.

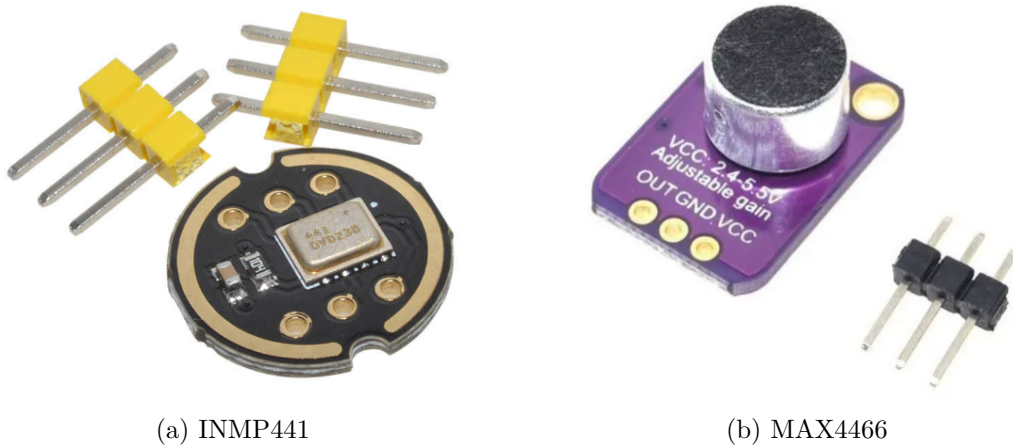
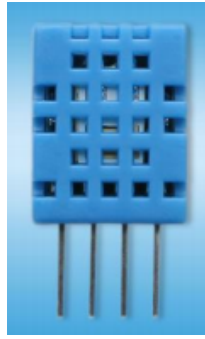


Figura 18: Opciones de micrófonos.

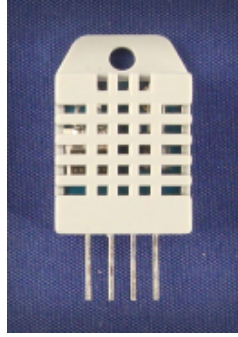
9.2.2. Sensores de temperatura y humedad

Siguiendo con los rangos de temperatura y humedad planteados previamente, se busca la opción del sensor que, cumpliendo todos los requisitos, no sobrepase la necesidad pudiendo reducir el costo.

Hay distintos tipos de sensores de temperatura para cada aplicación, el primer filtro se realiza en buscar que sean Arduino compatible para simplificar el desarrollo. Se busca también para simplificar la solución un sensor que mida temperatura y humedad a la vez. Es entonces que se analizan 3 posibles opciones: DHT11, DHT22 y BME280 (figura 19). Los datos de cada uno se muestran en la tabla 2.



(a) DHT11



(b) DHT22



(c) BME280

Figura 19: Opciones de sensores de temperatura.

Sensor Propiedad	DHT11 [79]	DHT22 [80]	BME280 [81]
Comunicación	PIN GPIO	PIN GPIO	I^2C/SPI
Rango de Temperatura	$0 - 50^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$	$-40 - 80^{\circ}C \pm 0,2^{\circ}C$	$-40 - 85^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$
Resolución	$1^{\circ}C$	$0,1^{\circ}C$	$0,01^{\circ}C$
Rango de humedad	$20 - 90 \% \pm 2 \%$	$0 - 100 \% \pm 2 \%$	$0 - 100 \% \pm 3 \%$
Resolución	1 %	0,1 %	0,008 %
Tiempo de respuesta	10 segundos	2 segundos	1 segundo
Costo ¹	5pcs x U\$S 10	2pcs x U\$S 10.99	3pcs x U\$S 12.99

Cuadro 2: Cuadro comparativo de sensores de humedad y temperatura

Debido a su simpleza para programarlos y por no haber una diferencia tan significativa en el precio, los DHT tienen un primer atractivo. A su vez, analizando la hoja de datos del BME280, se verifica que, como la medición de temperatura no es la función principal pero una consecuencia, la misma suele desviarse de los valores reales debido a un calentamiento de la placa, pudiendo dar valores superiores a los ambientales con un error mayor al estipulado inicialmente.

En cuanto a los rangos de medición, con el DHT11 ya sería suficiente. Sin embargo, por su error y su resolución, puede traer muchos errores si se lo toma como parte del vector de entrada del clasificador sin supervisión. Es por esto que se elige el sensor DHT22 como la mejor opción para la aplicación final pudiéndose utilizar el DHT11 para las pruebas iniciales.

¹Precios al día 08/02/2020 en Amazon USA

9.2.3. Sensor de amoníaco

En el caso de la medición del nivel de amoníaco, no hay tantas opciones comerciales y accesibles (e integrables a un sistema más complejo) como para temperatura y humedad, lo que simplifica el análisis. El sensor elegido es el sensor MQ137. El mismo puede conseguirse como sensor independiente o como un módulo de medición. Se elige utilizar el módulo para simplificar la integración al sistema, nuevamente, al diseñar una placa completa para el sistema puede utilizarse sólo el sensor y realizar el circuito en la placa. Los dos modos se muestran en la figura 20 tomados de sus respectivas hojas de datos [82, 83]

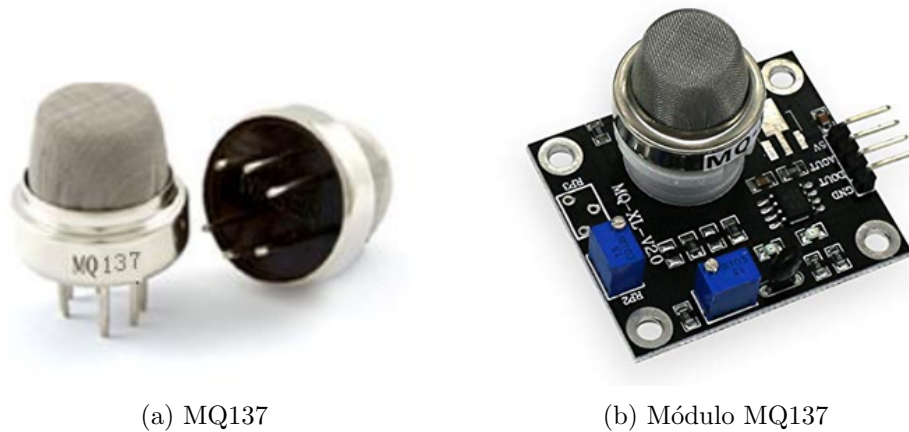


Figura 20: Sensor MQ137. [82]

Sensor	MQ137 [82]
Propiedad	
Comunicación	Salida analógica o digital
Rango de Medición	5-200 ppm
Sensibilidad	13 %
Tiempo de respuesta	1 segundo
Costo	Sensor: U\$S 15.80 ² , Módulo: U\$S 55.40 ³

Cuadro 3: Caracterización sensor MQ137

²Precio al día 06/05/2020 en AliExpress

³Precio al día 08/02/2020 en Amazon USA

Este sensor es un sensor electroquímico que con una superficie de dióxido de estaño (S_nO_2) reacciona de acuerdo al nivel de amoníaco en la superficie del sensor. El sensor tiene dos resistencias internas: R_0 y R_s siendo R_0 constante pero propia de cada sensor y R_s variable. La reacción química genera una variación en la resistencia R_s del sensor lo que lleva a un cambio en la tensión de salida. En el gráfico de la hoja de datos que se muestra en la figura 21, se muestra la cantidad de amoníaco en función de la relación R_s/R_0 . Es por esto que la proporción de amoníaco en partes por millón (ppm) es necesaria su calibración. Como en este proyecto sólo importa la variación y el aumento del nivel, alcanza con mirar la diferencia en la tensión de salida sin saber el valor en ppm.

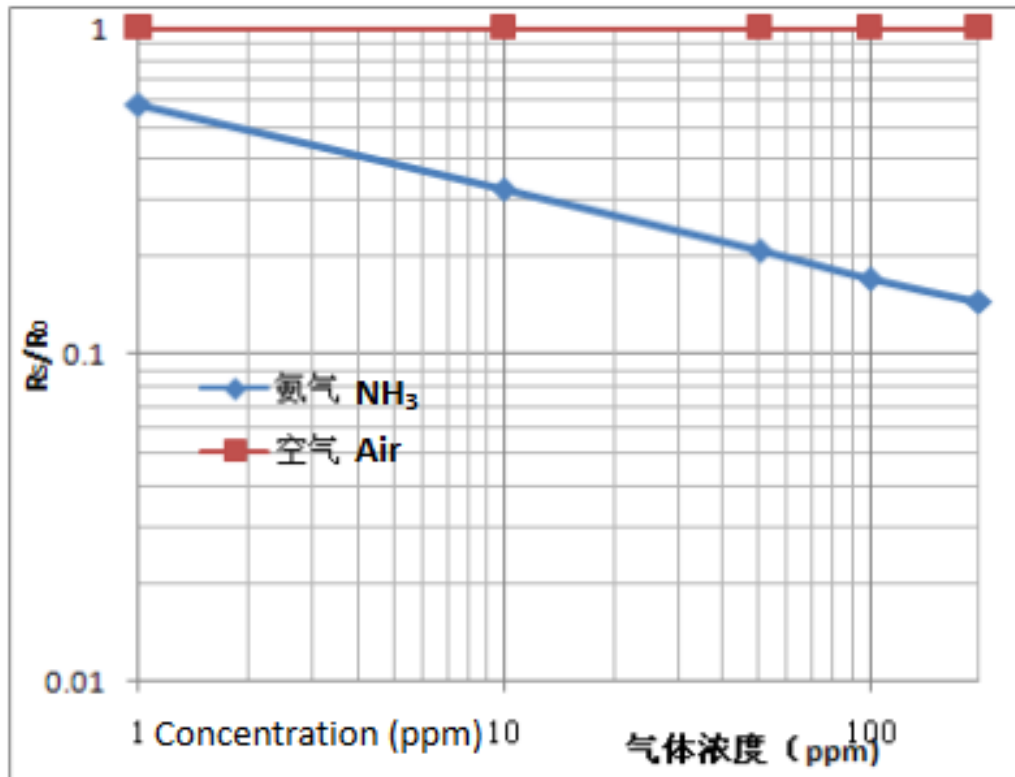
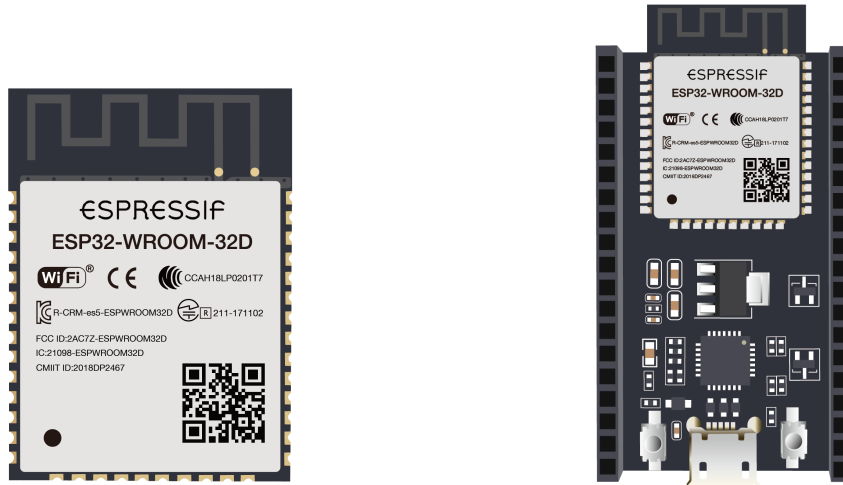


Figura 21: Relación entre resistencias R_s/R_0 y nivel de amoníaco. [83]

Otro factor importante a mencionar es que este sensor necesita un tiempo de precalentamiento de al menos 24 horas. No es un inconveniente para la versión final ya que se espera que luego del *setup* el equipo quede conectado pero para las pruebas iniciales puede ser una dificultad necesitar conectarlo anticipadamente.

9.3. Microcontrolador

Para el desarrollo del prototipo y como opción para el *hardware* final, se elige un ESP32 como microcontrolador. Estos son desarrollados por una empresa de origen chino llamada ESPRESSIF y pueden comprarse el chip por separado y montarlos en una placa diseñada o usar una placa de desarrollo, el elegido para el primer prototipo. En el kit de desarrollo las salidas de los pines ya están previamente ruteadas simplificando su implementación. Se muestran las dos opciones de la marca en la figura 22. Las dos opciones se consiguen en *DigiKey* por U\$3.8 el chip y U\$10 la placa de desarrollo.



(a) ESP32-WROOM-32D chip

(b) ESP32-DevKit-C. Placa de desarrollo

Figura 22: Opciones de mercado para ESP32. [84]

Son diversas las razones para elegir esta placa. Las mismas funcionan en un amplio rango de temperatura y son muy robustas, ideales para un contexto agreste como es una granja avícola. Tienen, además, módulo WiFi y Bluetooth integrado, lo que, como se explicará en la sección 11, resultará útil para el protocolo de comunicación. Para la conexión de los periféricos, tiene pines GPIO para los sensores, comunicación I²S para el micrófono y comunicación SPI para guardar la información en tarjeta de memoria permitiendo usar sin problema los sensores elegidos y pudiendo guardar información en caso de no poder transmitirla. [84]

9.4. Escenarios de prueba

Considerando los factores presentados en la sección 6.2, se analiza en más detalle cuáles, en función al *hardware* que se propone incorporar, son factibles de realizar con la correspondiente aprobación y acceso a las gallinas. Lo más accesible son escenarios que incluyan cambios cortos en las condiciones ambientales de las aves y situaciones de interacción con el hombre. Es de una mayor complejidad cambiar la composición de la alimentación o el agua que tienen un efecto en el bienestar más a largo plazo.

Como en mucha de la bibliografía consultada, se recomendaría hacer las grabaciones en momentos donde ya haya una intervención planificada como puede ser un día de vacunación del lote. Subir o bajar la temperatura dentro del galpón puede no ser tan fácil de realizar intencionalmente, sin embargo, si se tiene acceso a grabar constantemente a las aves durante un tiempo prolongado, es común que un ventilador deje de funcionar o haya un corte de energía haciendo que la temperatura suba y, contando la grabación y la toma de temperatura, se podrá identificar qué audios se corresponden con estos momentos. A su vez, si no hay ventilación subirían los niveles de amoníaco también trayendo incomodidad y también pudiendo medirlo.

En caso de no contar con acceso a un ambiente real, una opción sería intentar replicar las condiciones de un galpón comercial. En una investigación de Daley (el referente en bioacústica de aves mencionado previamente), se podría replicar las mismas usando un espacio de 6 m x 7 m con 500 gallinas, que resulta en aproximadamente 840 cm² por ave [85]. En estas condiciones podrían hacerse pruebas con la disponibilidad o no de comida y agua grabando las vocalizaciones en todo momento.

10. Firmware: definición del procesamiento de señales

Tras la adquisición de la señal en el módulo de *hardware* presentado en la sección anterior, la misma debe ingresar en el módulo de *firmware* donde se realiza el procesamiento de la señal con el objetivo de detectar y clasificar el estrés. Dentro de este, se distinguen tres bloques: uno de preprocesamiento y filtrado, otro de extracción de características y uno último de clasificación del estrés.

El proceso de filtrado es indispensable para poder eliminar el ruido y extraer la señal de cacareo específicamente. Luego, se busca procesar la señal para poder detectar el estrés. Para ello, es necesario primero calcular un vector de características que será la entrada al clasificador que busca detectar el estrés. En las subsecciones siguientes, se delinearán las consideraciones principales a tener en cuenta al momento de buscar una implementación de cada uno de estos bloques.

10.1. Filtrado de la señal

Como en toda toma de señal, el audio recolectado tendrá un componente de ruido. Así como en las subsecciones siguientes será posible identificar los algoritmos a utilizar para procesar la señal, no es igual de directo poder diseñar de los filtros que servirán en las señales obtenidas. En un galpón comercial como en el que se busca implementar este dispositivo, habrá interferencia de fuentes tales como el carro automático de comida, los ventiladores o la cinta transportadora para huevos y guano. Según la bibliografía consultada, estos sonidos no deberían interferir en las frecuencias en las que emiten sonido las gallinas, pero sólo se lo podrá confirmar al filtrar audios reales [71].

Es entonces que se define como parte de la solución integral una etapa de filtrado, pero se analizarán posibles opciones de filtro en la sección 13 con señales tomadas en un galpón comercial. Cabe destacar que al momento de considerar algoritmos de filtrado se debe considerar que los mismos sean de una complejidad tal que puedan ser soportados por la ESP32.

10.2. Extracción de características en tiempo y frecuencia

Cuando comenzaron las investigaciones en bioacústica, el análisis solía basarse simplemente en descripciones verbales de los sonidos [54]. Hoy en día, puede realizarse un procesamiento mucho más completo y complejo de la señal de audio que se está recolectando a través de técnicas de procesamiento de señales. De hecho, las posibilidades de análisis que se encuentran son tan vastas

que se requiere seleccionar las características que se desean extraer. Los algoritmos de procesamiento deben presentar un compromiso entre dos grandes aspectos: por un lado, deben permitir extraer parámetros precisos y representativos para obtener una detección del estrés sensible y específica; por el otro, debe tener un bajo costo y alta velocidad, para poder contar con un sistema de detección y notificación del estrés en tiempo real.

Durante el análisis preliminar de las señales, se pudo ver que se tiene información relevante tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, por lo que se sugiere que la caracterización se realice sobre ambos.

A continuación, se presenta una recopilación de características que fueron evaluadas positivamente en la bibliografía [65, 66], a partir de la cual hay que realizar una selección cuidadosa para identificar los parámetros relevantes y no redundantes. Se deben aplicar algoritmos sobre las señales base y de estrés y calcularlas, para luego armar el vector que será la entrada al clasificador para llevar a cabo su entrenamiento.

10.2.1. Características en el dominio del tiempo

Debajo se listan y definen brevemente las características que pueden extraerse de una señal discreta y finita $x(n)$ entre dos muestras n_1 y n_2 , donde N es el largo del intervalo considerado en cantidad de muestras.

Valor eficaz: el RMS (por sus siglas en inglés, *Root Mean Square*) se calcula como:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=n_1}^{n_2} x^2(n)}$$

y es una medida que sirve como representación no sólo del promedio de la señal, sino también de su variabilidad [70].

Energía: es una medida que considera las distintas amplitudes que toma la señal en relación con su duración [86]. Para señales discretas y finitas, la energía comprendida entre la muestra n_1 y la muestra n_2 se calcula según la siguiente ecuación:

$$E_x = \sum_{n=n_1}^{n_2} x^2(n)$$

Se puede reconocer que la energía de la señal se calcula igual que su autocorrelación al tomar un

lag de $l = 0$ (ver ecuación 1).

Potencia: es el promedio temporal de la energía y se calcula de la siguiente manera:

$$P_x = \frac{1}{N} E_x = \frac{1}{N} \sum_{n=n_1}^{n_2} x^2(n)$$

Por lo tanto, la potencia queda también definida como el cuadrado del RMS.

Valor máximo absoluto: es el valor absoluto máximo de la amplitud de la señal sonora.

Intensidad: es una medida del ritmo de transmisión de potencia por la onda de sonido que avanza por un medio [90]. Representa la potencia del sonido por unidad de área, se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m^2) y se calcula según:

$$I = \frac{P_x}{\rho c}$$

donde ρ es la densidad del aire en kg/m^3 y c es el módulo de la velocidad en m/s .

Jitter: define la perturbación de frecuencia fundamental F_0 entre dos ciclos consecutivos [87]. Es un valor porcentual que se calcula como el promedio absoluto de la diferencia de la duración de dos períodos consecutivos, dividido por la duración promedio del período, como se muestra en la siguiente ecuación [88]:

$$jitter = \frac{\frac{1}{K-1} \sum_{k=0}^{K-1} |T_i - T_{i-1}|}{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |T_i|} \times 100 \%$$

donde T_i es la duración en segundos de cada período y K es el número de períodos.

Shimmer: como el *jitter*, el *shimmer* es otro parámetro que se refiere a variaciones en la frecuencia fundamental, pero esta vez desde la variación en amplitud de la onda sonora [88] (en la figura 23, se muestra la diferencia entre estas dos características gráficamente, para mayor claridad). La definición del *shimmer* es análoga a la del *jitter* pero representando el promedio absoluto de la diferencia en amplitud A_i en dos períodos consecutivos:

$$shimmer = \frac{\frac{1}{K-1} \sum_{k=0}^{K-1} |A_i - A_{i-1}|}{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |A_i|} \times 100 \%$$

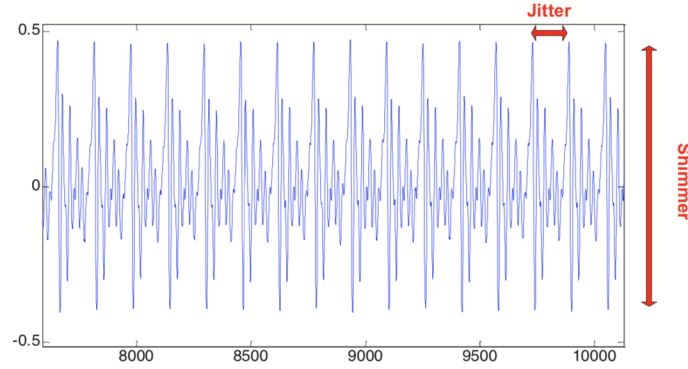


Figura 23: Representación de las perturbaciones *jitter* y *shimmer* en una señal de habla humana [88]

10.2.2. Características en el dominio de la frecuencia

La señal de audio recolectada, por ser discreta, finita y aperiódica, puede ser descripta en el dominio de la frecuencia mediante la Transformada Discreta de Fourier dispuesta en la ecuación 3 [68].

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j(2\pi/N)kn}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

Las características que se pueden extraer en este dominio son:

Ancho de banda: es la diferencia entre las frecuencias superior e inferior de la señal.

Formantes: en los formantes de una señal de habla, se presenta una concentración de energía acústica. Las diferentes amplitudes de determinados rangos de frecuencias son producto de las propiedades de resonancia y filtrado del tracto vocal [89]. Los formantes se refieren a frecuencias propias de las señales de habla humana pero se reconoció la presencia de estas frecuencias de alta energía también en vocalizaciones de otros animales. Son considerados como un parámetro de identidad del sonido, por lo que permiten tener una mejor caracterización de las vocalizaciones [66].

Densidad espectral de potencia: se calcula matemáticamente según la ecuación 2 y, como se vio anteriormente, describe cómo es la distribución de la potencia de la señal de acuerdo a las componentes de frecuencia que la definen.

Coefficientes cepstrales en las frecuencias de Mel: los coeficientes de Mel, o MFCC por sus siglas en inglés, representan las características de la fuente de audio simulando el sistema auditivo humano

[91]. En este método se acondiciona el espectro de acuerdo a la escala de Mel para adaptar la resolución en frecuencia a la percepción no lineal del oído humano (con mayor discriminación en las frecuencias bajas que en las altas) [92, 93], lo que permite extraer las componentes relevantes de una señal de audio, ofreciendo una alternativa efectiva y robusta.

En la figura 24 se muestra un diagrama de flujo de un algoritmo para calcular los MFCCs. En primer lugar, se debe segmentar la señal, aplicar ventanas (preferentemente con *overlap*) y obtener la densidad espectral de potencia de cada uno aplicando la FFT. Luego, es necesario aplicar un banco de filtros como el que se muestra en la figura 25 para convertir la escala de frecuencia a la escala de Mel. A continuación, se debe calcular el logaritmo a estos resultados y, sobre esto último, aplicar la transformada discreta del coseno para obtener los MFCCs [59, 93].

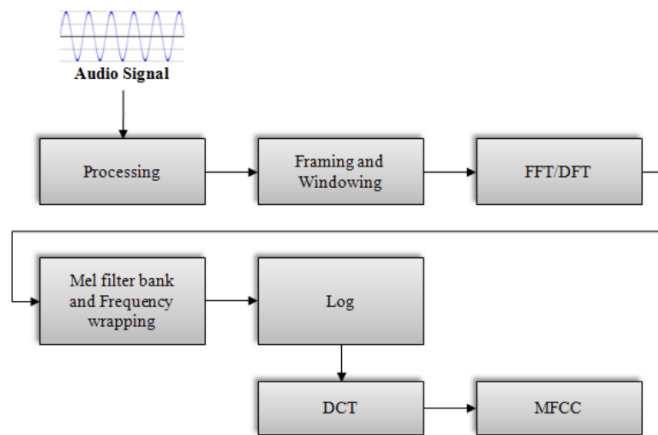


Figura 24: Diagrama de flujo del proceso de extracción de los coeficientes cepstrales en las frecuencias de Mel [59]

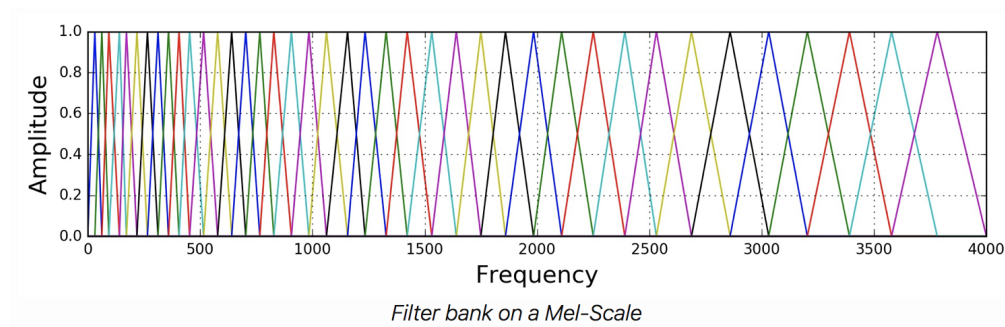


Figura 25: Banco de 40 filtros en escala de Mel [93]

10.2.3. Selección de características

Por motivos de costos y velocidad de procesamiento, es necesario seleccionar las características más representativas para introducir al clasificador, teniendo cuidado de que no haya parámetros redundantes, sobre todo teniendo en cuenta que el procesamiento debe ser desempeñado por la ESP32. Es importante destacar que la bibliografía en este aspecto es limitada y no existe un consenso absoluto frente a cuáles son las características que exhiben una mayor identidad entre las señales y las situaciones de estrés.

Las publicaciones de [65] y/o [66] (ambas buscan algoritmos para la detección del estrés en gallinas) mostraron como más significativos al RMS, la energía, el jitter, el shimmer en el dominio del tiempo. En cuanto al dominio de frecuencia, en [65] se estudian los PSDs para las potencias de 100Hz a 4000Hz con pasos de 100Hz y se concluye que el PSD38 (correspondiente a una frecuencia de 3900Hz) es lo suficientemente representativo para incorporarse al vector de características; también se encontraron nueve formantes (F1-F9) en los espectrogramas de cacareos de gallinas y entre [65] y [66] se establece que son F1, F2 y F3 las más representativas.

Ninguna de estos estudios trabaja con los coeficientes de Mel, pero aquí se propone incorporar estos al vector en lugar de el PSD ya que es una herramienta ampliamente utilizada para clasificar señales de audios tanto de humanos como de otros animales.

En conclusión, se propone armar un vector de características que incluya el RMS, la energía, las formantes F1, F2 y F3, y los coeficientes de Mel que resulten más relevantes (a partir de un primer estudio sobre las señales reales). Estas características pueden no ser suficientes para obtener una clasificación adecuada del estrés; en tal caso, se deberán tomar otras entre la lista presentada y entrenar el clasificador con aquellas que presenten los mejores resultados, siempre teniendo en cuenta el costo de procesamiento como factor de decisión.

10.3. Support Vector Machine (SVM)

Las máquinas de vectores de soporte (SVM, por sus siglas en inglés: *Support Vector Machines*) son una estrategia crecientemente popular para los problemas de clasificación. Se trata de un método para entrenamiento supervisado donde por cada vector de medición x_i hay una respuesta y_i . Se tomarán distintas estrategias dentro de los SVMs para clasificar en dos clases o en más, siendo importante para la primera versión de este trabajo la separación en dos clases: si la gallina está en

estado de estrés o no. En este caso, la principal idea se basa en construir un modelo de diferenciación donde, teniendo un conjunto de puntos que cada uno pertenece a una u otra clase, pueda identificar a qué clase pertenece un punto nuevo.

El primer paso para entender su funcionamiento es definir un hiperplano. Un hiperplano en la dimensión p , es un subespacio plano en la dimensión $p-1$. Se lo define matemáticamente en la ecuación 4.

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p = 0 \quad (4)$$

Será entonces un hiperplano el que separe las dos clases, donde puede pensarse que cada punto cumple con la ecuación 5 o la ecuación 6 dependiendo de qué lado del hiperplano se encuentra.

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p < 0 \quad (5)$$

$$\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p > 0 \quad (6)$$

Definiendo los resultados de cada clase como $y = \{-1, 1\}$ y combinándolo con las ecuaciones 5 y 6, el hiperplano tiene la propiedad de:

$$y_i(\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip}) > 0$$

El desafío consiste, entonces, en encontrar el hiperplano que separe ambas clases maximizando a su vez la distancia entre el punto más cercano de cada clase al hiperplano. Esto impone un nuevo factor en el análisis, donde no se busca sólo que la ecuación sea mayor a cero sino que sea mayor a un valor M que se busca maximizar. Se considera también en este punto la opción de agregar un posible error ε_i a cada punto del entrenamiento menor a C , donde, para evitar el sobreajuste u *overfitting*, se permite que algunos de los puntos del grupo de entrenamiento caigan dentro del margen de separación M o incluso del otro lado del hiperplano. Teniendo estos factores en cuenta, se muestra la ecuación a maximizar:

$$\begin{aligned}
 & \max_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p, \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n, M} M \\
 & \text{suje}to \ a \sum_{j=1}^p \beta_j^2 = 1, \\
 & y_i(\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip}) > M(1 - \varepsilon_i), \\
 & \varepsilon_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \leq C
 \end{aligned}$$

Como se muestra en la figura 26, el margen de error permite que al agregar nuevos puntos en los lados incorrectos del hiperplano no se vuelva imposible la clasificación con una línea y un margen y tampoco el hiperplano cambie por completo por *overfitting* producido por un punto. Es importante notar que cuando se tienen definidos el hiperplano y los márgenes, sólo los puntos que se muevan dentro de estos rangos van a afectarlos. Los puntos del lado correcto del hiperplano y lejos del mismo, no afectan la clasificación. Esta figura es claramente en un espacio de dimensión 2, el espacio del clasificador estará definido por la cantidad de características elegidas [94].

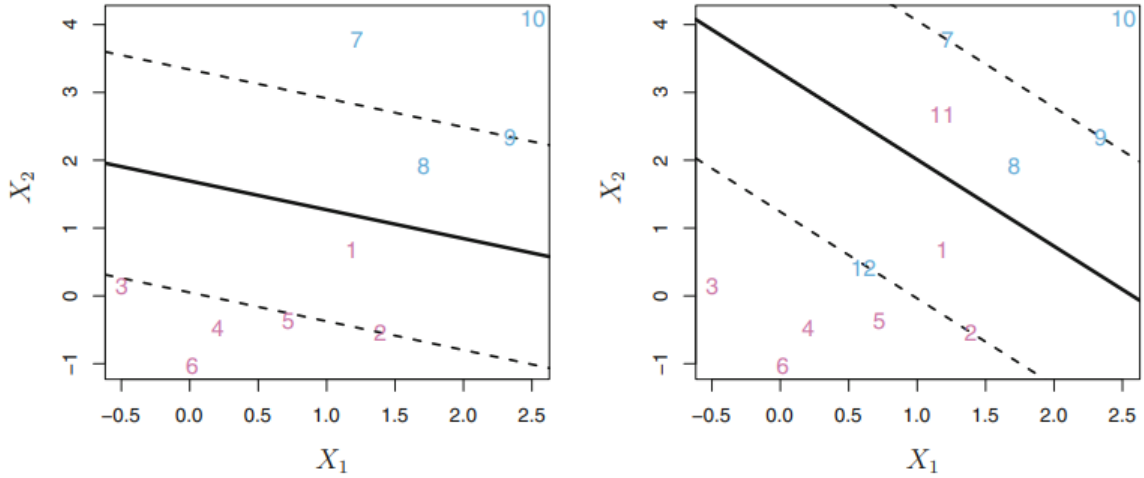


Figura 26: Clasificador para un conjunto de datos pequeño con dos clases: la violeta y la azul. Al agregar dos puntos en el lado derecho del lado incorrecto del hiperplano, el mismo se ve modificado. Gracias al margen de error, sigue siendo posible la clasificación. [94]

11. Red de comunicación en granjas

Sumado a las dificultades que se presentan en la adquisición y la clasificación de la señal, existe también un gran desafío al momento de transmitir los resultados. Se analizará la comunicación desde el lado de infraestructura y desde el protocolo de comunicación que se debe utilizar. Se busca entender estos desafíos y desarrollar sobre distintas tecnologías que podrían resolverlos planteadas sobre una granja de ejemplo. Se toma como referencia la Avícola Telos, la productora más grande de huevos del país, reconocible por su marca Avicoper.

11.1. Desafíos

Por la información recolectada, aparece el problema de que las granjas no suelen contar con conexión a internet en la zona de galpones. Muchas veces, no tienen cobertura celular. La mayoría cuenta con conexión a internet en las oficinas centrales, que son provistas por pequeñas empresas zonales y que presentan problemas frecuentes en la disponibilidad y calidad de servicio. Para plantear un sistema de detección en tiempo real conectado, esto representa una limitación importante ya que las placas no podrían transmitir sus resultados directamente al servidor central. Para plantear una solución integral al productor, se deben contemplar estas restricciones, considerando que cualquier solución tendrá que ser adaptable a los distintos tamaños y distribuciones de las granja.

Nuevamente, el desafío se intensifica al contemplar las restricciones económicas de los potenciales clientes, buscando siempre minimizar costos.

11.2. Tecnología

11.2.1. WiFi

Como una primera alternativa, se analiza implementar una red WiFi con cobertura en toda la granja. Para ello, se requiere inicialmente contar con acceso a la conexión a internet disponible en la administración de la granja donde estaría ubicado el servidor para montar una antena que permita la comunicación con los galpones.

Con una antena direccional, se tiene un alcance máximo de 10 km de punto a punto. Para la conexión con administración, se necesitaría una antena en el extremo más cercano de cada galpón y contar con línea de vista. Se debe contemplar en este aspecto que los árboles pueden ser un punto de conflicto. En la granja analizada como referencia, todos los galpones se encuentran a una distancia

menor a los 10 km, por lo que el alcance de las antenas resultaría suficiente. Colocando una antena en un extremo del galpón, habría señal justo en los alrededores cercanos de la misma. Se debe contemplar que, dependiendo de los materiales que componen el galpón, se puede dar un efecto de Jaula de Faraday. En consecuencia, se recomienda instalar un *access point wireless* (o punto de acceso inalámbrico) conectado físicamente con la antena exterior para gestionar conectividad inalámbrica con las placas. Tomando en consideración que el alcance de los mismos suele ser menor a 50 metros, se requerirá instalar repetidores para asegurar que la señal llegue a todos los dispositivos instalados en el galpón.

Se muestra un esquema dentro de la granja en la figura 27. Los logos de WiFi representan antenas y *access points* (AP), mientras que los íconos de conectividad representan repetidores. Como se observa en la misma, se necesitaría adicionalmente a la instalación de los dispositivos IoT, una considerable infraestructura de *hardware* para proveer la conectividad necesaria, aumentando los costos y la complejidad de administración y mantenimiento de infraestructura de comunicaciones.



Figura 27: Esquema de instalación de red de comunicación por WiFi en la Avícola Telos. Los logos de WiFi representan antenas y routers. Los íconos de conectividad representan repetidores.

11.2.2. Red Mesh

El *hardware* seleccionado como base para el dispositivo de obtención y procesamiento de datos cuentan con un módulo WiFi integrado, por lo tanto, existe la posibilidad de implementar redes Mesh con ellos. Los dispositivos crearían una red de área local inalámbrica (WLAN) emitiendo una señal WiFi [95], implementando el concepto de *Red Mesh*. El protocolo se basa en que todos los

módulos ESP32 puedan inicializar su WiFi y conectarse entre sí. Una de las placas, la denominada Reina, sería la encargada de inicializar la red y funcionar como AP con un nombre y contraseña predefinidos. Esta placa será la única con posibilidad de conectarse al exterior para emitir un aviso; es decir, sólo este dispositivo necesita tener acceso a conexión a internet ya sea por WiFi o por cable de red.

Como se observa en la figura 28, los dispositivos de la segunda línea no tienen una conexión directa con el que cumple el rol de Reina, es aquí donde entra en juego el principal beneficio de la Red Mesh: cada dispositivo registra la información que le corresponde de acuerdo a la función que le fue asignada y, luego, envía el mensaje a través de sus vecinas hasta llegar a la Reina. De hecho, en caso de desconectarse la Reina por cualquier razón, el resto de los dispositivos detectarán su ausencia y asignarán automáticamente una nueva Reina. Cada placa enviará la información a sus vecinas donde todas la guardan en sus tarjetas de memoria. Se tiene, entonces, el registro de lo que le pasó a cada placa mientras la Reina estuvo desconectada. Así, cuando la Reina se vuelve a conectar y solicita información, cualquier placa puede enviarla. Además, de no poder reconectar la reina, se podría usar un celular de cualquiera de los empleados que visitan frecuentemente el galpón para que pueda conectarse automáticamente a la red de la mesh acercándose a cualquier placa y realizar la descarga de la información como se muestra en la figura 29. En este escenario, no se tienen notificaciones en tiempo real pero no se pierde el monitoreo que se realizó.

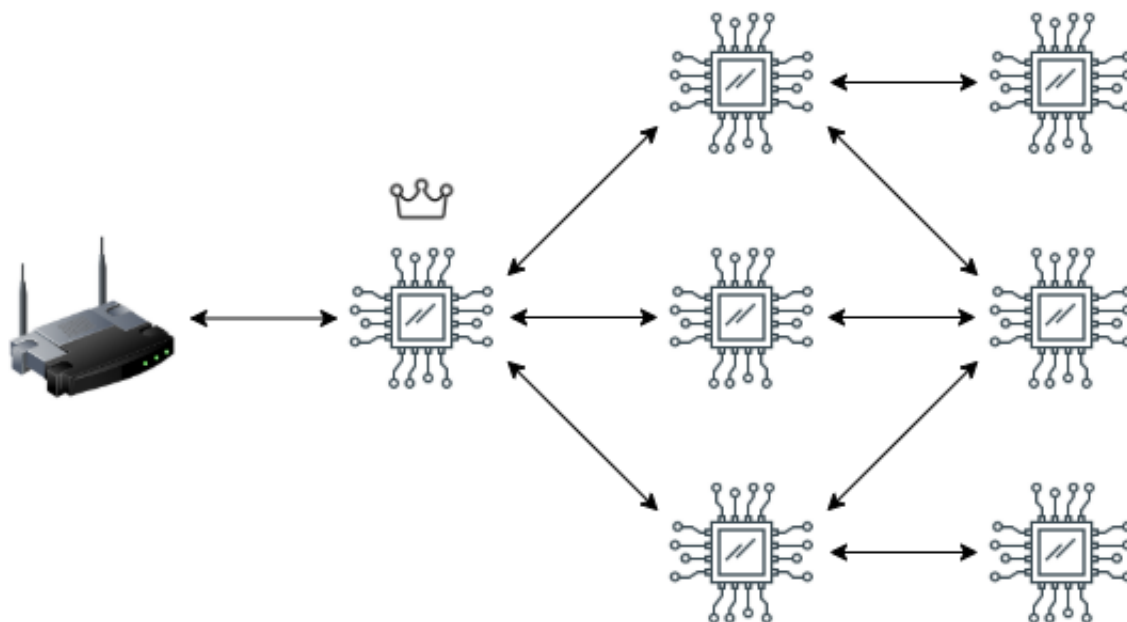


Figura 28: Esquema de intercomunicación de placas por Red Mesh.

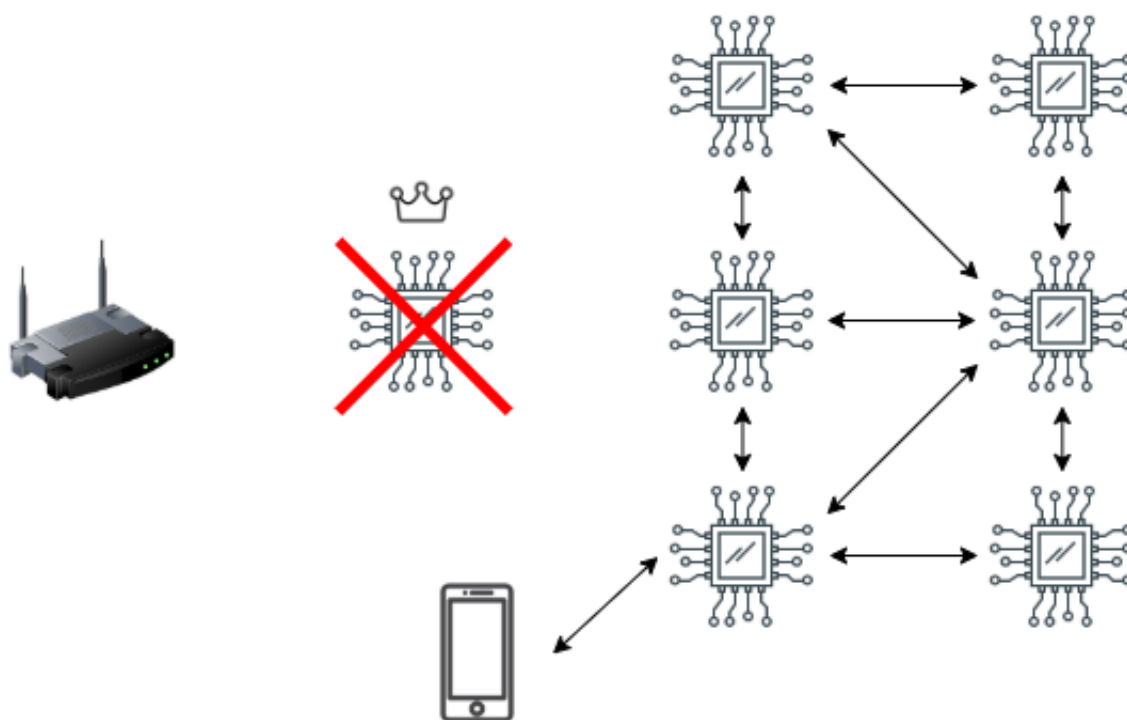


Figura 29: Esquema de intercomunicación de placas por Red Mesh sin placa Reina con posibilidad de interacción de un celular.

En este caso, la extracción de características puede realizarse en cada módulo de desarrollo, enviando sólo el vector para procesamiento o, de poder procesarlo en el mismo módulo, enviar sólo el resultado de la detección a la placa reina.

La principal dificultad se encuentra entonces en que la placa reina tenga acceso a internet. Habría que realizar la misma instalación de antenas de WiFi en la punta de cada uno de los galpones, minimizando la complejidad respecto a la instalación anterior por eliminar routers y repetidores. Se muestra en la figura 30 un esquema de la instalación de una Red Mesh dentro de los galpones con antenas WiFi en los extremos y en administración.

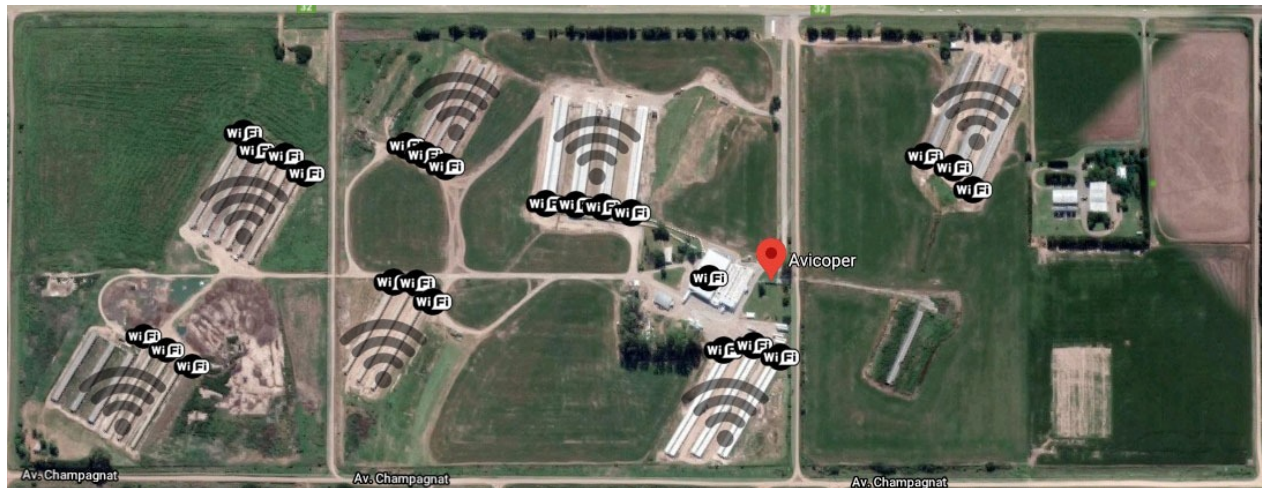


Figura 30: Esquema de instalación de red de comunicación por Red Mesh combinada con WiFi en la Avícola Telos. Los logos de WiFi representan antenas mientras que los íconos de conectividad la Red Mesh dentro del galpón.

La implementación de redes Mesh permitiría obtener amplia cobertura y mayor confiabilidad por la disminución de puntos únicos de fallo, a bajo costo.

11.2.3. LoRa

El otro modo de comunicación que se considera es comunicación por LoRa. LoRa, que viene de comunicación de largo alcance o *Long Range Communication* en inglés, apunta a una comunicación a larga distancia de baja frecuencia y con bajo consumo en aplicaciones de Internet de las Cosas. Se usan las bandas de frecuencia del área industrial, científica y médica (ISM) en los rangos de 433-, 868- o 915-MHz dependiendo la región, siendo la banda de 915-MHz la utilizada en Argentina que va de 915 a 928 MHz [96]. Por su baja frecuencia, la desventaja que presenta es que tiene una

velocidad de transmisión menor, lo que dificulta enviar grandes paquetes de datos. Para la solución que se plantea, las ventajas de un bajo consumo y poder enviar información a largas distancias sin necesidad de una instalación extra superan esta posible desventaja [97].

Para el *hardware* de la comunicación por LoRa, se necesita reemplazar todas las placas por unas que tengan un chip de transmisión LoRa eliminando así la red WiFi. Una opción es la placa que se muestra en la figura 31. Esta es una placa producida por la empresa china HiLetgo que combina el chip de la ESP32 por lo que tiene todas sus características con un chip SX1278 para transmisión por LoRa. Este módulo se consigue por U\$S22 en Amazon USA.



Figura 31: Módulo LORA con ESP32.¹

En pruebas dentro de la ciudad no logramos tener una comunicación fluida a más de 100 metros. Aunque esto no fue verificado en una granja de aplicación, se analizó la opción de sumar un router LoRa para la transmisión de los galpones al servidor. Se eligió el router de la empresa Dragino preparado para comunicación por LORA de larga distancia que se muestra en la figura 32. Este router se consigue por U\$S110 en amazon USA. Al usar el router como placa receptora y no otro módulo de HiLetgo, se logra un alcance mayor. Este router tendrá acceso a internet pudiendo transmitir la información al Webservice.

Si se reemplazan todos los dispositivos dentro y fuera del galpón por dispositivos LoRa, la principal desventaja para este proyecto estaría entonces en el aumento de costos. Se presenta el esquema dentro de la granja en la figura 33 con los logos de LoRa simbolizando la gran cantidad de dispositivos que se necesitarían.

¹<https://www.amazon.com/dp/B07FYWFH4C/>



Figura 32: Router para LORA de Dragino.

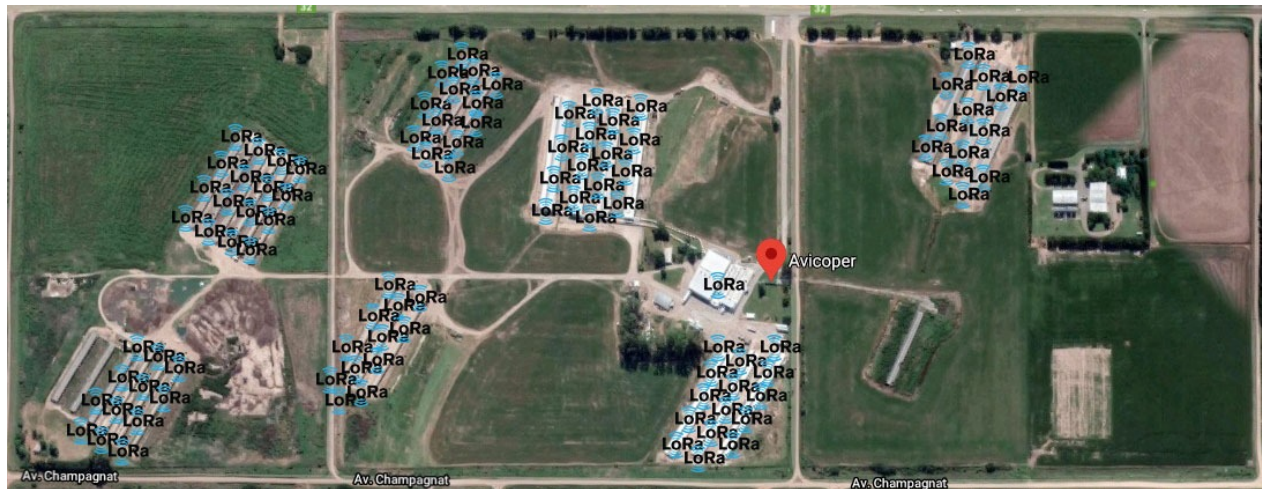


Figura 33: Esquema de instalación de red de comunicación por LoRa en la Avícola Telos. Los logo LoRa dentro del galpón son a modo de referencia, no se puede esquematizar en esta imagen la cantidad de dispositivos necesarios.

11.2.4. Híbrido

Lo que se propone entonces es combinar estas dos formas de comunicación. Como para la utilización de LoRa se necesita un módulo diferente aumentando los costos pero para la comunicación por WiFi se necesita una infraestructura extra entre el galpón y administración, se propone LoRa para ser usado sólo entre la placa reina y administración, manteniendo una *Red Mesh* dentro del

galpón. Agregando el router, el galpón puede estar a una distancia de hasta 10 km del servidor sin necesidad de cableado ni instalación extra lo que puede justificar su precio. Se representa esta interacción en la figura 34 y se muestra cómo sería la distribución dentro de la granja en la figura 35.

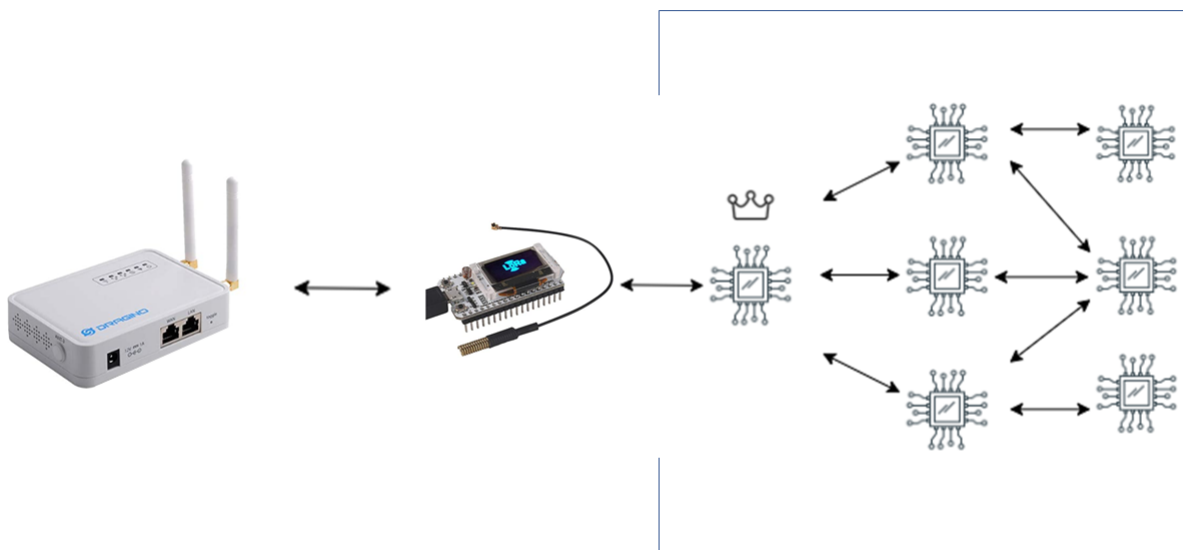


Figura 34: Interacción entre LoRa y Red Mesh. Se tienen ESP32s dentro del galpón productivo interactuando por Red Mesh, con salida a través de una placa LoRa que se comunica con un router de LoRa a la distancia que sea necesaria.



Figura 35: Esquema de instalación de red de comunicación por LoRa y Red Mesh en la Avícola Telos. Los logo LoRa representan los dispositivos de comunicación LoRa necesarios y el ícono de conectividad la Red Mesh dentro del galpón.

12. Software

Como se mencionó previamente, se debe analizar por un lado la infraestructura y tecnología planteada en la sección 11 y el protocolo de comunicación para la transmisión de datos en el otro.

Una vez que la información fue recolectada por los dispositivos y está disponible para ser enviada al servicio web ya sea después del router de LoRa o en la reina de la Red Mesh, es importante entender como se transmite. Esta comunicación está estrechamente relacionada con la arquitectura del sistema web.

12.1. Protocolos de comunicación

Al analizar las soluciones web, se encuentran dos servicios principales: la WebApp y la WebAPI. Tanto una API como una App son servicios web que reciben solicitudes en protocolo HTTP y responden a los mismos. La diferencia se encuentra en el formato de respuesta siendo de la App un HTML que se renderiza en la interfaz con la que interactúa el usuario (a través de un explorador de internet) y la API podría devolver un JSON o un XML acorde al tipo de API que se decida usar. Se analizará la diferencia entre estos dos formatos en la sección 12.2 buscando entender cuál sería mejor en este caso. Para este desarrollo, se necesitarán ambos servicios: una WebAPI con la que puedan interactuar los dispositivos IoT y una WebAPP con la que interactúe el usuario.

Del protocolo HTTP se presentan los métodos que serán utilizados [98]:

- **GET**: generalmente utilizado para consultar información. Pueden enviarse por URL parámetros que orienten la información solicitada.
- **POST**: se lo utiliza para enviar información al servidor y almacenarla. Permite enviar mayor volumen de datos que el método GET, haciéndolo en el cuerpo de la solicitud en lugar de en la URL.
- **DELETE**: se lo utiliza para borrar un recurso específico.
- **OPTIONS**: indica qué métodos soporta el servidor y con qué restricciones.

Aunque en la aplicación el sistema resuelve las solicitudes automáticamente, es importante entender los elementos principales de cada sección para entender las fallas que puedan haber en la comunicación y minimizarlas. Una solicitud de protocolo HTTP se compone por:

1. Request Headers: los encabezados de la solicitud son los parámetros que envía el cliente para efectuar la solicitud al servidor.

Authority: indica a qué web se está llamando ya sea por IP o por URL; en el authority sólo va la base de la web deseada.

Method: cuál de los tipos de métodos del protocolo se usa en el llamado, entre las opciones enumeradas anteriormente.

Path: a qué método de esa URL o IP se llama; es decir, luego de la base, que es el servicio que se llama, a qué método en particular se quiere llegar.

Scheme: se tienen dos opciones, http o https. En un llamado https, se utiliza una encriptación de los mensajes que se envían entre el servidor y los distintos puntos que generan solicitudes, ya sean las placas, la computadora o el teléfono celular del usuario. Se asocia al sistema con un certificado que indicará el protocolo de encriptación de los mensajes tanto en la solicitud como en la respuesta. Cabe destacar que en el presente proyecto se busca contar con un certificado https en el sistema, con el fin de potenciar la seguridad de la solución.

Accept: qué formatos se aceptan como respuesta.

Cookie: cadena de texto encriptada que te permite saber quién es el solicitante (por ejemplo, el usuario) así como guardar algún otro dato relevante. Esto se usa para las páginas web ya que para las APIs se utiliza un token.

Authorization: En el caso de las APIs se suele mandar este header con el token de autorización.

Referer: desde qué URL/IP se realiza el llamado.

2. Query String: estará presente sólo si es una solicitud GET; se envían parámetros de la solicitud por URL.
3. Body: estará presente en las otras solicitudes, donde los parámetros a enviar se agrupan en el body.
4. Response headers: son los headers de la respuesta generados por el servidor.

Access-control-allow-origin: define a quién se le puede responder la solicitud, relacionado con el comando Options (qué orígenes están habilitados a llamar al servidor).

Date: fecha y hora del llamado.

Server: quién respondió a la solicitud.

Status: si fue exitoso o hubo un error en la solicitud. Se define por un código numérico de respuestas.

5. Reponse. El html, json o XML de respuesta.

12.2. Arquitectura

Se define desarrollar el sistema web en C# frente a otros lenguajes que pueden ser de desarrollo más rápido por su robustez, escalabilidad y soporte a largo plazo. Dentro de C#, se elige el *framework* de netCore para su implementación. El *framework* o entorno de trabajo es una abstracción de funcionalidades genéricas que resuelve el tecnicismo de bajo nivel permitiendo que el desarrollador dedique más tiempo a los problemas de lógica funcional. Entre las opciones se decidió .NET Core por ser el último desarrollo de Microsoft con soporte técnico de larga duración y que permite un desarrollo e instalación multiplataforma, asegurando que el sistema operativo del usuario no sea un problema [99]. A su vez, es indispensable tener en cuenta que los nuevos desarrollos de BINIT se llevan a cabo en este *framework*, por lo que resulta ser un factor determinante a la hora de visualizar la ejecución del proyecto, ya que resultaría sencillo contar con desarrolladores con el *skill* o habilidad necesario para agregar funcionalidad, como también reafirmar el soporte de la tecnología a largo plazo.

Existen varios tipos de protocolos de mensajes para los llamados HTTP. Los más comunes a nivel global son REST y SOAP. Sin entrar en grandes detalles la diferencia entre uno y otro radica en el formato del mensaje. El primero utiliza la notación JSON (por sus siglas en inglés: *JavaScript Object Notation*) mientras que el segundo envía mensajes del tipo XML. Los mensajes JSON son más legibles para un humano y suelen ocupar un menor espacio en memoria comparado con el XML. Por otro lado, el XML, a diferencia del JSON, puede enviar información extra como metadata. Para el desarrollo de la aplicación, es más ventajoso utilizar formato JSON para poder interpretar con facilidad los mensajes que esté enviando la placa al servidor.

Con respecto a la base de datos elegida, se analizan las dos más utilizadas hoy en día: *SQL* y *NoSQL*. Las siglas SQL se refieren a *Structured Query Language* o lenguaje de consulta estructurada, y NoSQL indica *Not Only SQL* o no sólo SQL, siendo el ejemplo más conocido para esta última

MongoDB. La diferencia principal entre estos dos tipos radica en que el primero trabaja con bases de datos relacionales y el segundo no, lo que hace al último más flexible y escalable. En las bases de datos relacionales, la información se guarda en tablas separadas y se tiene una relación predefinida entre los objetos guardados en la base. Esto vuelve SQL una mejor elección para el presente proyecto ya que se requiere guardar la relación entre, por ejemplo, una alerta y la placa que la detectó. Se define MSSQL como motor de base de datos. MSSQL es la implementación de SQL de Microsoft que utiliza el servicio MSSQLSERVER y SQL Server Management Studio como interfaz visual. Esta elección se debe a que al estar trabajado sobre C# que es tecnología Microsoft es más simple de implementar. El sistema utilizará Entity Framework de .NET Core en el código que simplifica la conexión con el servicio MSSQLSERVER para interactuar con la base de datos [100].

12.2.1. MVC: Modelo-vista-controlador

El patrón de diseño modelo-vista-controlador separa a la aplicación en estos tres grandes componentes, lo que permite separar, a su vez, los intereses y responsabilidades. En este diseño arquitectónico, el usuario realiza solicitudes al controlador que ejecuta acciones con o sobre el modelo y llama a la vista que se le va a mostrar al usuario, enviándole los datos del modelo que haya solicitado.

El modelo es la representación del estado de la aplicación y gestiona el acceso a y la manipulación de toda la información persistida mediante lógica de negocio u operaciones. El controlador efectivamente controla la respuesta a un evento disparado por el usuario, por lo que es el responsable de invocar las operaciones del modelo para poder acceder o actualizar su estado y, en última instancia, seleccionar la vista que se va a renderizar. La vista es responsable de presentar la información recolectada por el controlador en una interfaz del usuario y debería contener poca lógica. Tanto la vista como el controlador dependen del modelo pero este último no lo hace para los otros dos [102].

Se eligió trabajar con este patrón arquitectónico ya que ofrece separaciones claras entre las diferentes capas, lo que permite reducir la complejidad y aumentar la escalabilidad del proyecto permitiendo mayor sencillez a la hora de programar, *debuggear* y realizar pruebas sobre cada porción.

12.3. Monitoreo del estado de los dispositivos.

Al dar de alta un dispositivo en el sistema, es importante registrar a qué galpón y línea pertenece y cuál es la identificación de su nodo dentro del sistema para luego; identificando de qué dispositivo proviene la alerta, poder saber en qué línea o galpón hay un déficit de bienestar. Es por esto que tanto los dispositivos como los galpones y las líneas deben ser parte del modelo de datos que se defina pudiendo guardar esta relación en la base de datos y permitiendo que el sistema brinde información aún más completa al usuario.

Por otro lado, sería también una gran ventaja saber el estado de cada uno de los dispositivos al menos una vez al día. La comunicación entre el servidor y las placas es bidireccional por lo que, sin sumar mayor dificultad al desarrollo del sistema, puede correrse un proceso todas las noches que busque comunicarse con la placa reina para que envíe el estado de cada una de las placas, lo que puede ser ejecutado por un *Service Worker* [101]: se ejecuta una secuencia de comandos en segundo plano, sin dependencia del sitio web o de la interacción con el usuario. Al comparar los nodos que contestaron con la lista de nodos que deberían estar activos, es simple saber cuál es el que está desconectado o con una falla. Nuevamente, si la ubicación dentro de la granja de cada uno de los dispositivos está identificada, el mantenimiento se verá claramente simplificado, pudiendo ir directamente a ver qué le ocurrió al dispositivo que no contestó en el galpón o línea indicado.

Entre las vistas a definir, se propone entonces incluir vistas para la gestión del *hardware*. Por un lado, agregar una interfaz donde se registren los galpones y las líneas para poder luego tener una vista donde registrar los dispositivos del sistema e indicar su ubicación ya sea cuando se realiza la primera instalación, se extiende la misma o un dispositivo necesita ser reemplazado.

Por otro lado, se propone agregar un *dashboard* o panel de control desde donde se realice el monitoreo en tiempo real del estado de cada zona de cada galpón, pudiendo distinguir entre ausencia o presencia de estrés. En este, se deberán visualizar estadísticas temporales y respecto de la ubicación de las situaciones detectadas, así como también presentar alertas cuando se registre estrés o cuando algún dispositivo no haya respondido al llamado general. En esta instancia, es indispensable priorizar la usabilidad y presentar los datos de forma intuitiva y accesible para optimizar la experiencia del usuario.

Por último, también será necesario incluir una pantalla donde se pueda visualizar el historial de situaciones de estrés, indicando la zona y el momento en el que ocurrió, así como también la duración

del evento, y donde se puedan incluir comentarios del usuario. Esto es de especial importancia a la hora de considerar la aplicación del producto en materia de auditorías y trazabilidad, para poder controlar el registro histórico.

13. Prueba de concepto

Con el diseño integral teórico planteado, se busca llevar algunos de los puntos a aplicaciones reales. Se busca definir, entonces, cuál sería el mejor de los micrófonos y hacer una grabación de gallinas en un galpón comercial armando un prototipo con una ESP32, filtrar y procesar las señales obtenidas y diseñar el posible modelo y pantallas del *software* que pueda presentar esta información.

13.1. Hardware

Previamente, se plantearon opciones para los distintos sensores de temperatura, humedad y amoníaco y los micrófonos. Con los sensores ambientales fue directo elegir qué opción sería la mejor por un análisis de sus especificaciones. Sin embargo, en el caso del micrófono fue necesario reducir las opciones y comprar dos para realizar pruebas.

A la hora de grabar con el micrófono MAX4466, se presentaron mayores complejidad y limitaciones. La ganancia en la salida depende de un ajuste manual a un amplificador variable con destornillador. Esto significa que llegado al caso de una instalación masiva, habría que ajustar cada micrófono, mientras que con el INMP441, la ganancia se ajusta en el *firmware*. Además, la conversión de analógico a digital se realiza con el ADC de la placa y no con uno propio del sistema, volviendo la resolución variable en función al ADC que pueda tener la placa a utilizar.

Al programar los micrófonos, se entendió que en ambos casos se debe alternar entre el momento de toma de señal y el de guardado en tarjeta de memoria. La diferencia está en que en el caso del micrófono MAX4466, la grabación tiene que ser controlada por la placa, ocupando mucho espacio en memoria, mientras que con el INMP441 esto sucede en el mismo micrófono, pudiendo guardar la grabación directo en la tarjeta de memoria conectada.

La diferencia de precio, finalmente, no parece ser la suficiente para que amerite elegir el MAX4466. Por ser un protocolo tan utilizado hoy en día, es recomendable utilizar el micrófono INMP441.

Una vez elegido el micrófono, se realizó un primer prototipo para la toma de audio relacionando la ESP32, un componente periférico para la micro SD y el INMP441. Se muestra el mismo en la imagen 36.

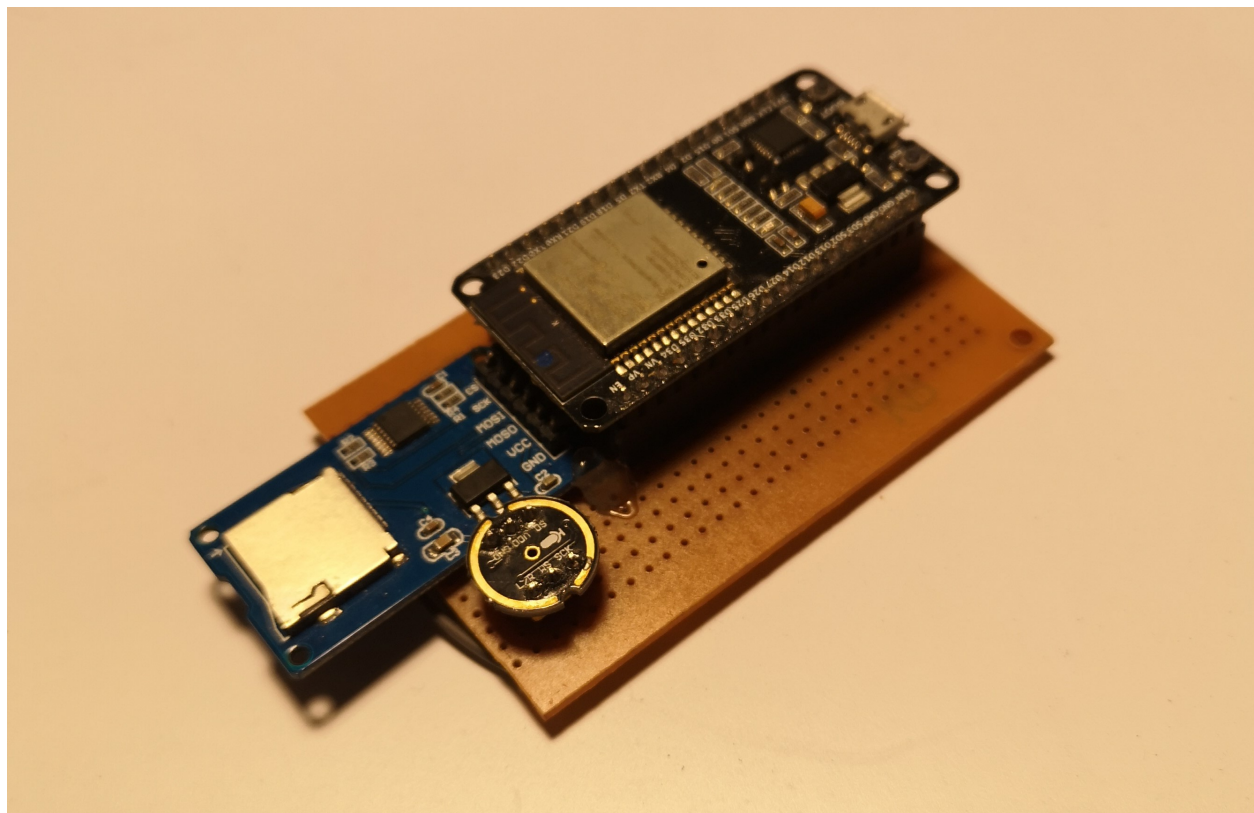


Figura 36: Prototipo para toma de señales.

Con este primer prototipo, se realizaron grabaciones en una granja dentro de un galpón comercial. En la granja *Avicoper* se eligió uno de sus galpones Zucami para realizar las grabaciones. Se puede observar la distribución de las gallinas dentro del galpón en las imágenes de la figura 37. Este es un galpón que tiene hoy 100.000 aves. El día de la grabación, las condiciones del galpón eran de 22,5°C de temperatura media y 57 %, de humedad como se muestra en la imagen tomada del medidor en la figura 38. Se colocó el prototipo en el suelo, lo más centrado posible en el pasillo tanto en ancho (de 2 metros) como en largo. Se tomaron entonces con un programa que grababa 1 minuto y se tomaba 15 segundos para asegurarse de guardar la señal en la tarjeta de memoria, 20 señales.



(a) Pasillo, ángulo central



(b) Pasillo, a la izquierda



(c) Pasillo, a la derecha

Figura 37: Imágenes de un pasillo en un galpón Zucami en la granja Avicoper.

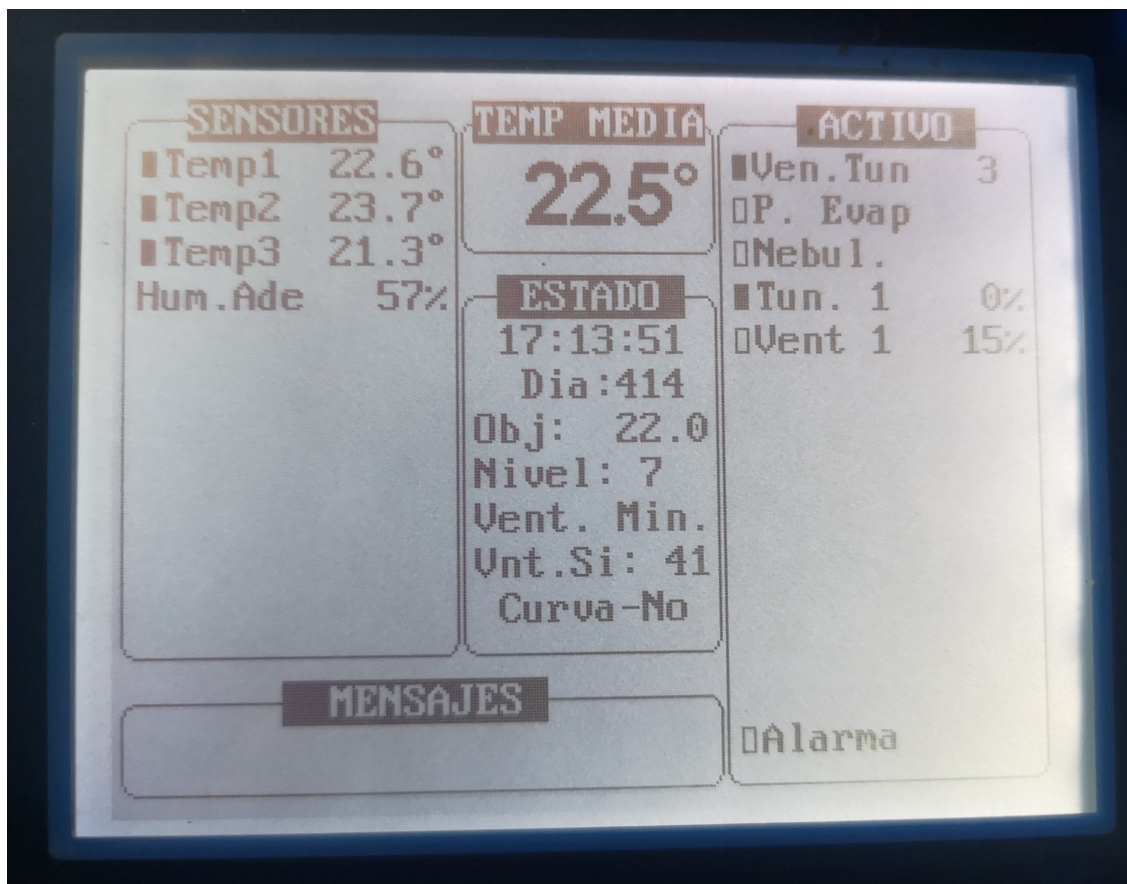


Figura 38: Imagen de PLC de recopilación de datos del galpón Zucami el día 20 de Febrero a las 17:13 hs..

13.2. Firmware: procesamiento de señales

Con estas 20 señales, se realizó un análisis en primera instancia manual de escucharlas todas buscando identificar eventos, para seleccionar 20 señales de 10 segundos que fuesen diversas en cantidad de graznidos de aves que se escuchan, cantidad de cacareo de base, ruido de aleteo o de movimientos en la jaula, incluso se incluye el paso del carro automático de comida. Entre estas señales, se seleccionaron dos como las que tenían la menor cantidad de sonidos de gallinas y la mayor cantidad de ruido. Entre ellas, se identificó como ruido a la señal en la que casi no se oyen gallinas y como ambiente a la que tiene leves cacareos sobre el ruido. Se presentan en el Anexo 16 los gráficos en tiempo de estas 20 señales utilizadas para el procesamiento y los espectrogramas de las mismas en el Anexo 17.1. La nomenclatura utilizada para las señales fue: *número de la señal original - comienzo en segundos del recorte - finalización en segundos del recorte*.

13.2.1. Filtrado de las señales

Como se mencionó previamente, era difícil definir teóricamente qué filtros se podían utilizar al tener señales reales. Al tener las grabaciones en la granja y haber tomado dos señales como ruido y ambiente, se busca primero analizarlas. Para esto se realiza el periodograma y el espectrograma de las mismas. Se muestra el periodograma en la figura 39 y el espectrograma se encuentra en el Anexo 17.1.

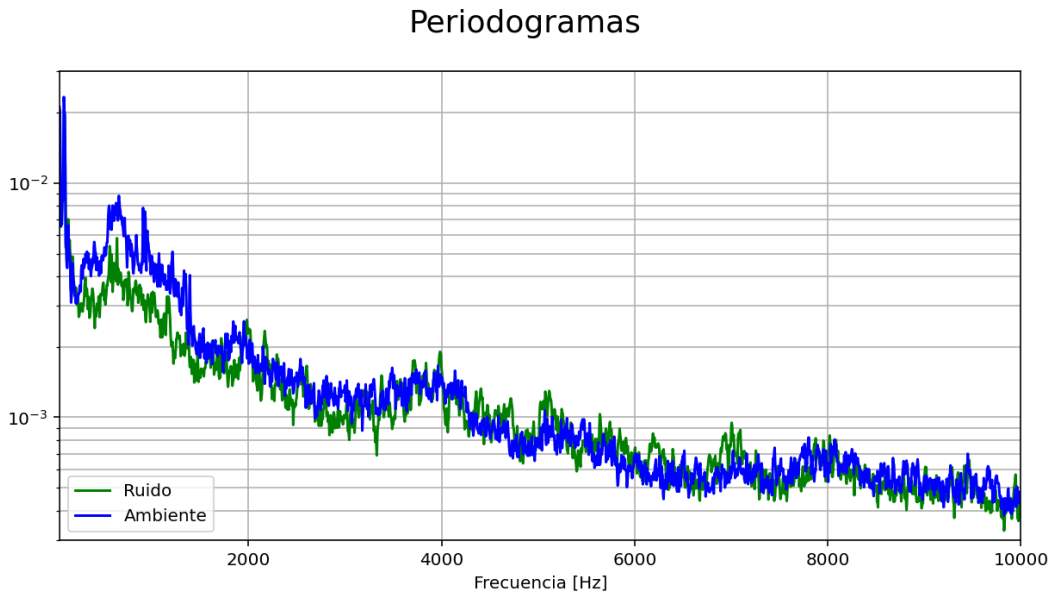


Figura 39: Periodograma de las señales ambiente (azul) y ruido (verde).

En el espectrograma, a simple vista, las señales parecen formarse por componentes similares y esto se confirma al analizar el periodograma que permite un análisis más profundo. La forma de las ondas es muy similar, sumando la señal de ambiente mayor intensidad en 1 kHz posiblemente relacionada con el mayor cacareo de las gallinas. De esta similitud y del hecho de que las gallinas nunca harán completo silencio, es que se considera la posibilidad de tomar la señal de ambiente como ruido base para el diseño de los filtros a aplicar en las demás señales.

Como primera opción de filtro buscando realzar los componentes de las gallinas, se diseña un filtro lineal en base a las características estadísticas de la señal de ruido ambiente. Se busca replicar el filtro que usa el programa *Audacity* [103]. Como primer paso, se realiza la Transformada de Fourier en Tiempo Reducido (STFT, por sus siglas en inglés) sobre la señal elegida como piso de ruido y se toma la amplitud del resultado en dB. Para definir la máscara de ruido que se restará bin

a bin, se utilizan el desvío y la media de la señal de ruido. El *threshold* o umbral para definir qué restar en función del ruido se define con la media sumada al desvío de la misma multiplicado por un parámetro elegido por el usuario. Se comparan en la figura 40 la forma de una máscara con el periodograma de la señal ambiente. Se puede ver la correlación entre la máscara y el periodograma en su forma: en la máscara se evidencia una mejor definición del periodograma sin el ruido.

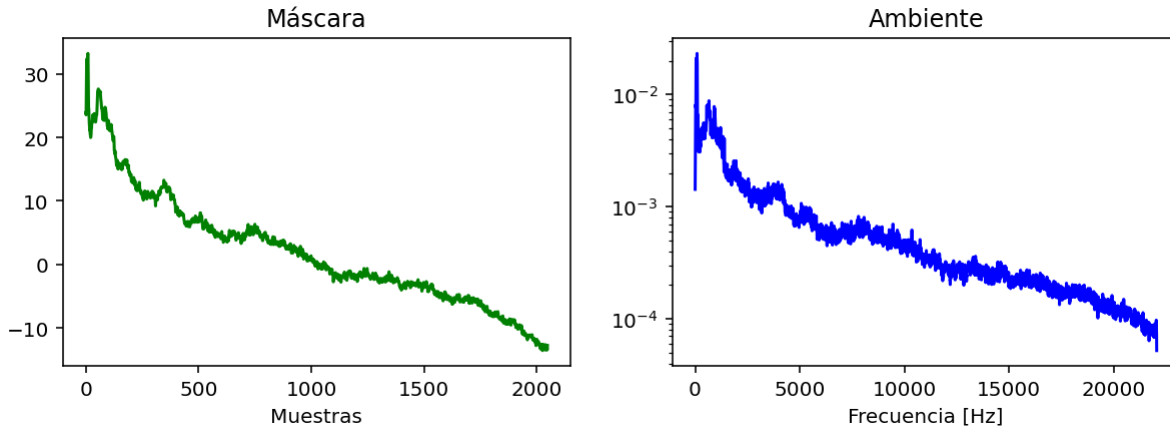


Figura 40: Comparación entre señal de ruido

Cuando se va a aplicar el filtro, se utilizan estos valores estadísticos junto con un parámetro de sensibilidad para construir la máscara a restar a cada señal. Se aplica luego un suavizado en tiempo para que la ganancia de cada ventana de tiempo se relacione con la siguiente y en frecuencia para asegurar que ninguna frecuencia se aumente o disminuya aislada. Se realiza entonces la resta entre la STFT de la señal a filtrar y la máscara seguida por la inversa de la transformada para recuperar la señal en tiempo. En este caso, los parámetros elegidos para el filtro fueron tomar una ventana de 50 milisegundos para la STFT para tener una buena resolución en tiempo con un overlap del 50 %, un multiplicador para el desvío de 1,5 y una sensibilidad de 0.75.

Utilizando este filtro, se arma un vector de todas las señales filtradas para luego extraer características. Se presentan en el anexo 17.2 los espectrogramas de las 18 señales filtradas para intentar realizar una comparación visual de la diferencia entre los audios. Se puede observar en el espectrograma que el filtro atenúa muchos componentes de frecuencia de la señal y lo más importante en todas las bandas de frecuencia. Parecen sólo estar en el espectrograma resultante los componentes que ya resaltaban al comparar los espectrogramas originales con el de ruido ambiente original. Esto puede ser muy útil para dar al clasificador sólo información relevante que sea distintiva entre señales.

Sin embargo, en el procesamiento para este filtro se requiere un gran esfuerzo computacional, al necesitar hacer la transformada de la señal, luego la correlación de la misma con la máscara para la suavización y la transformada inversa para recuperar la señal. La señal obtenida de resultado elimina el sonido de fondo al punto de parecer robótica, lo que lleva a pensar que un filtro de tanto poder puede ser un exceso.

Como segunda opción de filtro, se analiza un filtro determinístico y se utiliza el *Linear predictive filter*. El filtro se basa en buscar estimar una muestra $u(n)$ a partir de las M muestras anteriores. Este filtro cumple con el esquema presentado en la figura 41, donde se muestra la relación entre el filtro de predicción y el filtro del error de predicción siendo la salida $f_M(n)$ ruido blanco gaussiano. En palabras simples, el predictor del interior del esquema busca estimar como será la señal y luego con el filtro predictivo del error se busca justamente suprimir esta señal de las señales a filtrar.

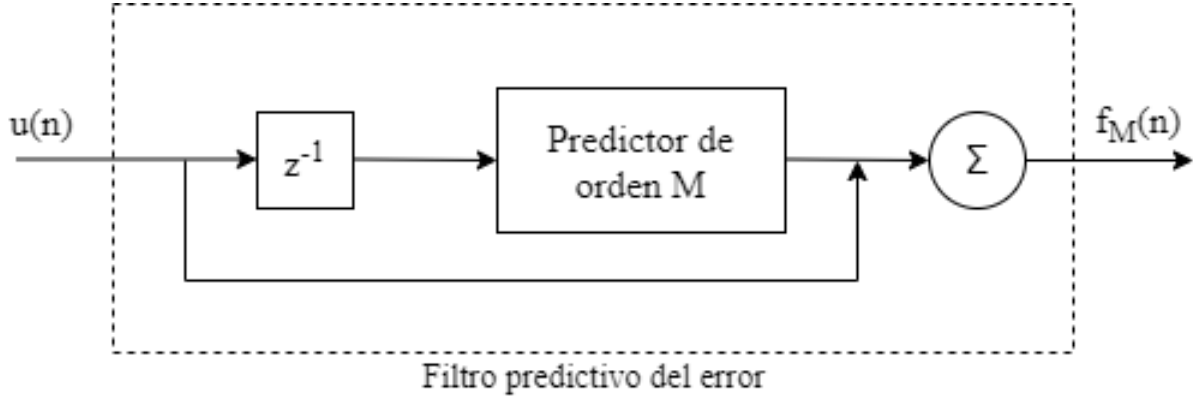


Figura 41: Relación entre filtro predictor y filtro de error de predicción en un *Linear predictive filter*.

Para encontrar los coeficientes del filtro hay que resolver las ecuaciones de Wiener-Hopf donde la matriz del filtro de Wiener perdió su última fila y columna y las matrices $\bar{h}$ y $\bar{r}$ su primer elemento. La matriz R se construye haciendo una matriz de Toeplitz con la autocorrelación de la señal de ruido y el vector $\bar{r}$ de correlación con la correlación de la señal con sí misma una muestra más tarde.

$$\begin{bmatrix} R_{[0]} & \dots & R_{[M-1]} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ R_{[M-1]} & \dots & R_{[0]} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{[1]} \\ \vdots \\ h_{[M]} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{[1]} \\ \vdots \\ R_{[M]} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Es fundamental en la aplicación de este filtro elegir correctamente la longitud del mismo (el valor de M) y luego validar a la salida tener ruido blanco gaussiano ($f_M(n)$). Para elegir la longitud del

filtro, se busca primero una primera matriz de autocorrelación de tamaño 128 y luego se la recorta de 1 a 128 para ver cómo sería la respuesta del filtro en cada caso. Al graficar la media del cuadrado del error de cada una de las opciones, se tratan de identificar los cambios relevantes en pendiente (pensando en minimizar el error) y los codos. Analizando el gráfico de la figura 42, se decide elegir un tamaño de 12 por minimizar el error en una cantidad suficiente a un costo computacional lo suficientemente bajo. Cabe destacar que por lo valores relevantes estar entre 1 y 20, se hizo un *zoom* a los mismos aunque originalmente se graficaron los 128.

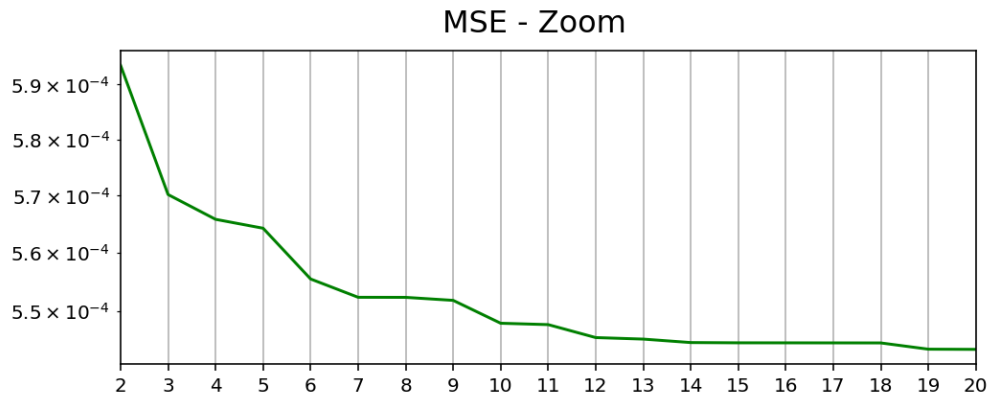


Figura 42: Media del cuadrado del error con distintos tamaños de matriz de autocorrelación. Se muestran los resultados para matrices de 1 a 20.

Esto se confirma aún más al comparar la respuesta del filtro predictor en la figura 43 y del filtro de error de predicción en la figura 44 a un impulso en frecuencia para distintos tamaños de matriz que se muestra en la figura . En el orden 1, el predictor no logra seguir la forma de la señal original que se veía en la figura 39 por no tomar muestras suficientes pero ya a partir de un orden 3 empieza a percibirse una similitud. Entre las respuestas para un orden 12 o 24 no se ve tanta diferencia y se identifican los picos presentes en la señal original. Recordando, la respuesta del filtro a utilizar sería el del filtro de error de predicción justamente buscando eliminar la señal predicha. Es interesante destacar, la forma de pasa altos del filtro, un tipo de filtro que se había identificado como necesario en el análisis preliminar.

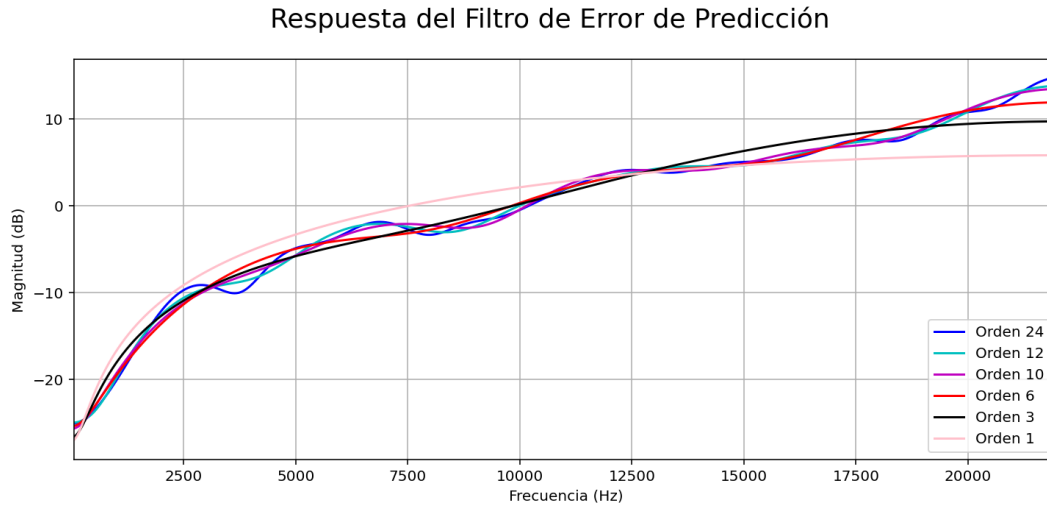


Figura 44: Respuesta del filtro de error de predicción tomando matrices de orden 1, 3, 6, 10, 12 y 24.

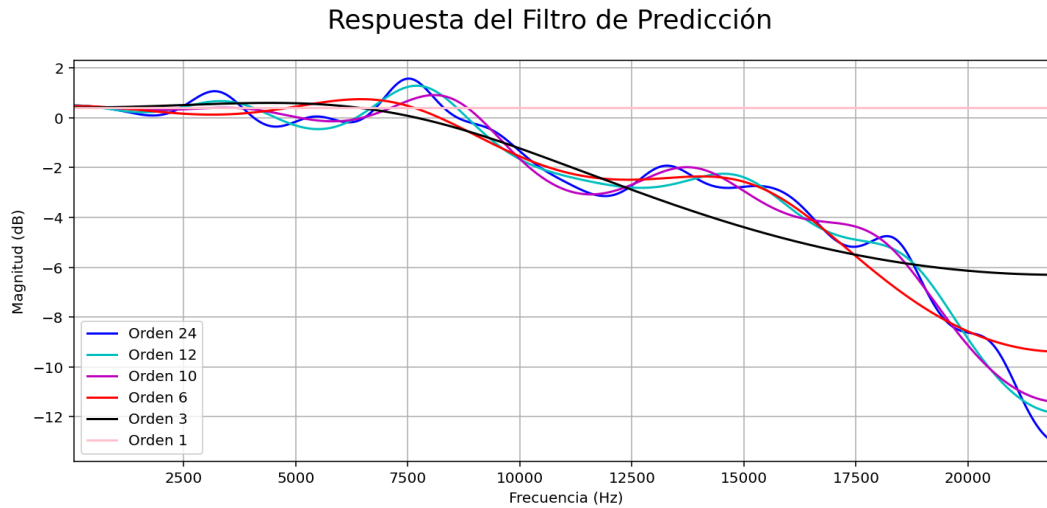


Figura 43: Respuesta del filtro de predicción tomando matrices de orden 1, 3, 6, 10, 12 y 24.

Nuevamente, se aplica el filtro a todas las señales para armar un vector. Para encontrar los valores ideales, se había realizado la matriz de autocorrelación y la resolución del algoritmo en forma manual, sin embargo ahora, se puede construir el mismo con la librería `librosa` de Python, con la función `lpc` indicando la señal a usar de ruido y el orden del filtro. Como se mencionó previamente, era importante verificar que el error del filtro sea ruido blanco con forma gaussiano lo que se pudo comprobar y se muestra un ejemplo en la figura 45.

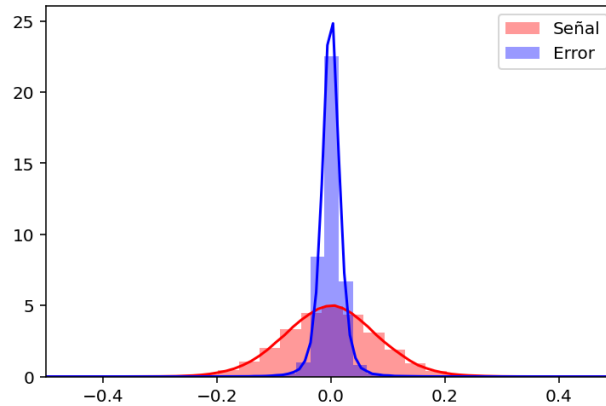


Figura 45: Comparación de la distribución de la señal original contra el error. Se observa la distribución gaussiana.

Se incluye también en el anexo 17.3 el espectrograma de todas las señales del vector para buscar hacer una comparación visual. Se puede observar cómo las mayores diferencias se encuentran en las frecuencias altas, lo que se relaciona con la respuesta del filtro al impulso. Es también claro cómo la respuesta del filtro anterior era mucho más notoria en el espectrograma. Sin embargo, al poder escuchar los audios antes y después, se notan realizados los sonidos de las gallinas. Esto lleva a pensar que un filtro de menor costo computacional y resultados lo suficientemente buenos, puede presentar un mejor equilibrio para procesar los audios que toman muchos dispositivos a la vez e incluso pueden ser procesados en los propios chips ESP32 de las mismas. Aunque se buscará confirmar esto al extraer características de las señales filtradas con ambas opciones, se considera en este punto mejor utilizar el filtro determinístico.

13.2.2. Extracción de características

En la sección 10.2, se plantearon opciones utilizadas en la bibliografía para extraer características de la señal a usarse como vector para el entrenamiento y luego clasificación de un *Support Vector Machine* y, como se definió, de estas opciones se aplicaron RMS, Energía, los primeros tres formantes y los valores para las señales en los coeficientes de Mel (MFCC) a las señales originales, con el filtro 1pc y con el filtro estadístico. Se construyeron para cada una de las 18 señales los vectores para el SVM en los tres casos.

Cabe destacar, que hasta no tener señales de muchos galpones en muchos escenarios distintos como los planteados en la sección 9.4, no puede tomarse una decisión exacta ni definitiva sobre cuáles

son las características ideales para este procesamiento. Sin embargo, se intenta hacer un juicio de valor cualitativo sobre el efecto que tuvieron los filtros en las características y su posible utilidad.

En el caso de los valores de RMS, energía y los formantes, se obtuvo el valor para la señal de 10 segundos. En el caso de la respuesta en cada uno de los coeficientes de Mel, el valor a sumar al vector no es tan directo. Al hacer la transformada con una ventana de 50 ms y un overlap del 50% se obtienen 401 valores para cada uno de los 32 coeficientes representando a la señal en sus 10 segundos. Se muestra un ejemplo del espectrograma obtenido para la señal **17_15_25** original y con los filtros en la figura 46 donde en el eje y se ubican los 32 coeficientes y en el eje x el tiempo. Se muestra entonces la amplitud para distintos instantes en el tiempo en cada uno de los coeficientes. Para tener un único valor por coeficiente en el vector del SVM, se realizó el promedio de las 401 muestras en tiempo para los 32 coeficientes.

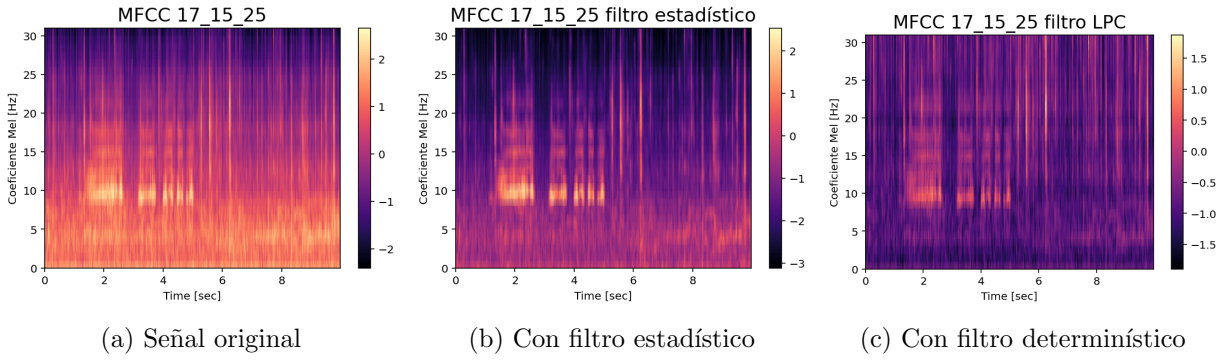
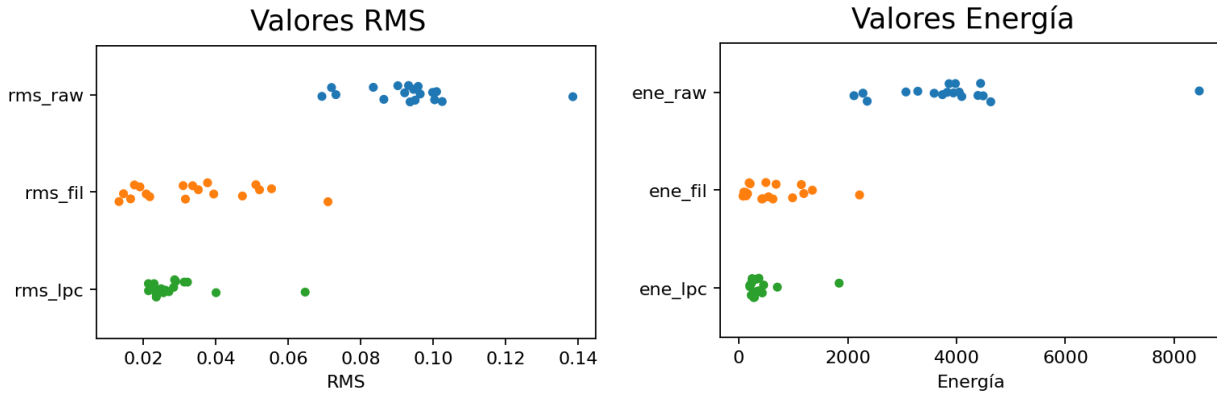


Figura 46: MFCC para la señal 17_15_25 original, con filtro estadístico y con filtro determinístico. Se tomaron los 10 segundos de señal y 32 coeficientes de Mel.

Se presentan a continuación los gráficos de las distribuciones de las características para las distintas señales en las tres condiciones desde la figura 47 a la figura 50. Siempre en azul se muestran las señales originales, en naranja filtradas con el filtro estadístico y en verde, por el determinístico. En el caso de los MFCC, tras observar las 32 distribuciones se encontraron similitudes entre las bajas, medias y altas frecuencias por lo que se seleccionó un coeficiente a modo de representación para cada uno. Analizando las mismas, se encuentran varios puntos interesantes a destacar.

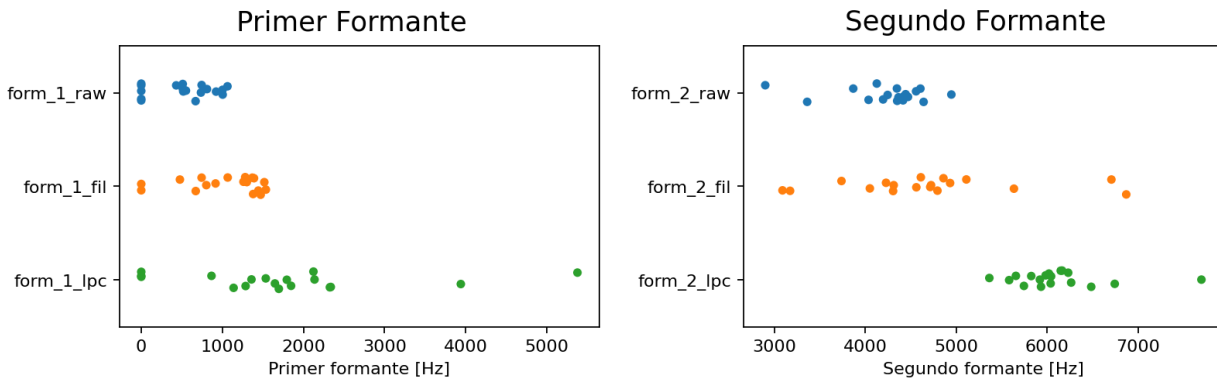
La primera conclusión es que el filtro LPC parece hacer un buen trabajo frente al filtro determinístico a pesar de su mayor ya que logra agrupar en energía, RMS y coeficientes de Mel las señales en situaciones similares. Sí queda evidenciada su clara falla en la extracción de formantes que relacionamos con estar aplicando LPC para sacar formantes a una señal filtrada previamente



(a) RMS para las 18 señales en los 3 vectores.

(b) Energía para las 18 señales en los 3 vectores..

Figura 47: En azul las señales sin filtrar, en naranja con el filtro estadístico y en verde con LPC.



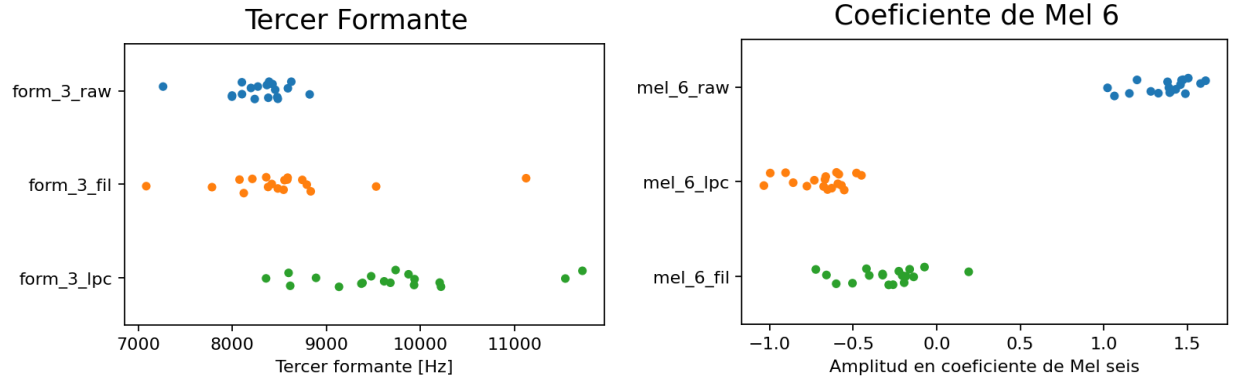
(a) Primera formante para las 18 señales en los 3 vectores.

(b) Segunda formante para las 18 señales en los 3 vectores.

Figura 48: En azul las señales sin filtrar, en naranja con el filtro estadístico y en verde con LPC.

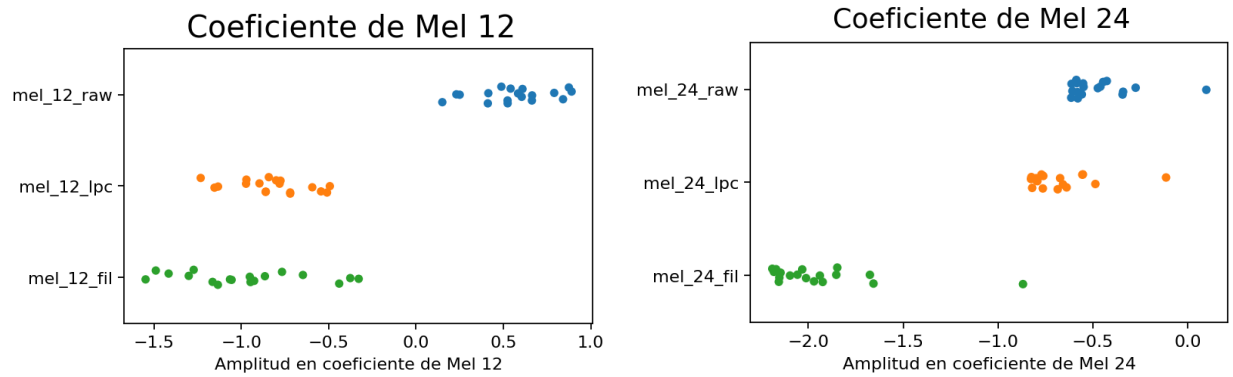
con LPC. Sin embargo, con el filtro estadístico tampoco parecen estar agrupadas las señales en iguales condiciones lo que lleva a pensar si no sería conveniente extraer los formantes en la señal original. Se cree que, para el caso de los formantes, no se puede decidir en este punto si son útiles o no para el análisis y se necesitará comparar con señales obtenidas en condición de estrés. Se deciden incorporar a este análisis los resultados para los coeficientes tres, ocho y trece como ejemplos de lo que pueden representar.

Se observa rápidamente que en los gráficos de RMS, energía y altos coeficientes de Mel hay un *outlier* o valor atípico. Se pudo identificar que el mismo se corresponde con la señal **7_5_15** que es justamente la señal donde pasa el carro automático de comida a alimentar las gallinas. Esto trae por un lado un ruido adicional del carro sumado a una reacción de las propias gallinas en



(a) Tercera formante para las 18 señales en los 3 vectores. (b) Promedio de amplitudes para el coeficiente de Mel número 6.

Figura 49: En azul las señales sin filtrar, en naranja con el filtro estadístico y en verde con LPC.



(a) Promedio de amplitudes para el coeficiente de Mel número 12. (b) Promedio de amplitudes para el coeficiente de Mel número 24.

Figura 50: En azul las señales sin filtrar, en naranja con el filtro estadístico y en verde con LPC.

respuesta al mismo. El punto positivo de trabajar con galpones automáticos es que el paso del carro de comida puede ser previsto y eliminado del análisis evitando tomar este acontecimiento inevitable, momentáneo y necesario como un momento de estrés que necesita ser alertado. Como los coeficientes más altos de Mel se corresponden con más altas frecuencias (que se alejan de las específicas del cacareo de las gallinas) es lógico que el *outlier* comience a aparecer en el octavo coeficiente y sea claramente identificable en el decimotercero donde las amplitudes ya son más bajas salvo para señales con acontecimientos repentinos que pueden destacarse.

Como se mencionó previamente, los coeficientes de Mel buscan imitar la percepción de las frecuencias del oído humano dando mayor resolución a las frecuencias bajas. Relacionando las frecuencias

originales con los MFCC, se identifica que en el coeficiente 6 se destacaría la frecuencia fundamental de 1000 Hz en el cacareo y se muestra su distribución en la figura 49b. Esto vuelve al mismo un coeficiente de gran interés para el clasificador. A su vez, relacionado con el outlier previamente identificado, encontramos como el valor de un alto coeficiente de Mel puede ser relevante para el SVM al ayudar a discernir si un alto valor en energía o RMS es por razón de las gallinas o por sonidos externos (como era en este caso). Es decir, usando también señales con sonidos como el del carro automático de comida para el entrenamiento, se vuelve más relevante la interrelación entre características. En el coeficiente de frecuencia intermedia de la figura 50a, se observa una distribución casi desprolija de los valores para cada señal y en las tres condiciones de señal lo que nos lleva a proponer tomar bajos y altos coeficientes mas no intermedios.

13.2.3. Support Vector Machine

Como se mencionó previamente, el objetivo del procesamiento es poder armar un vector de características lo suficientemente representativo para que sea la entrada a un SVM. Al no contar un data set con señales de ambas condiciones, no es posible en este primer análisis hacer la prueba de entrenar el clasificador. Sin embargo, para terminar de comprender su complejidad y en qué punto de la solución se lo procesaría, se intentó entender su complejidad y las opciones para desarrollarlo.

La etapa más costosa a la hora de implementar un SVM es su entrenamiento, es decir, la definición del hiperplano. La implementación para clasificación de vectores adicionales consiste solo en identificar de qué lado del hiperplano se encuentra la señal. Se entiende entonces que el entrenamiento es algo que tiene que realizarse separado de la implementación de la solución y luego la clasificación puede hacerse tanto en los dispositivos IoT en los galpones, en una reina que clasifique todos los vectores que recibe o en el servidor al recibir el vector de características por la API. La mejor decisión podrá tomarse cuando se realicen pruebas en una instalación real.

Se encontró entonces que es relativamente simple programar, entrenar y luego optimizar un SVM en Python utilizando `TensorFlow` para el desarrollo del mismo. Este sería un buen complemento para el sistema a la hora de probar con distintos tamaños de vector o distintas características en busca de su optimización sin necesidad de usar instalaciones extras a nuestras computadoras.

Se encontraron también opciones en Arduino y .NET Core para la implementación de SVM lo que indica que tanto la opción del desarrollo en las ESP como en el servidor son posibles. [104, 105]

13.3. Software

Por último, se realizaron los diseños preliminares de las pantallas principales de la WebApp: el panel de control o *dashboard*, la grilla de gestión de los dispositivos y el registro histórico de situaciones de estrés. El objetivo de los diseños es poder representar claramente cuál es la información que se quiere mostrar y que los potenciales usuarios puedan apreciar cómo sería la interfaz que es con lo que, en definitiva, ellos terminarán interactuando.

Como parte del proceso de diseño, se realizaron en una primera instancia *mocks* para tener esquemas de la organización dentro de las pantallas y, luego, se desarrollaron concretamente utilizando HTML, CSS y JavaScript, utilizando la maqueta de AdminWrap¹ e implementando Bootstrap.

En cuanto al procesamiento de *backend*, se desarrollaron a su vez diseños simples de las clases básicas a incluir en el modelo, y se insertaron datos ficticios en una base de datos generada en Microsoft SQL, que luego fueron recolectados y procesados en un controlador (uno para cada pantalla) dentro del proyecto MVC base, para ser enviados a la vista correspondiente.

Durante el proceso de maquetado, se fueron planteando distintas alternativas y se solicitó el *feedback* del entrevistado, Eduardo Peluffo, para que brinde su opinión, a partir de su experiencia, sobre cómo mostrar la información y cuáles son los elementos claves para maximizar la simpleza y usabilidad del sistema.

13.3.1. Panel de control

En las figuras 51 y 52 se muestran tres imágenes que contienen diferentes porciones de la pantalla del *dashboard* (cada una es continuación de la anterior). Al momento de armar este módulo se prestó especial atención a la usabilidad y la claridad de la información que se está representando.

En primer lugar, se tiene una sección de alertas con accesibilidad directa para el usuario donde se puede indicar la información de mayor urgencia como la presencia actual de dispositivos desconectados o detección instantánea de estrés en un galpón determinado, con colores que indiquen a simplemente vista la importancia o urgencia de la advertencia.

Luego, se presenta una sección de filtros para que el usuario pueda seleccionar sobre qué grupo se busca calcular la información estadística que se mostrará, con el objetivo de ofrecer un análisis más intensivo. Para esto, se le permite seleccionar el galpón, la zona (el alcance del dispositivo) y

¹2019 Admin Wrap Admin by themedesigner.in. Accedido en: <https://www.wrappixel.com/demos/admin-templates/admin-wrap/main/ui-dragable-portlet.html>. [Visitado: 15-May-2020]

el intervalo temporal (indicando fecha y hora de inicio y de fin) y, en base a estos parámetros, se va actualiza la información renderizada a continuación; en caso de que no se ingrese ninguna entrada, se mostrará toda la información sin filtrar.

A esto le sigue una serie de tarjetas donde se pueden apreciar a simple vista datos generales dentro del período y el espacio seleccionados: cantidad de situaciones de estrés detectadas, duración promedio de las mismas y la cantidad de dispositivos conectados. Las flechas que acompañan a los números informan sobre el sentido de la evolución respecto del período anterior.

A continuación, se incluyen gráficos y tablas que expanden los datos para permitir un análisis exhaustivo. Primero, se presenta un gráfico de líneas con múltiples series que exhibe la cantidad de situaciones de estrés a lo largo del período considerado. La información del mismo se adapta en base al filtrado: en caso de estar mostrando todos los galpones, cada serie representa un galpón; en caso de filtrar por un galpón, cada serie representa una línea del mismo y, en caso de filtrar por una zona en particular, se representará una única línea; en cuanto al eje de abscisas, también debe adaptarse al período seleccionado. A su derecha, se incluyen gráficos de anillos que se refieren al estado de conectividad de los dispositivos y las placas reinas.

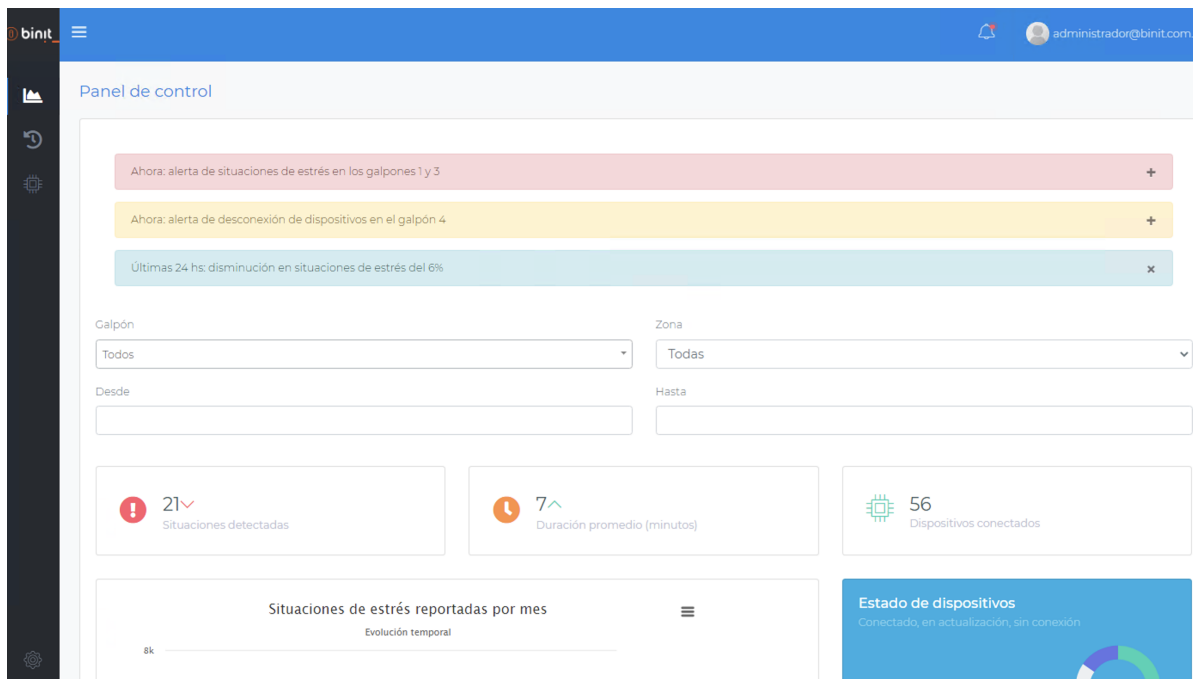


Figura 51: Diseño preliminar de la pantalla del panel de control (a)

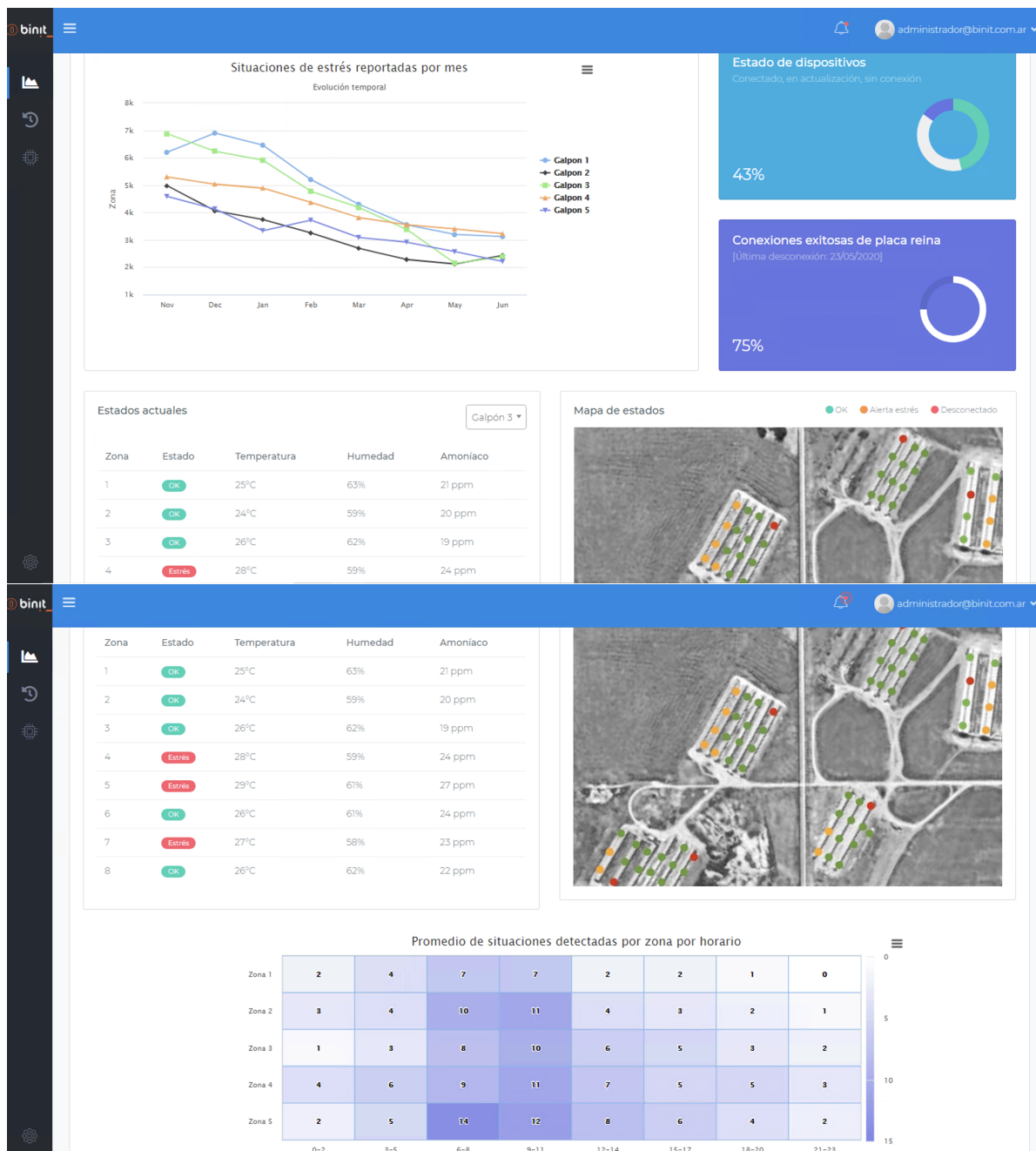


Figura 52: Diseño preliminar de la pantalla del panel de control (b y c)

Debajo, se muestra a la izquierda una tabla con el estado actual de cada dispositivo identificado por la zona que cubre, indicando el estado detectado a partir del procesamiento sonoro y las mediciones registradas en los sensores en cuanto a temperatura, humedad y nivel de amoníaco. A su lado, se muestra un mapa que esquematiza geográficamente el estado de cada dispositivo

(considerando estado normal, estrés o desconexión del dispositivo), que es fácilmente construido teniendo una imagen satelital estática del predio y combinándola con la ubicación registrada para cada dispositivo.

Por último, se muestra un mapa de calor para discriminar la cantidad de situaciones detectadas según la zona o galpón (dependiendo del filtro aplicado) y el horario del día, a modo de brindar la posibilidad de identificar tendencias en este sentido.

En la barra superior se incluyó un botón que despliega un menú de notificaciones donde se incluyen nuevamente las alertas con acceso directo a su detalle; esto está disponible en cada una de las pantallas del sistema y presenta una luz titilante para llamar la atención del administrador en caso de detectar alguna anormalidad.

13.3.2. Historial de situaciones de estrés

Desde la barra lateral (que se puede expandir o minimizar, como se muestra en las maquetas), también es posible acceder a las otras dos pantallas: el historial de situaciones de estrés y la gestión de dispositivos.

La pantalla de registros históricos de situaciones detectadas resulta de particular relevancia a la hora de considerar aplicaciones en auditoría y trazabilidad, para la misma empresa o para presentar a certificadoras o clientes. En la figura 53 se muestra un diseño de la misma, donde se incluyen datos estadísticos replicando las tarjetas que se presentaron en el panel de control, donde se indican la cantidad y duración promedio de las situaciones registradas, acompañados con un desglose de cada situación incluida en una grilla. Nuevamente, se trabaja con la premisa de garantizar la usabilidad, ofreciendo una serie de filtros que permiten una mirada focalizada sobre los datos.

La grilla contiene, para cada situación de estrés detectada, el horario y fecha en la que inició, el galpón y la zona y la duración. Esta tabla de Datatables¹ es ordenable por cada una de sus columnas e incluye un filtro de texto por el contenido de las celdas; a su vez, permite exportar la información en diversos formatos. Se trata de una grilla *server-side*, lo que implica que se presenta la información paginada realizando un llamado al servidor en cada paso de página; esto provoca un impacto positivo sobre la *performance* (o rendimiento) del sistema ya que se evita buscar todos los registros en un único llamado.

¹Datatables by SpryMedia Ltd. Disponible en: <https://datatables.net> [Visitado: 15-May-2020]

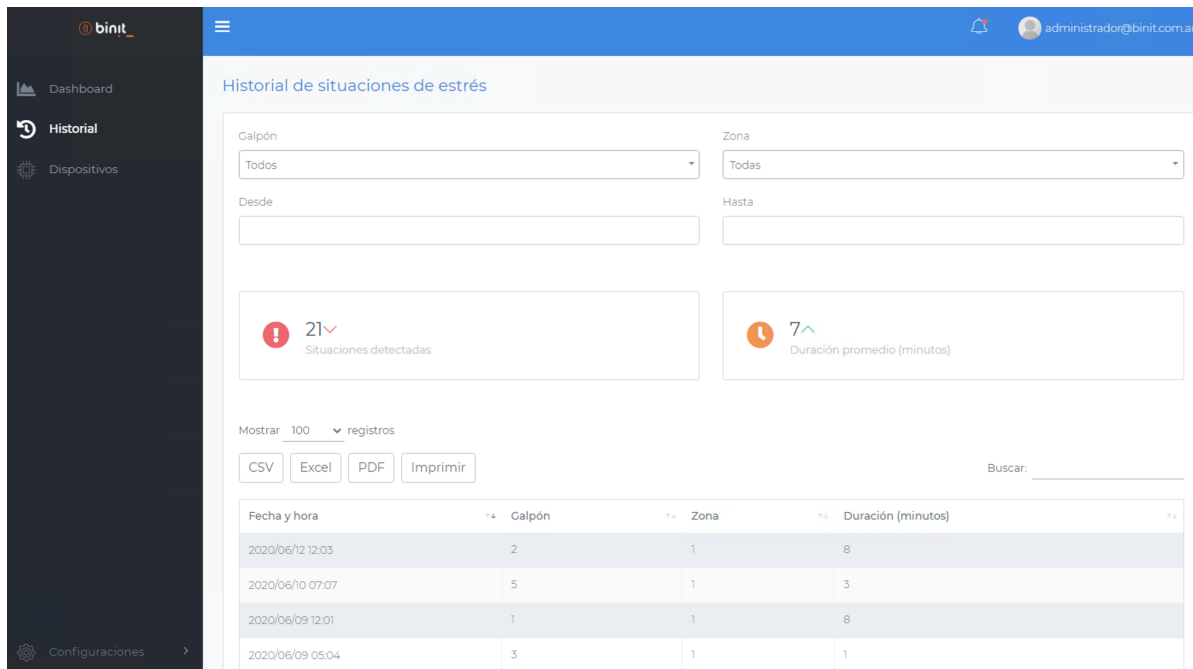


Figura 53: Diseño preliminar de la pantalla de registro histórico de situaciones de estrés

13.3.3. Gestión de los dispositivos

El último botón de la barra lateral brinda el acceso al menú de gestión de dispositivos, cuyo diseño preliminar se muestra en la figura 54.

La misma muestra una estructura similar a la pantalla anterior: una sección de filtros (que agrega un filtro por tipo de dispositivo y estado actual), una sección de tarjetas y una grilla de Datatables. Las tarjetas contienen estadísticas rápidas sobre la cantidad y la conectividad del *hardware* instalado: la cantidad total, la cantidad conectada y el porcentaje de conexiones exitosas con el servidor.

Aparece, sin embargo, un elemento nuevo en la esquina superior derecha de esta pantalla: un botón que redirige a la pantalla de creación. En esta, se le solicita al usuario la información del dispositivo que desea dar de alta a través de un formulario de HTML que ejecuta un método POST para generar un nuevo registro en la base de datos.

Los dispositivos que hayan sido cargados se listan en la grilla, donde se muestra la información básica e identificatoria de cada uno: el número o código del dispositivo, su tipo, su ubicación (en galpón y zona, si corresponde) y su estado (indicado por señales verdes o rojas según si está conectado o no). Además, se incluye una columna de acciones desde donde se puede acceder a otras pantallas.

En la pantalla de detalle, se expone la información completa de cada dispositivo, incluyendo,

por ejemplo, la ubicación exacta del mismo utilizando coordenadas, datos técnicos, fechas de alta, actualización y mantenimiento, y estadísticas de conexión/desconexión. Estos datos pueden haber sido ingresados manualmente por el usuario desde las pantallas de creación o edición o generadas a partir de los llamados desde el servidor.

Por otro lado, se tiene una pantalla de edición desde donde se puedan modificar ciertos atributos del mismo, como pueden ser su ubicación o fechas de mantenimiento. Por último, desde el botón de “Desactivar” de la grilla, se puede remover el dispositivo del registro de la instalación.

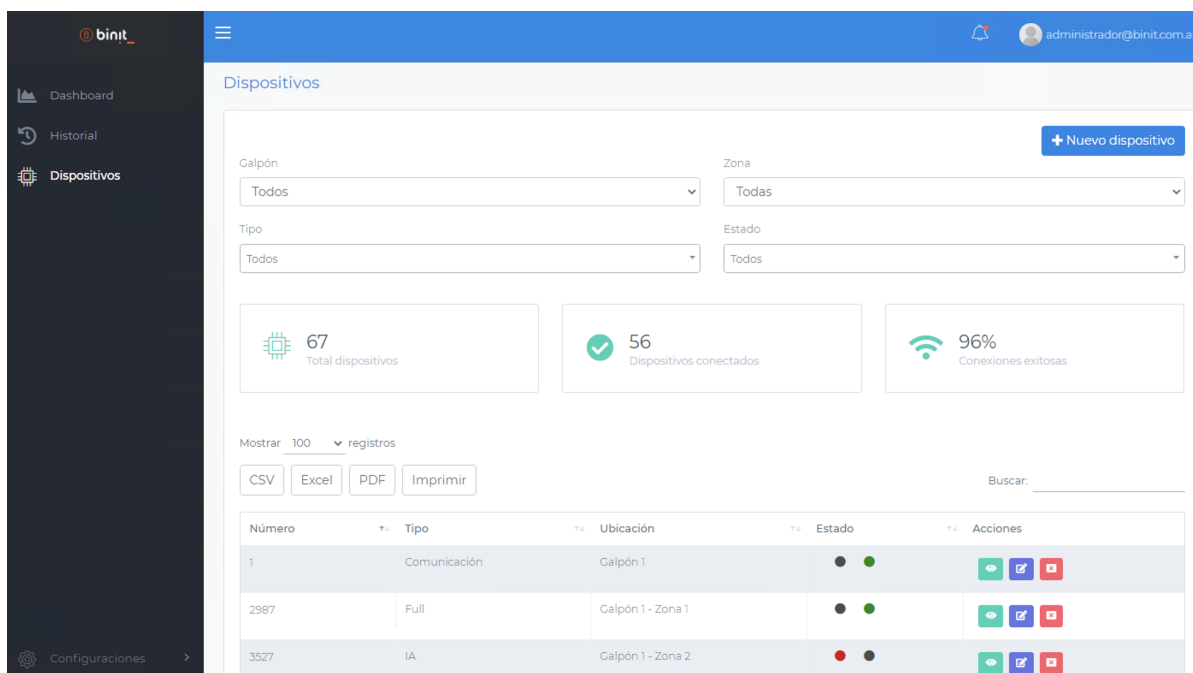


Figura 54: Diseño preliminar de la pantalla de gestión de dispositivos instalados

14. Estudio de costos

Para el análisis de costos, se definieron los distintos dispositivos que intervendrían en los cuatro escenarios presentados en la sección 11.2. Se presentan todos los dispositivos con sus respectivos costos en la tabla 4.

Id	Nombre	Descripción	Costo
IoT_Full	Dispositivo all-in-one	Dispositivo que muestrea NH3 + Temperatura + Humedad + IA Detección Cacareo	USD 35
IoT_IA	Dispositivo IA	Dispositivo con IA para identificación de stress por análisis de cacareo	USD 10
IoT_Wi-Fi_Comm	Dispositivo de Comunicaciones	Dispositivo que recibe, persiste y retransmite información	USD 10
AP_Wifi	Wi-fi Access Point	Access point	USD 80
IoT_Full_LoRA	Dispositivo all-in-one LoRA	Dispositivo que muestrea NH3 + Temperatura + Humedad + IA Detección Cacareo con comunicación LoRA	USD 50
IoT_IA_LoRA	Dispositivo IA LoRA	Dispositivo con IA para identificación de stress por análisis de cacareo con comunicación LoRA	USD 28
IoT_LoRA_Comm	Dispositivo de Comunicaciones	Dispositivo que recibe, persiste y retransmite información	USD 27
Gateway_LoRA	LoRA Gateway	Receptor de señal LoRa	USD 120
Wi-Fi_PTP	Wi-fi Point-to-Point	Antena que permite la conexión punto a punto	USD 80
Wi-Fi_Repeater	Repetidor Wi-fi	Repetidor de señal de red para dentro del galpón	USD 35
Server	Application Server	Servidor de storage y presentación de datos	USD 450

Cuadro 4: Presentación de los dispositivos necesarios para las distintas versiones de implementación. El costo se construye a partir de los distintos elementos que los componen y del análisis de mercado.

Se armó en referencia a toda la información previamente presentada a lo largo del trabajo, la

definición de los dispositivos necesarios (y en qué cantidad) en los cuatro escenarios. Se tomó un radio de alcance para los dispositivos capaces de detección de estrés (referenciados como dispositivos IA) de 5 metros, teniendo en cuenta la posición ideal para los micrófonos y el contagio del estrés planteado, una distancia de cobertura para los AP de 50 metros, un largo y ancho de galpón fijos de 140 y 20 metros respectivamente, un costo aproximado de instalación por dispositivo de USD 10 y por antena de USD 75. Con estas constantes combinadas con la tabla 4 se pudieron tomar como variables la cantidad de galpones en la granja y el porcentaje de cobertura (de gallinas muestreadas) dentro de los mismos para estimar los costos en cada caso. Se muestra un ejemplo del análisis realizado en la figura 55 para una granja simulada de ocho galpones con una cobertura del 50 %. Se observa como la opción híbrida es la que más se separa en precio de la opción con pura instalación WiFi (siendo ésta la más cara).

Equipamiento	Wifi		Mesh		LoRA		Hibrido	
	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
IoT_Full	24	USD 840	24	USD 840		USD 0	24	USD 840
IoT_IA	120	USD 1,200	120	USD 1,200		USD 0	120	USD 1,200
IoT_Wi-Fi_Comm		USD 0	1	USD 10		USD 0		USD 0
AP_Wifi	8	USD 640	8	USD 640		USD 0		USD 0
Wi-Fi_Repeater	16	USD 560		USD 0		USD 0		USD 0
IoT_Full_LoRA		USD 0		USD 0	24	USD 1,200		USD 0
IoT_IA_LoRA		USD 0		USD 0	120	USD 3,360		USD 0
IoT_LoRA_Comm		USD 0		USD 0		USD 0	8	USD 216
Gateway_LoRA		USD 0		USD 0	1	USD 120	1	USD 120
Wi-Fi_PTP	9	USD 720	9	USD 720		USD 0		USD 0
Instalación		USD 2,355		USD 2,205		USD 1,450		USD 1,530
Server	1	USD 450	1	USD 450	1	USD 450	1	USD 450
Total	178	USD 6,765	163	USD 6,065	146	USD 6,580	154	USD 4,356
Comparación con Wi-fi				-10%		-3%		-36%

Figura 55: Ejemplo de análisis de costos para las cuatro opciones de instalación con una cobertura de un 50 % y una granja con 8 galpones.

Se busca a su vez, observar gráficamente cómo varía el costo para las cuatro formas de instalación en función a la cantidad de galpones de tres a veinte y a la cobertura (se toma 40 %, 60 %, 80 % y 100 % para el análisis). Se muestra esto en las figuras 56 y 57

Es clara la relación lineal que hay entre ambas variables y el costo, por tener siempre a mayor cantidad de galpones mayor cantidad de dispositivos y por alcanzar mayor cobertura con aumentar

la cantidad de dispositivos dentro del galpón. En este sentido, es interesante observar la pendiente de la curva de LoRa al variar la cobertura, siendo este el caso en el que los dispositivos dentro del galpón son los más caros. Parecería entonces, que si se quiere asegurar mayor cobertura, LoRa podría exceder los objetivos de costos. El híbrido parece en ambos casos la mejor opción, permitiendo una escalabilidad con una pendiente suave y siempre a menores costos que las demás.

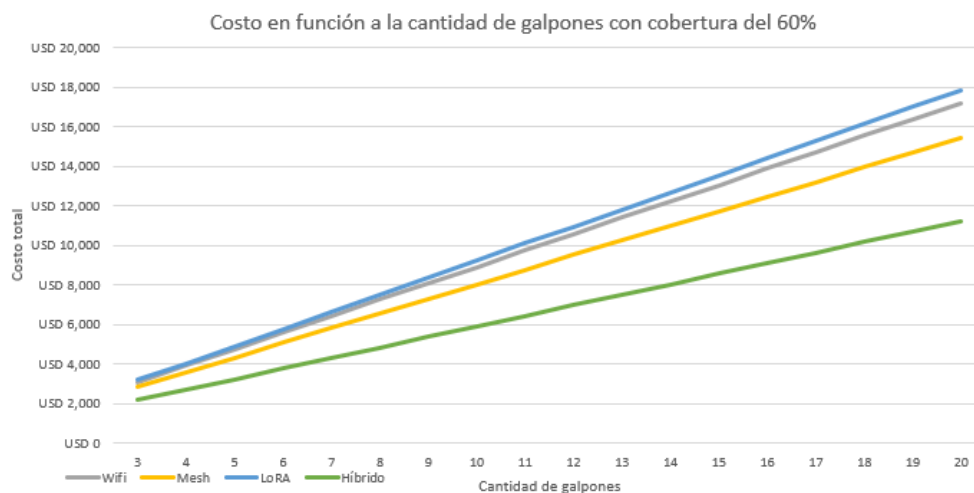


Figura 56: Variación de costo en función a la cantidad de galpones en la granja de tres a veinte para una cobertura del 60 %.

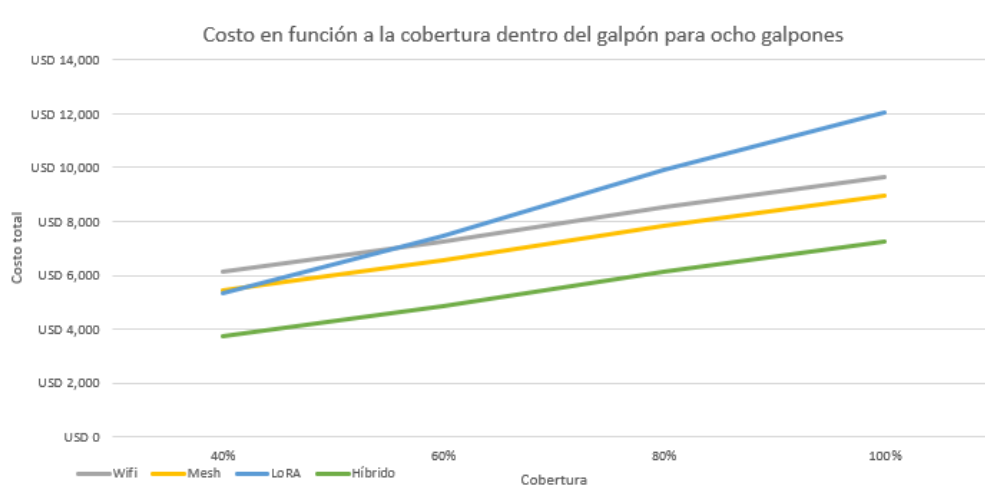


Figura 57: Variación de costo en función a la cobertura de 40 a 100 % para una granja con ocho galpones.

Los costos presentados consideran el hardware y la instalación de dispositivos, no contemplan las

horas de desarrollo y ensayos necesarios para llegar a este objetivo. Sin embargo, para una cobertura del 50 % teniendo 8 galpones en la instalación, se está obteniendo un costo aproximado de USD 600 por galpón para el híbrido, multiplicando esto en un 100 % para incluir costos adicionales, hablamos de USD 1200 algo que, para el costo que puede llegar a tener un galpón comercial y teniendo en cuenta que podría monitorear 100.000 gallinas a la vez, parece un número más que razonable. Se podría incluso pensar un esquema de contrato con mantenimiento mensual generando un plan de pago para la instalación de cada galpón y soporte en los distintos componentes de la solución.

15. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del presente trabajo se pudo alcanzar el objetivo de validar la idea de identificar el estrés en aves con procesamiento *on-the-edge* en forma costo-beneficiosa, así como también plantear alternativas de implementación para cada componente del dispositivo. El análisis llevado a cabo constituye una base sólida sobre la cual construir la aplicación real, quitando un gran porcentaje de la incertidumbre que significa emprender un proyecto con estas características.

La factibilidad técnica se puede evaluar desde los diferentes módulos presentados. Por un lado, se logró definir el componente de *hardware* a partir de diferentes sensores y microcontroladores disponibles en el mercado que se pueden combinar para se adapte a las necesidades de tanto la adquisición como el procesamiento de señales de cacareo.

Respecto del módulo del bloque de *firmware*, se propusieron filtros y características a extraer de las señales que, en esta primera aproximación, también presentaron resultados alentadores, aunque limitados por el tamaño del *dataset*. Las aplicaciones de los algoritmos de filtrado y extracción de características sobre las señales adquiridas permitió evaluar la primera propuesta satisfactoriamente, pero será necesario recolectar un mayor número de muestras para probablemente corregirlos y, sobre todo, entrenar al clasificador. Respecto de la escalabilidad del proyecto en este aspecto, se realizó un filtrado adaptativo para que el sistema sea implementable en distintos ambientes, sin necesidad de redefinir los algoritmos para cada galpón, sólo requiriendo una calibración para cada base de ruido. Para el *Support Vector Machine*, también se presentaron alternativas disponibles, pero es necesario poder contar con un grupo de entrenamiento y otro de prueba para validarlo.

Así, los problemas de ética animal resultan ser la mayor limitación en esta instancia. Si efectivamente se continúa con el desarrollo del dispositivo, será necesario contar con granjas aliadas a quienes entregarles prototipos de grabación para obtener una mayor cantidad de muestras y emular las condiciones de adquisición reales en diversas situaciones. En ningún momento de la implementación se podrá ni buscará generar situaciones de estrés en las gallinas, pero sí serán de especial importancia las señales obtenidas durante situaciones distintas a la base, como pueden ser la vacunación, administración de alimento o antibióticos, intervención humana, traslado de lote de gallinas, etapa de replume, entre otras, que generan estrés por sí mismas.

En cuanto a la escalabilidad del proyecto, también se identificaron distintos puntos sobre los que se podría explorar luego de realizar la implementación para expandir el alcance planteado original-

mente. Por un lado, se puede evaluar la complejidad de instalar el dispositivo en establecimientos de distintos tipos productivos, como pueden ser los galpones tradicionales o, tal vez, en campos de gallinas libres de jaulas. A su vez, podría plantearse la aplicación para otras especies animales: primero en pollos de engorde y luego podrían considerarse también pavos, cerdos y ganado, para comenzar.

Por otro lado, resta además definir si es posible entrenar el *Support Vector Machine* previamente en un servidor y que en los dispositivos sólo se ejecute la clasificación. Asimismo, la propia definición de este módulo podría ser reconsiderada, en una siguiente etapa, para pasar de un clasificador binario (estrés / no estrés) a lograr agrupar las características en diferentes clases para así poder distinguir entre distintos tipos de estrés para identificar sus causas, probablemente mediante la concatenación jerárquica de una serie de SVMs binarios.

A su vez, se determinó la factibilidad de la instalación del dispositivo en zonas rurales presentando distintas alternativas que impactan de formas diferentes sobre el costo del producto final. La evaluación de costos exhibió valores razonables considerando el tamaño de la industria del huevo. Por ejemplo, un galpón Zucami requiere una inversión aproximada de USD 250 mil y para instalar el producto con una cobertura del 80 %, una granja de tres galpones requeriría una inversión de un orden de magnitud de USD 790 (con comunicación híbrida) por galpón que, estimando 100 mil gallinas por galpón, resultaría en un costo de 0,9 centavos de dólar por gallina, pero el producto se mantiene aún con el cambio de lote. Para el caso de diez galpones con misma cobertura, el costo por galpón sería de USD 750 y por gallina, de 0,75 centavos de dólar. A esto cuesta sumarle otros factores como la mano de obra, el costo de desarrollo y traslado pero, *a priori*, se puede ver que los costos no son desbordantes.

De todas formas, no resultará sencillo entrar en el mercado y es necesario reconocer que, si bien la inversión en proporción parece pequeña, sigue representando un monto significativo. Por esto, se planteó la posibilidad de ofrecer un plan de contrato que consista de un cobro inicial por instalación y luego una tarifa de mantenimiento mensual, acompañado con un servicio de acompañamiento al usuario y garantía. Es importante recordar que este producto busca reducir la mortalidad y la necesidad de antibióticos y aumentar la postura, lo que se puede traducir directamente en un aumento de la rentabilidad, o bien, de la competitividad. Además, brinda al huevo producido un valor agregado por las consideraciones de bienestar animal, volviéndolo atractivo para un segmento cada vez mayor de los consumidores.

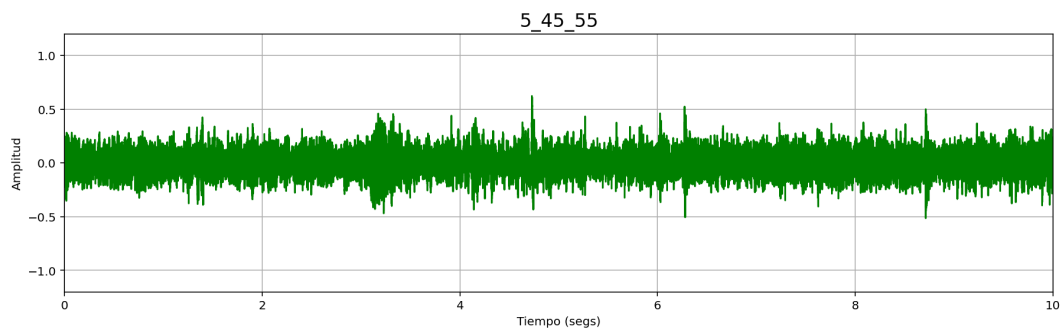
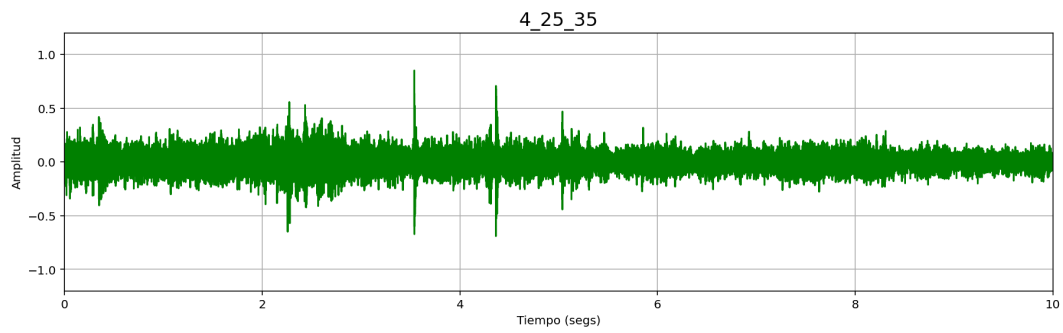
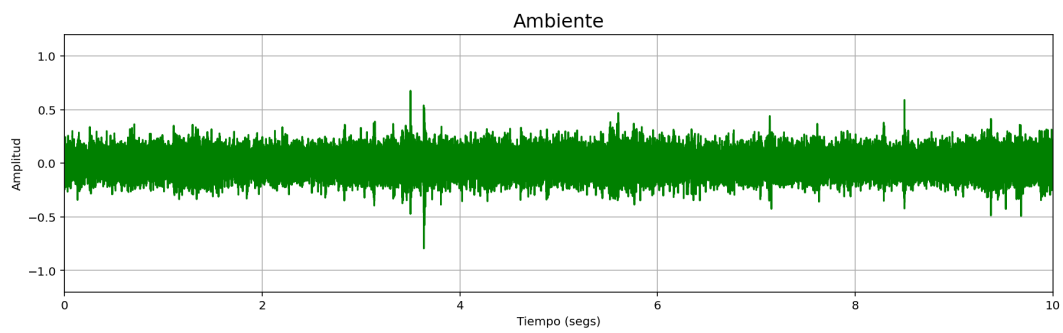
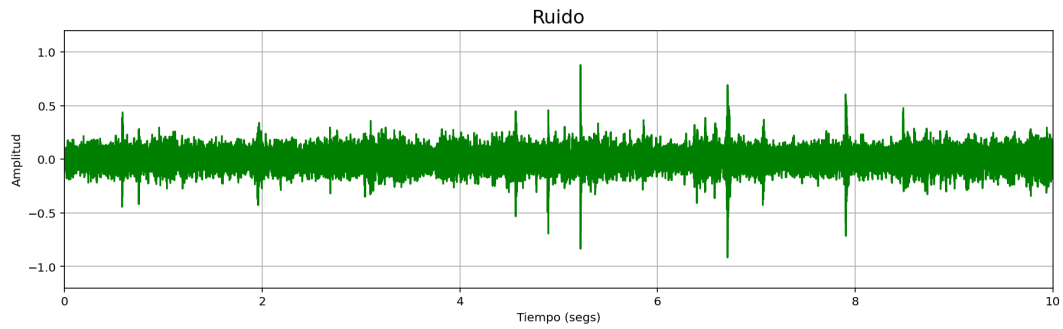
Como se vio en el análisis de *stakeholders*, los productores conforman el grupo más afectado directamente, pero este no es el único. La identificación de los roles de las empresas clientes, los consumidores finales, las cámaras de avicultura y las empresas certificadores permite notar la gran potencialidad de impacto positivo, satisfaciendo un gran número de necesidades y hallando múltiples canales de entrada al mercado. Las tendencias en conciencia en la alimentación, bienestar animal y sustentabilidad por parte de los consumidores se combinan con la necesidad de lograr una mayor competitividad por parte del productor para potenciar al presente proyecto. No es menor también resaltar que esto presenta también un impacto positivo para las propias gallinas, ya que el objetivo es poder detectar las situaciones de estrés para poder, en principio, corregirlas y luego tomar medidas preventivas para evitarlo, por lo que se busca mejorar su calidad de vida y optimizar su bienestar.

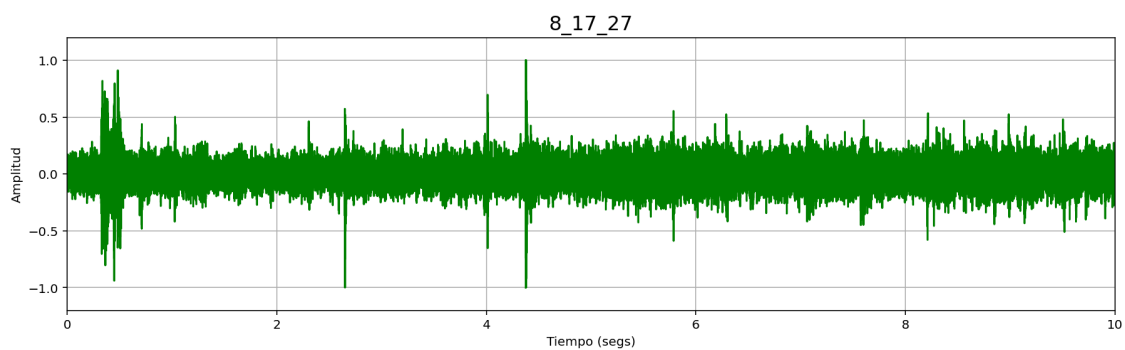
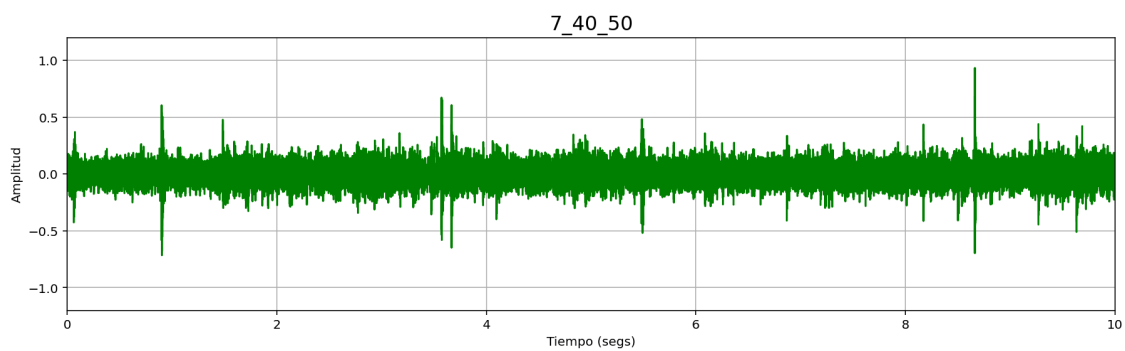
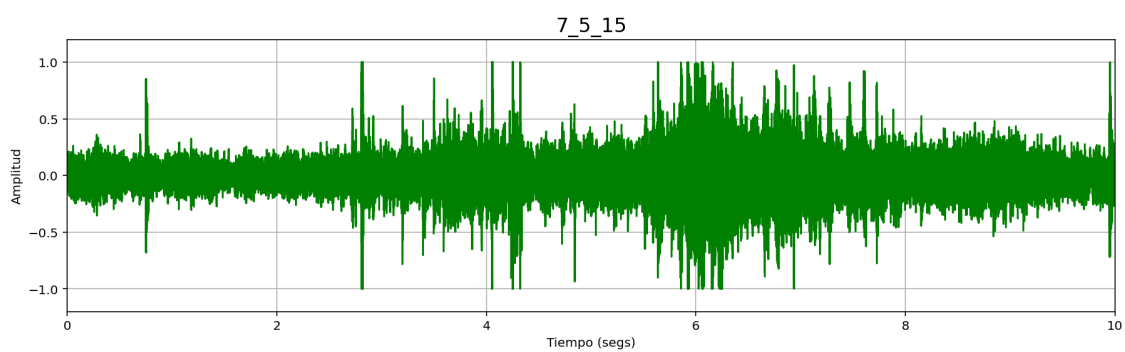
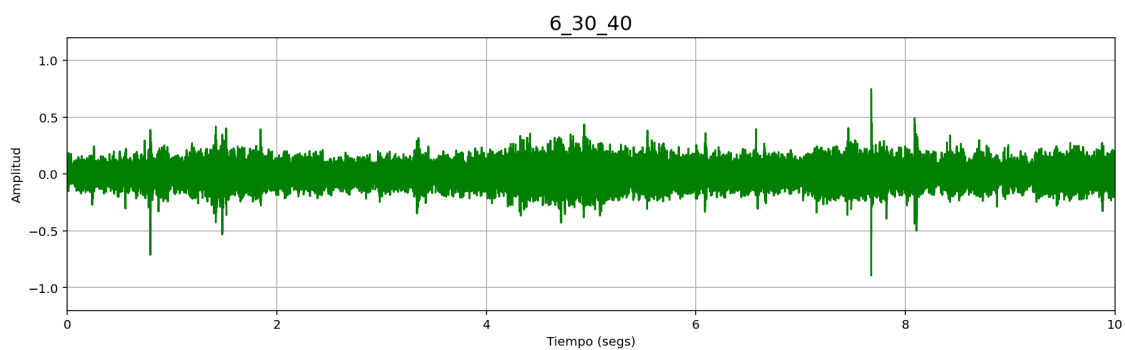
Se presenta un producto de vanguardia en varios aspectos: se adapta a las tendencias actuales y crecientes, significa una gran innovación que beneficia al productor a través de beneficios directos al propio animal, es sustentable y sirve como herramienta para la “avicultura de precisión” que promulga la CAPIA. Así, puede ser un elemento clave para lograr una mayor producción de huevo y poder sumar a atacar la demanda alimentaria nacional y mundial con este elemento de tan buen aporte nutricional.

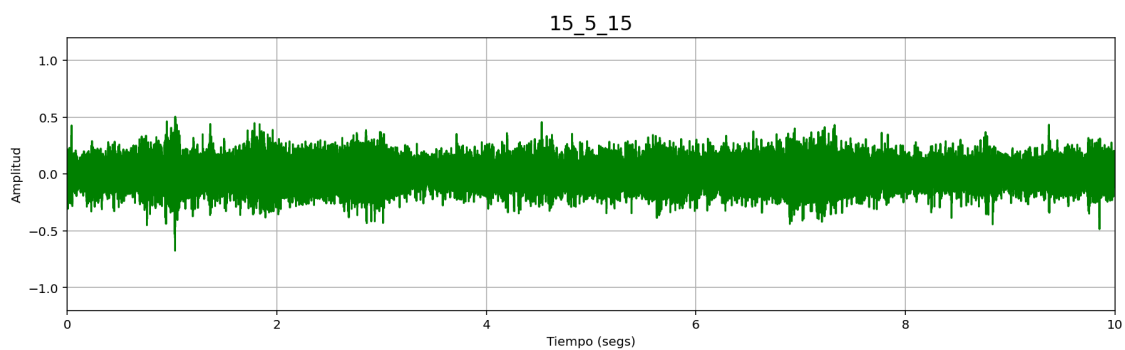
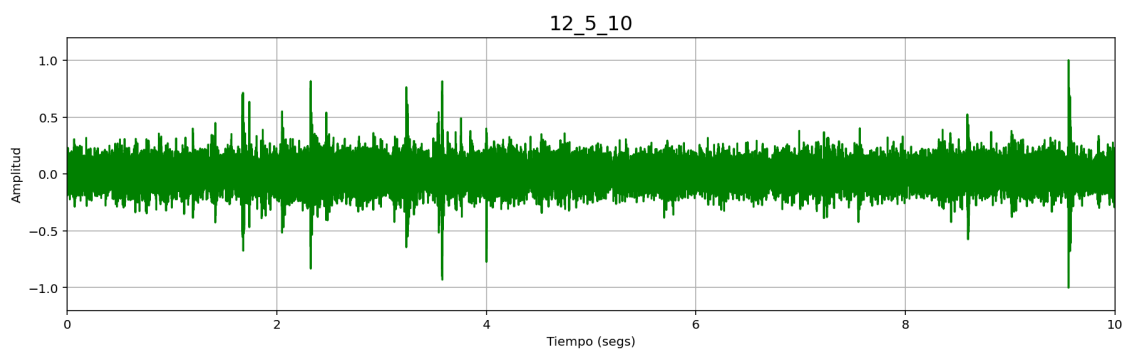
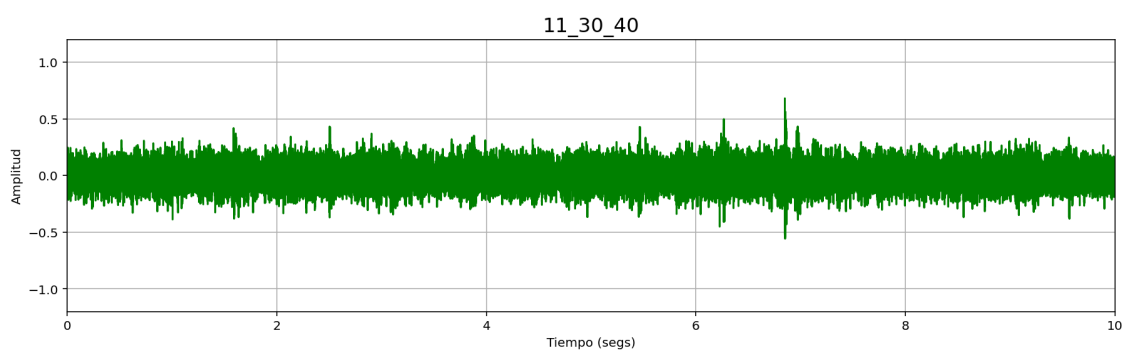
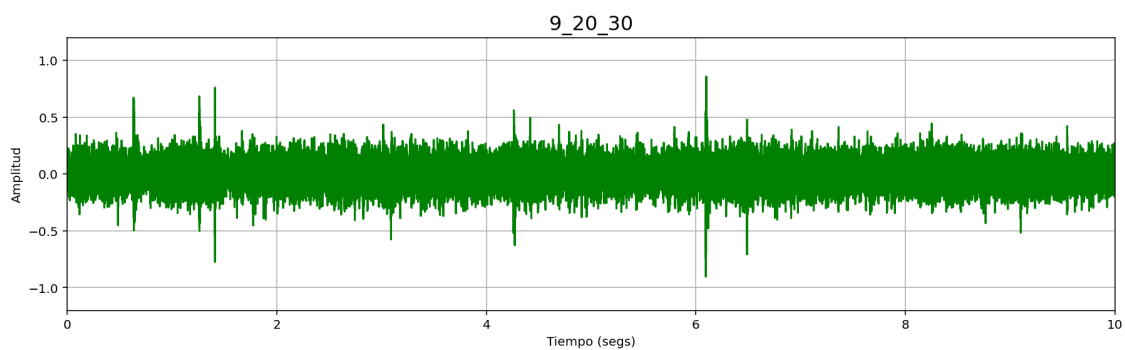
La plataforma podría significar un gran impacto para la industria avícola argentina en general, más allá de cada productor en particular, ya que puede provocar un cambio en el esquema histórico en el que Argentina tiende a seguir los pasos de otros países en lugar de impulsar al cambio por sí mismo. Se trata de un producto que permite, a bajo costo, acercar a la Argentina a los niveles de otros países en materia de bienestar animal y tecnología, sin requerir una intensiva reestructuración de las prácticas actuales. Esto podría reflejar un aumento en el nivel de exportación de huevo argentino ya que se podrían alcanzar las exigencias de bienestar animal en la Comunidad Europea que hoy en día dificultan la entrada en su mercado.

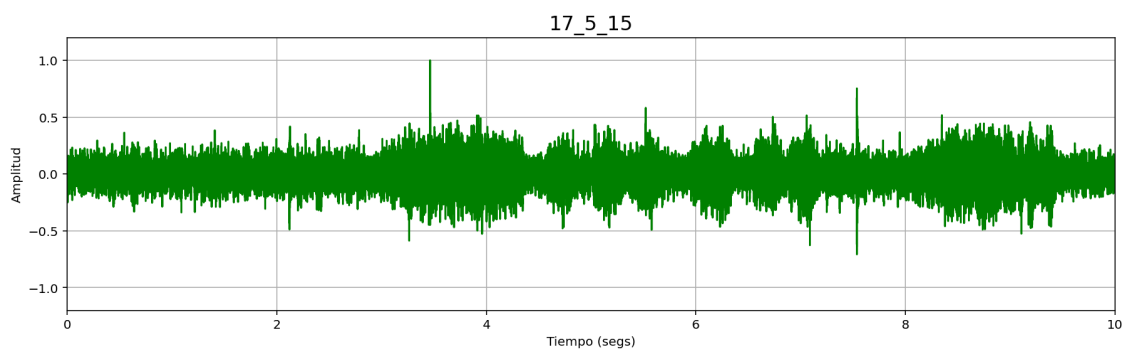
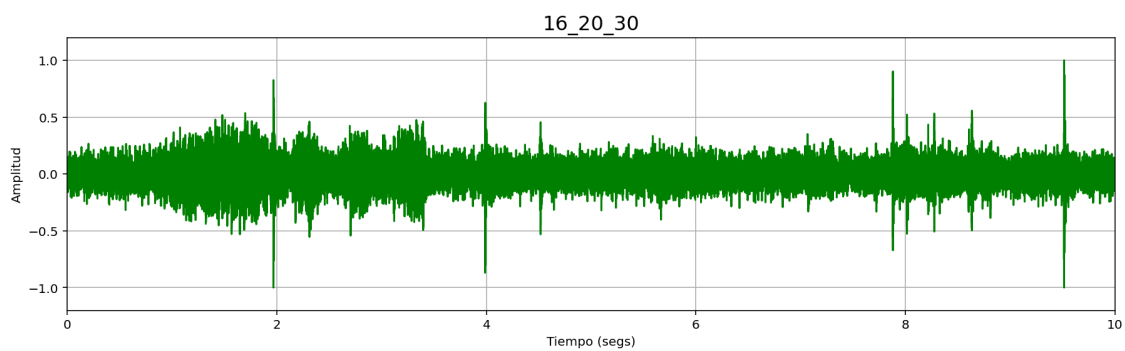
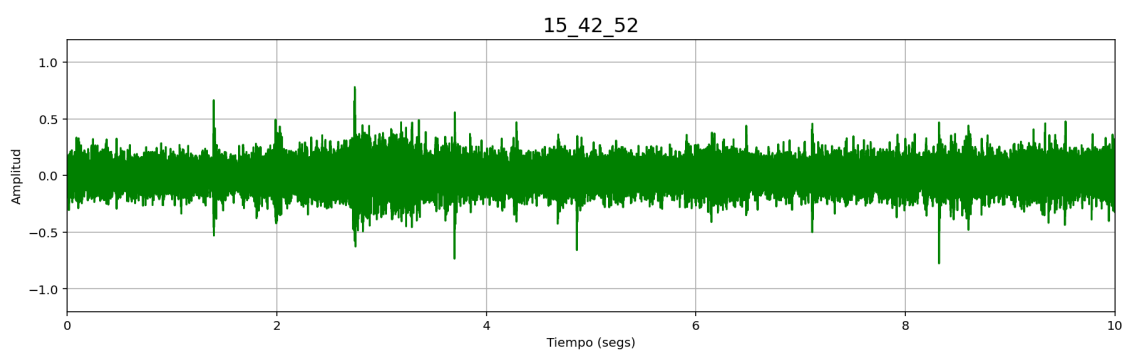
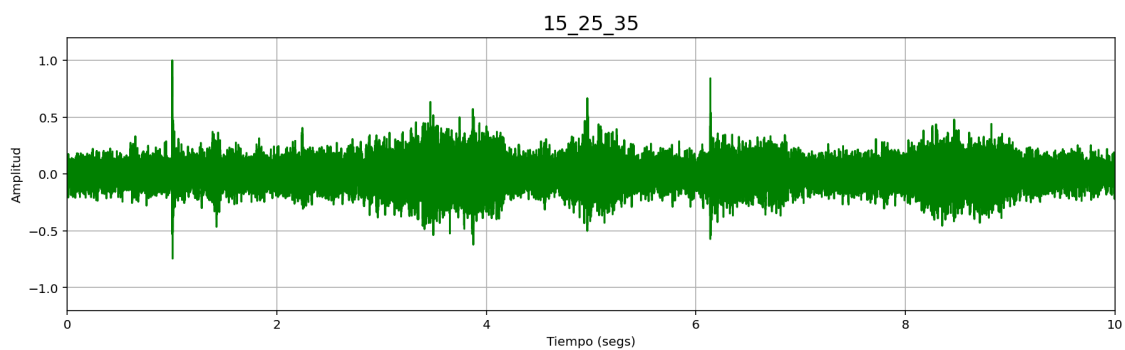
Finalmente, se logró presentar una solución integral que contempla todos los aspectos influyentes y el impacto sobre todos los actores dentro del marco productivo argentino y las tendencias actuales en los consumidores. Se pudo establecer la factibilidad técnica, económica y normativa de desarrollar el producto así como también presentar alternativas de implementaciones que dieron resultados satisfactorios *a priori* y que, en su conjunto, funcionan como motivación y base sólida para la ejecución del proyecto. Se espera que la implementación del producto genere un impacto positivo en la forma de producción avícola argentina y sobre el bienestar de los animales.

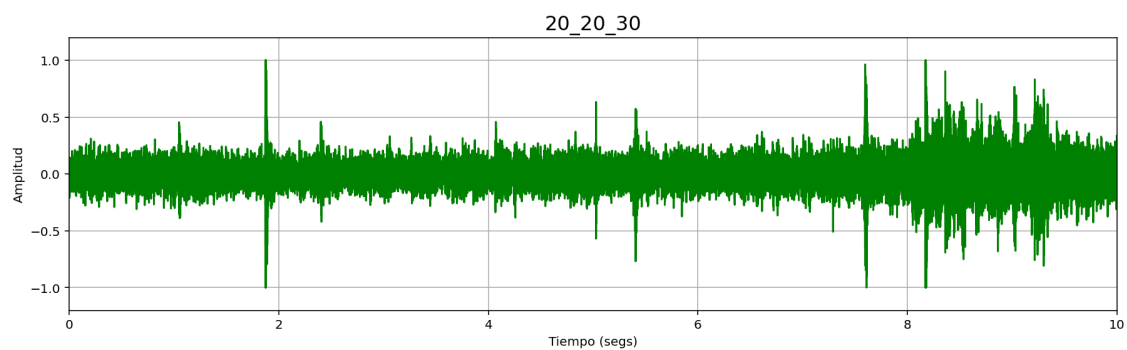
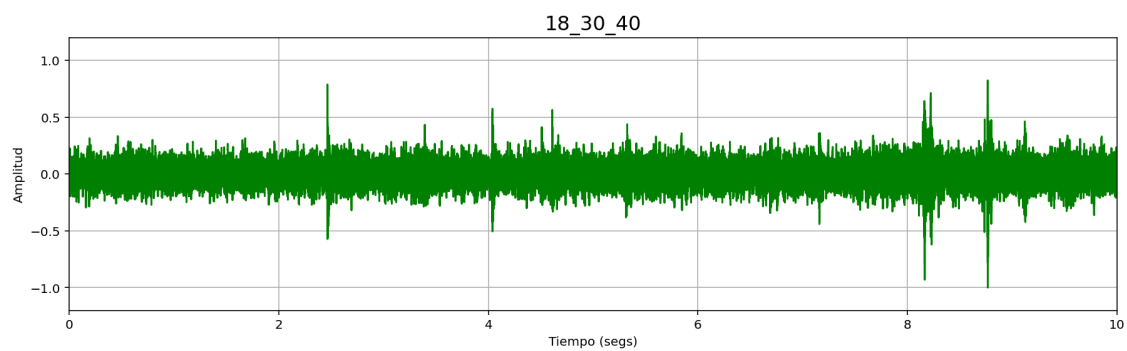
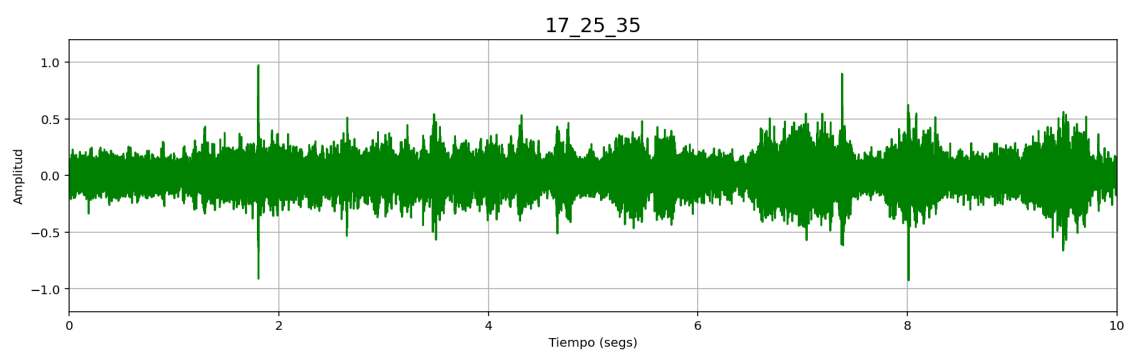
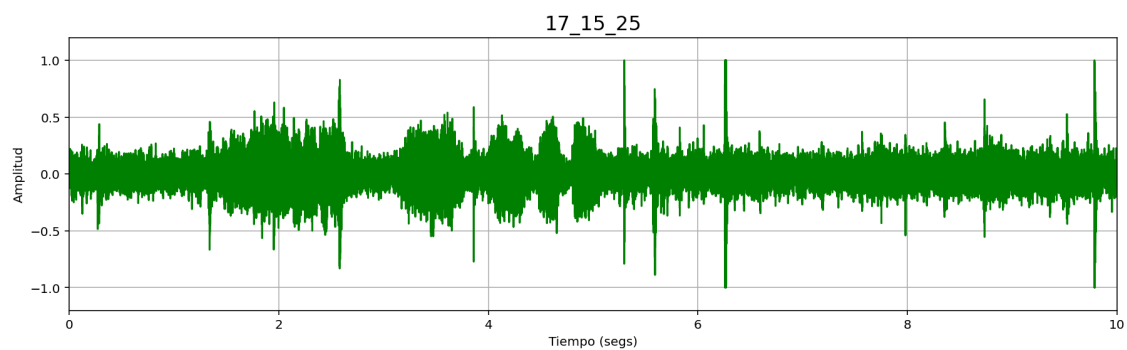
16. Anexo 1: Señales en tiempo







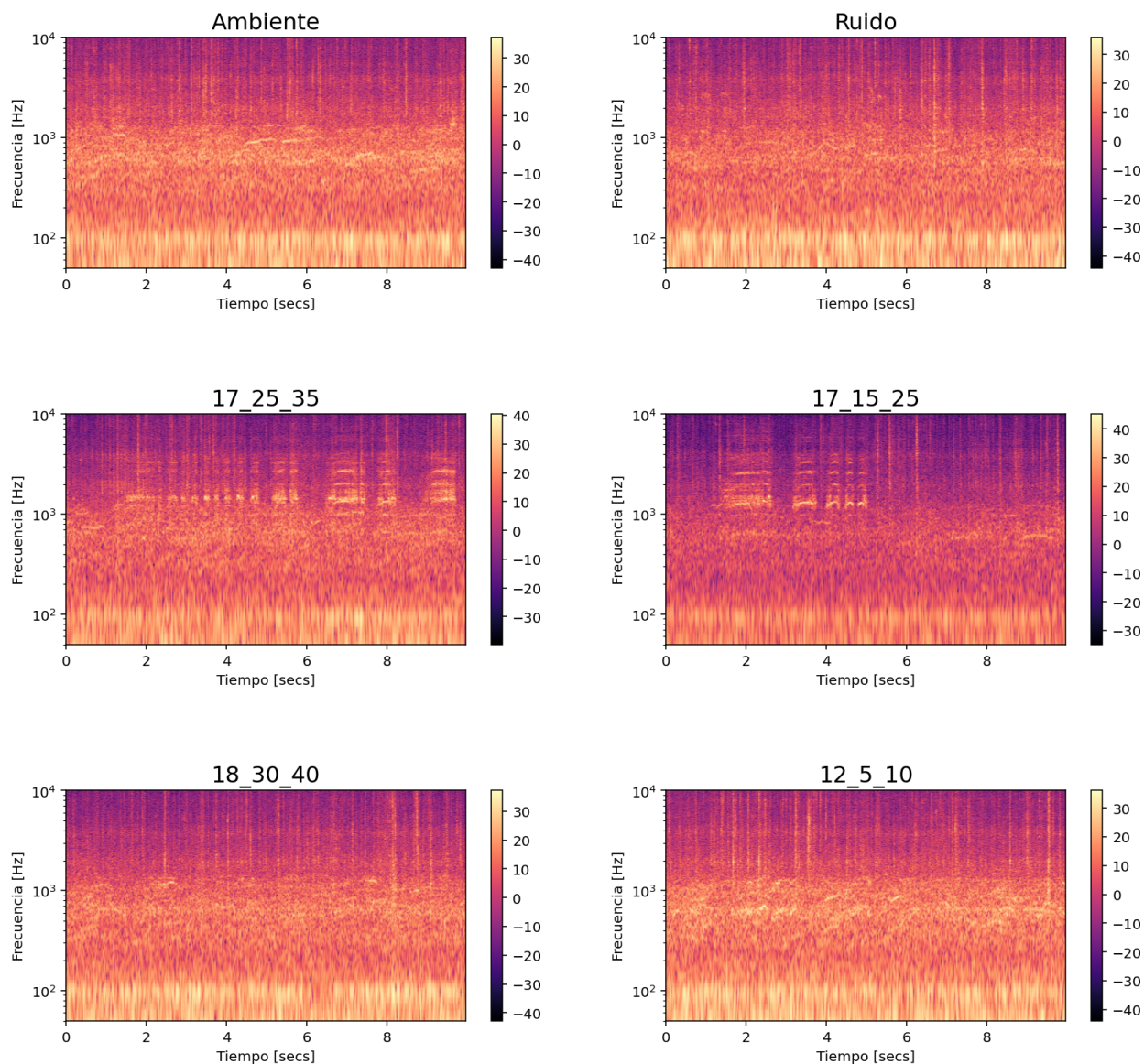


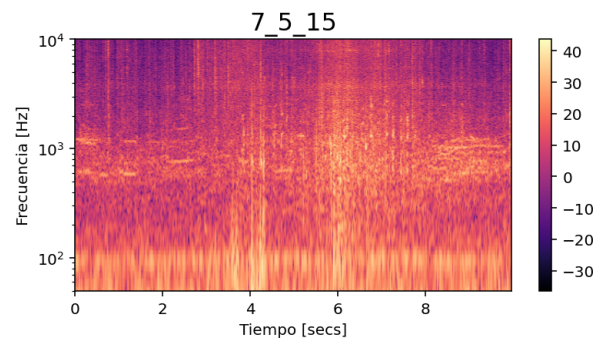
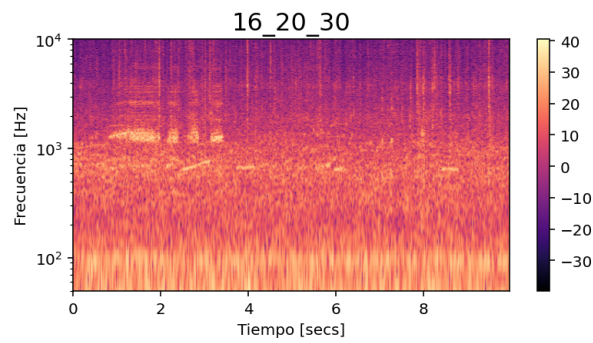
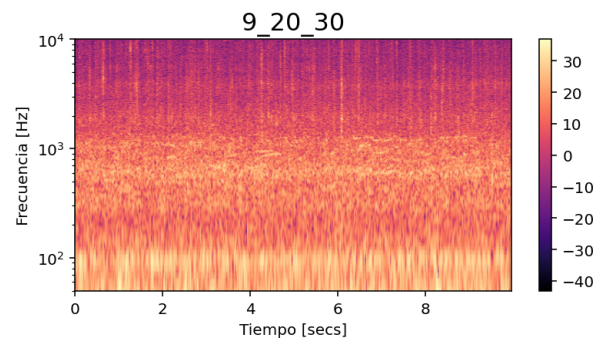
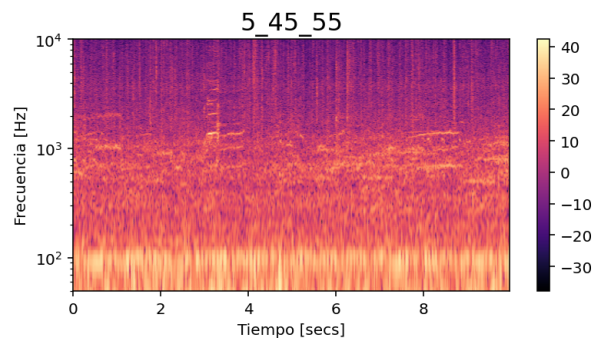
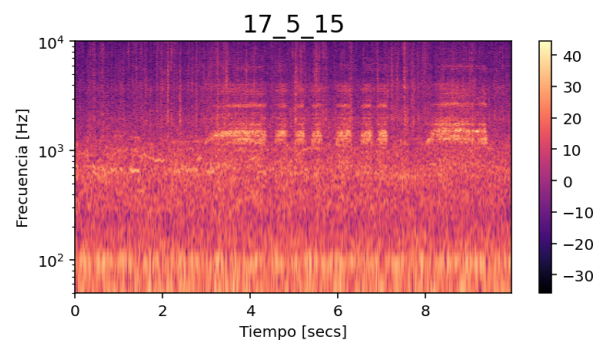
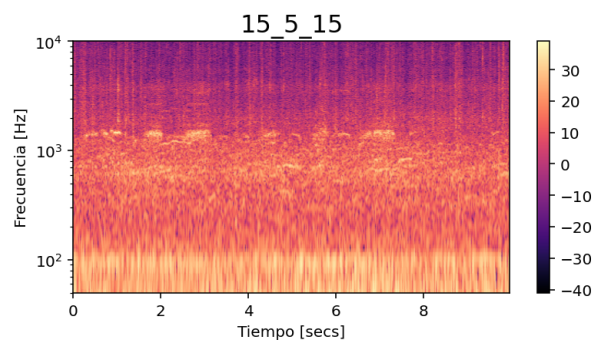
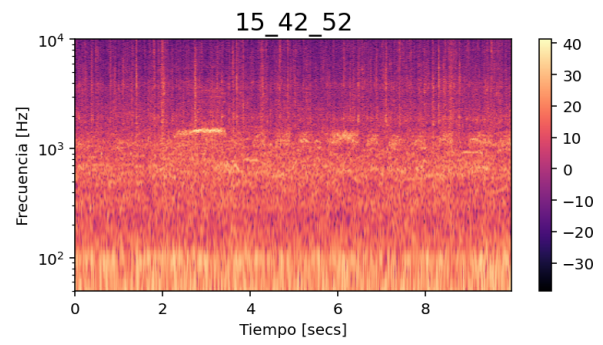
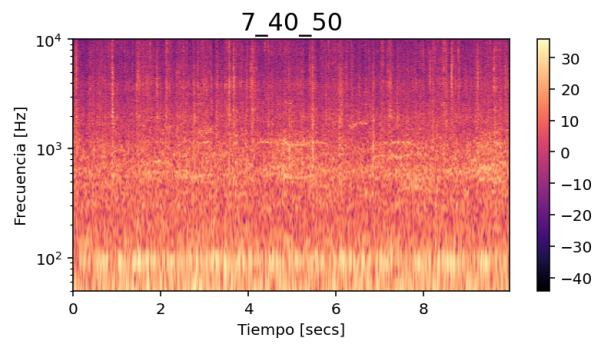


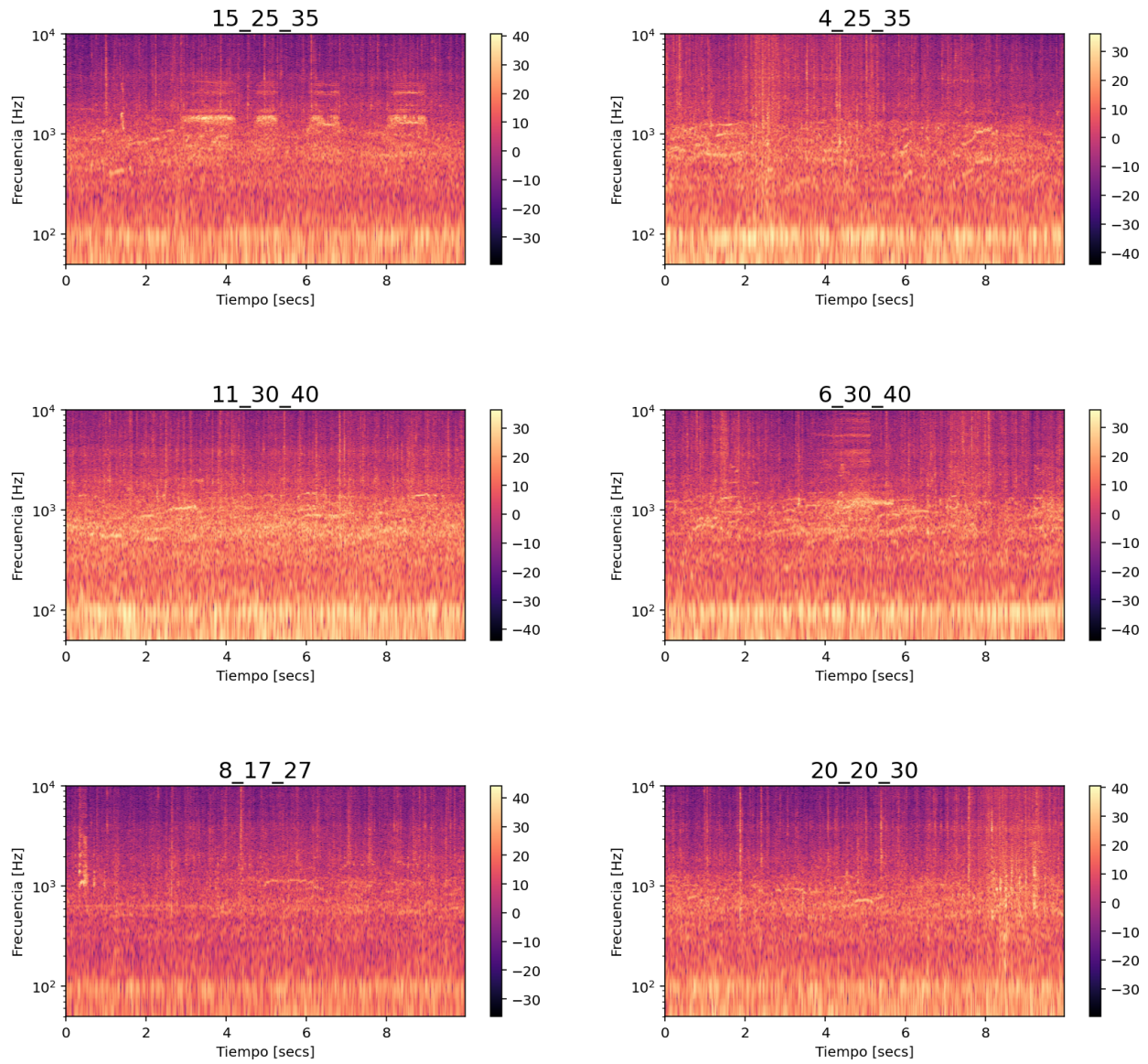
17. Anexo 2: Espectrogramas

Se presentan los espectrogramas de las 20 señales sin filtrar, con el filtro estadístico y con el filtro determinístico como forma de visualizar el efecto de los mismos.

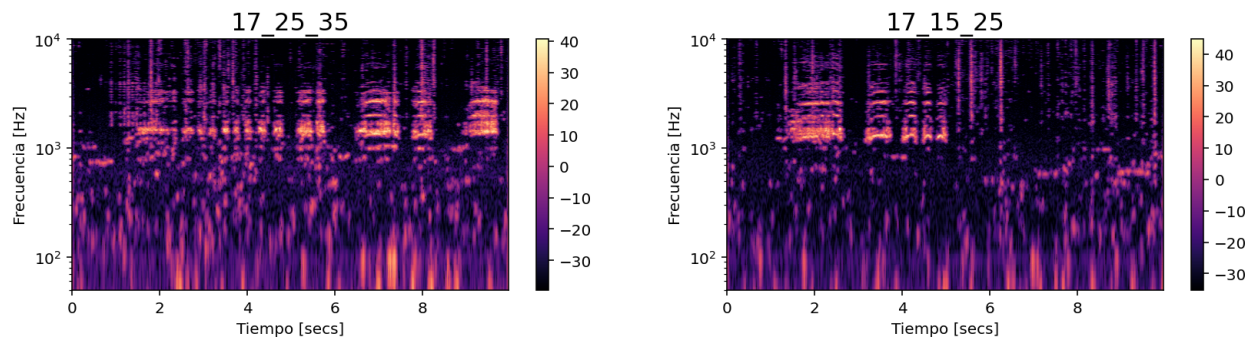
17.1. Señales crudas

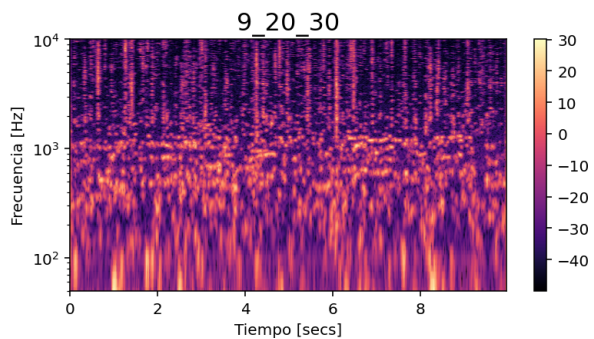
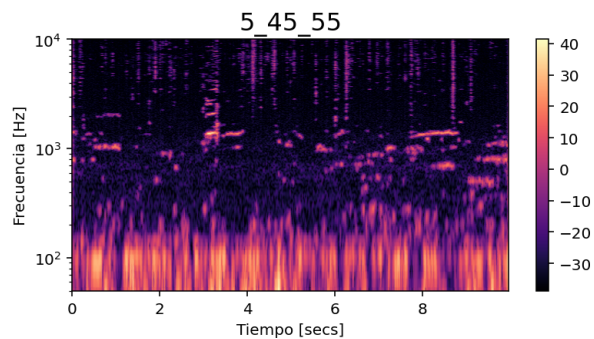
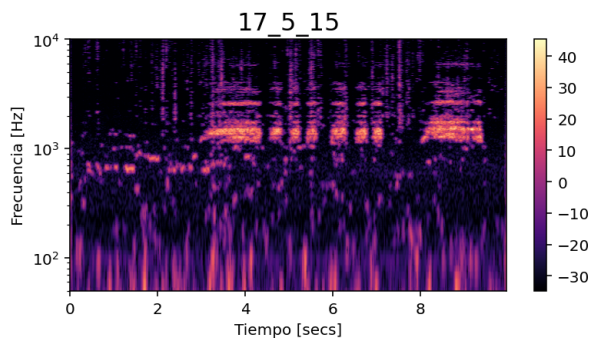
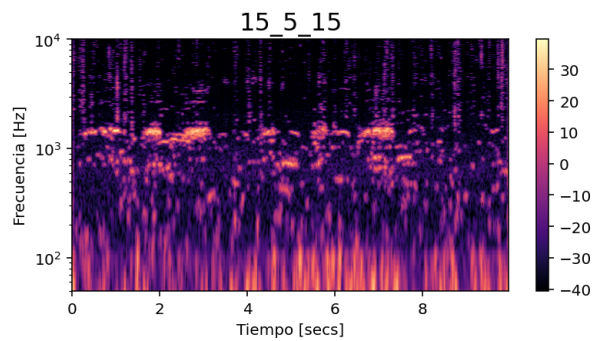
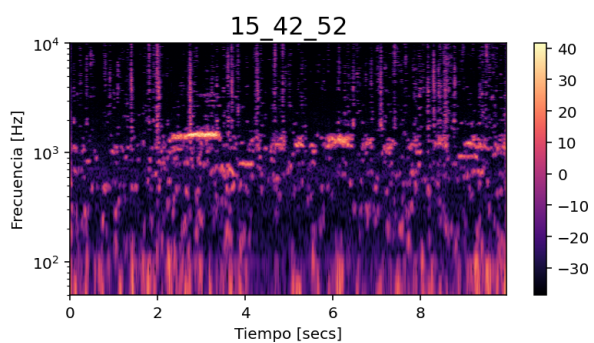
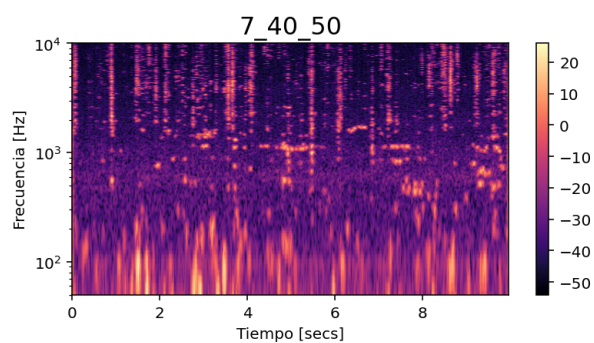
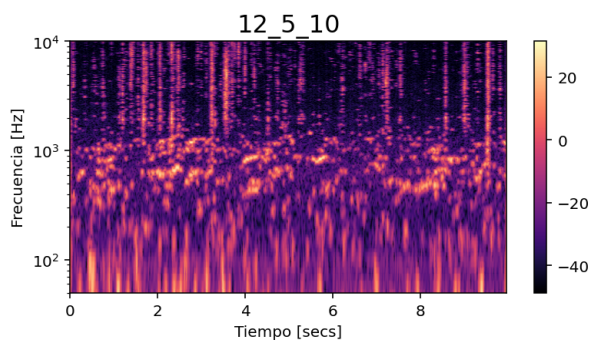
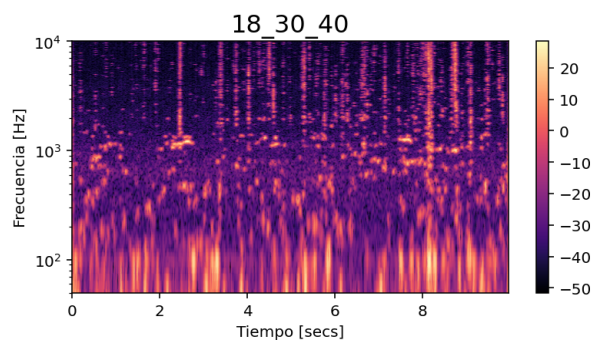


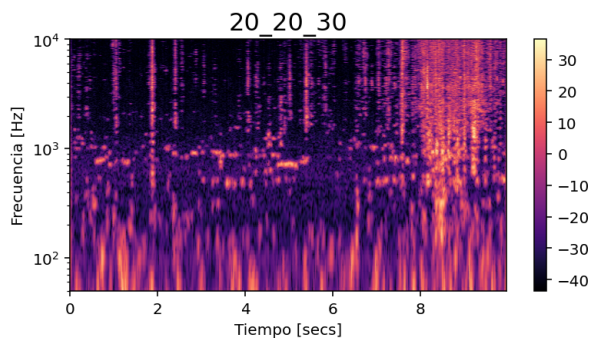
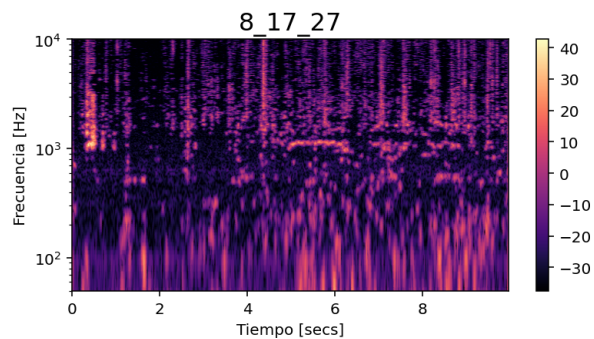
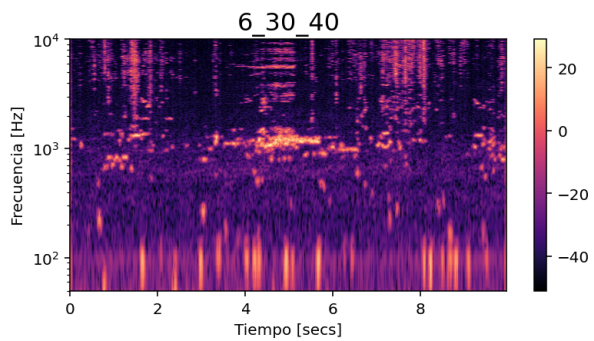
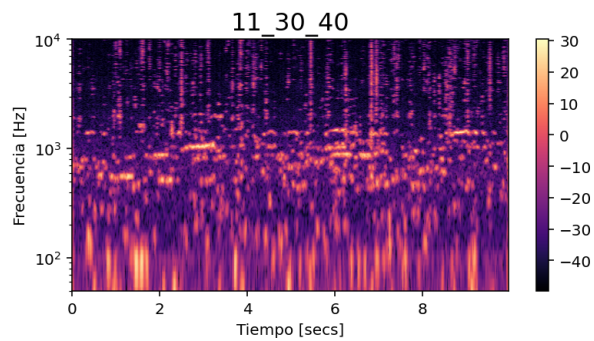
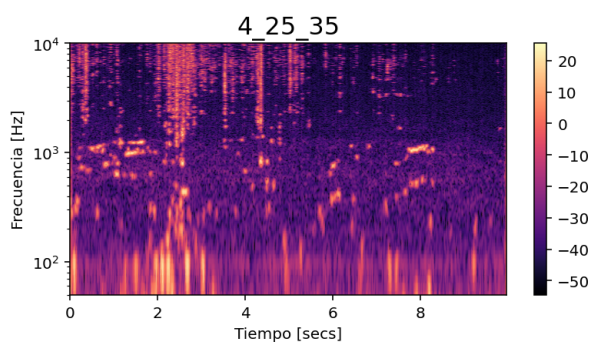
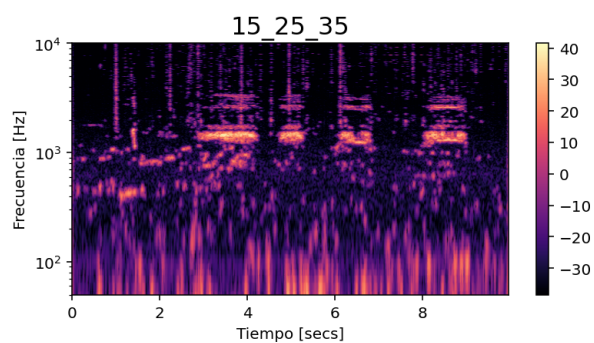
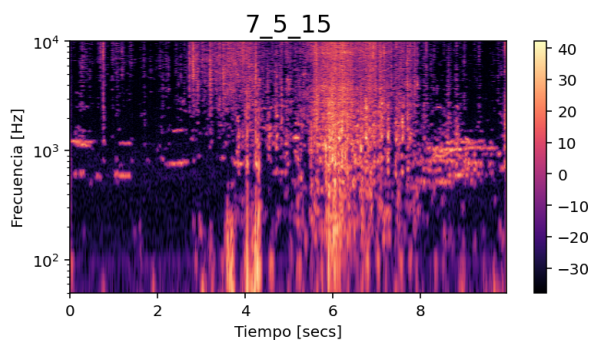
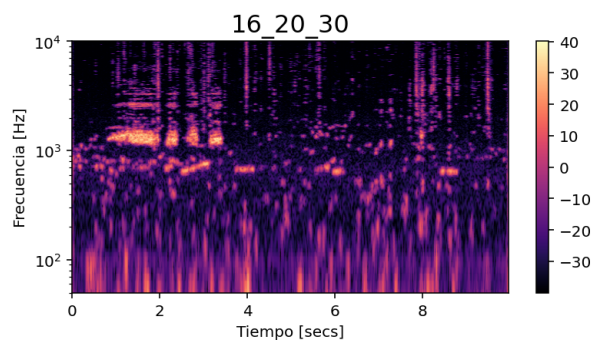




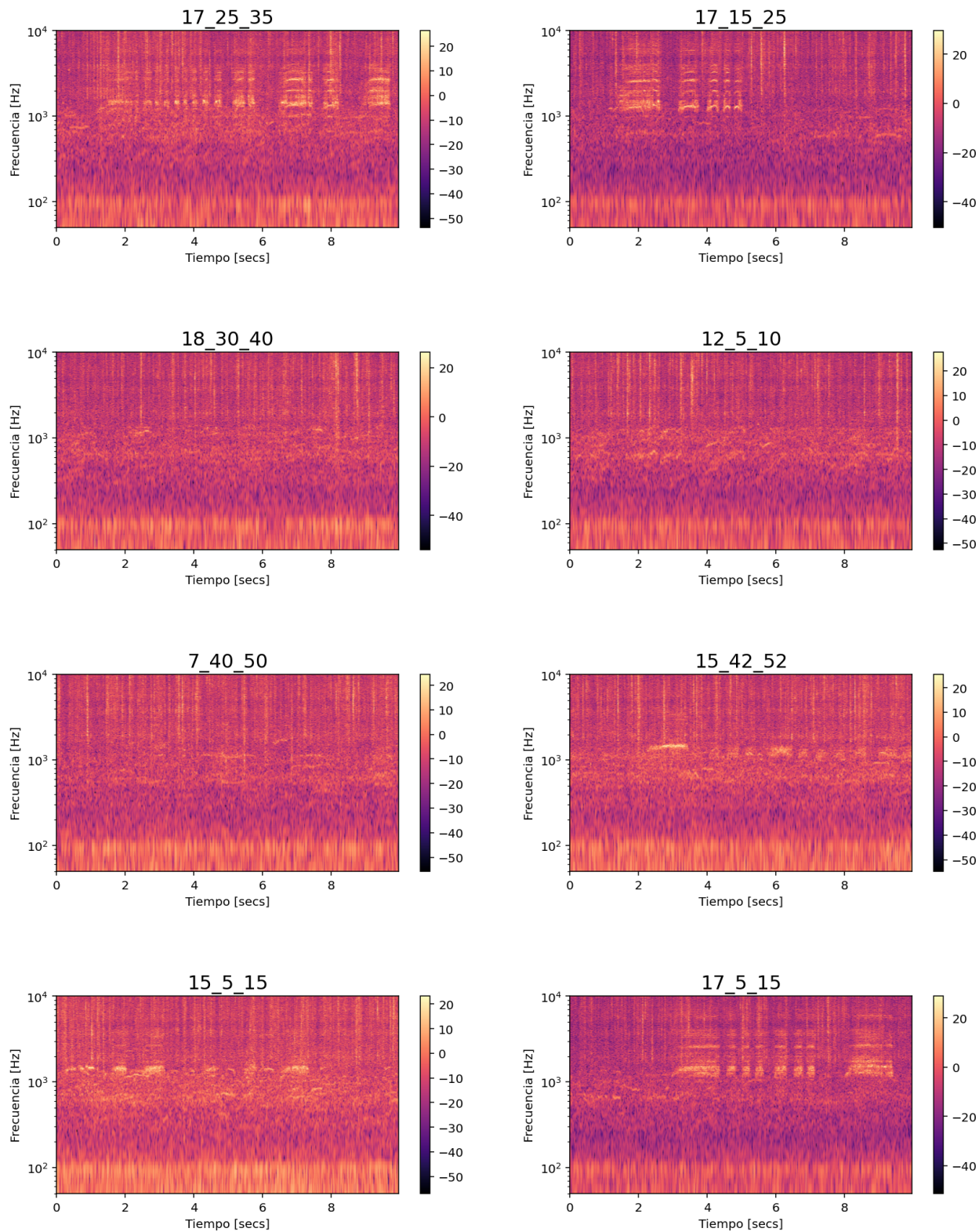
17.2. Señales filtradas con filtro estadístico.

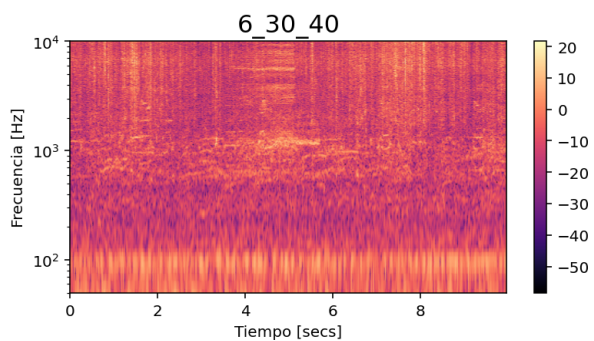
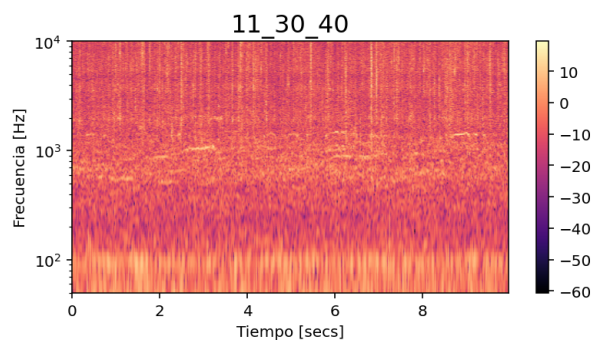
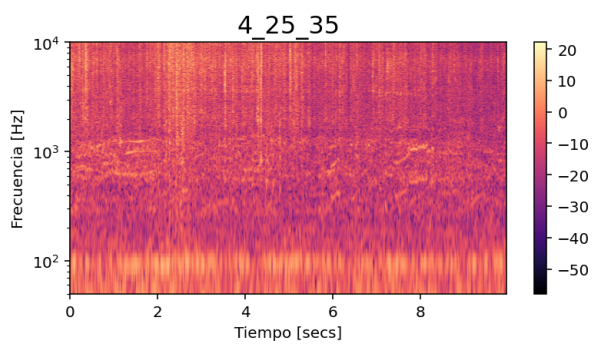
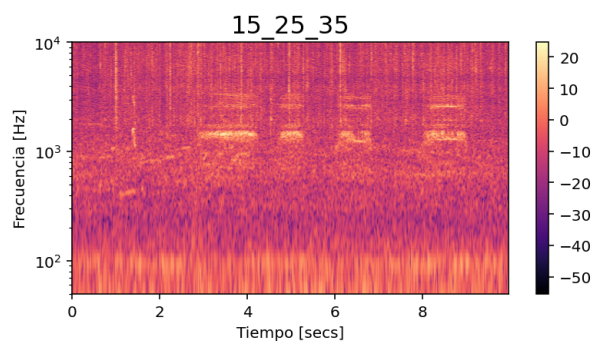
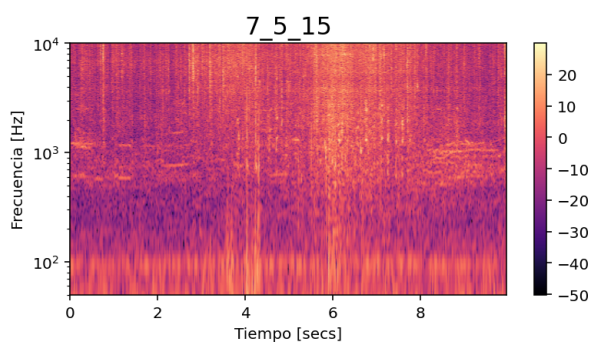
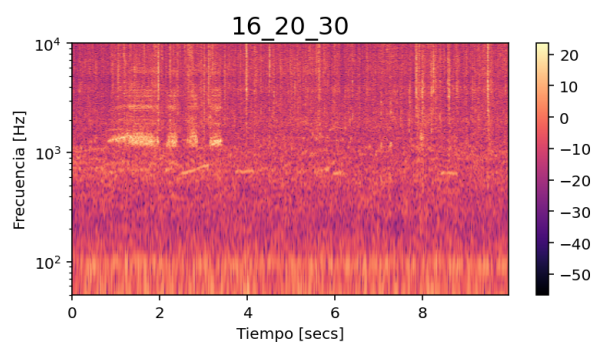
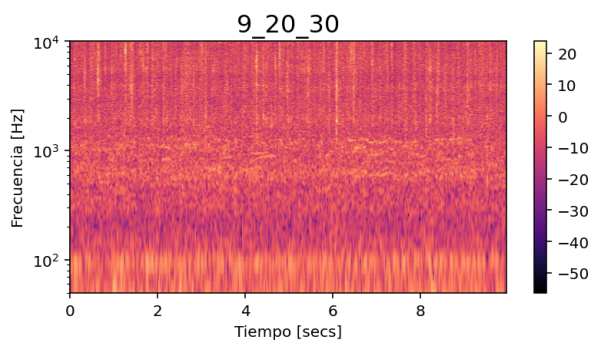
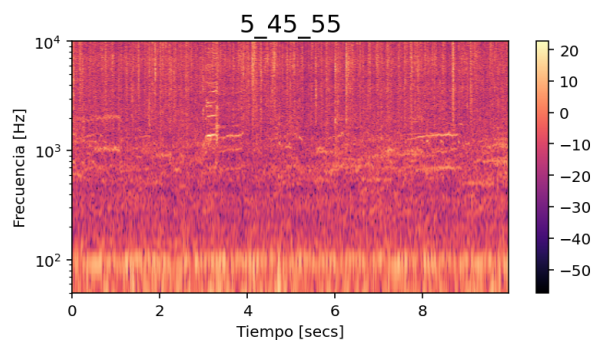


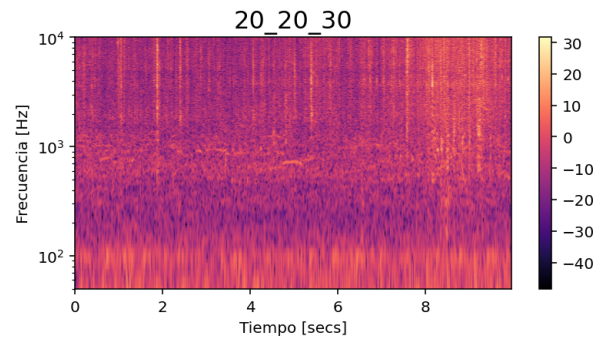
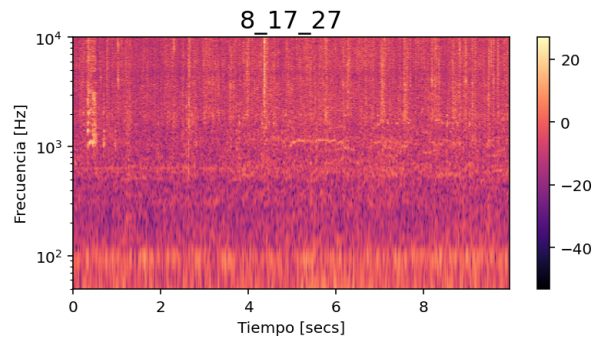




17.3. Señales filtradas con filtro determinístico.







Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, “Huevos: aprovechar su potencial para luchar contra el hambre y la malnutrición.”^{en} Foro Global sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición. Informe de la actividad No154 del 23.10.2018 al 13.11.2018, 2019, doi: CA3569ES/1/05.19.
- [2] Marino, L. (2017). “Thinking chickens: a review of cognition, emotion, and behavior in the domestic chicken.”^Animal Cognition, 02-Ene-2017 20(2), 127–147. doi:10.1007/s10071-016-1064-4
- [3] Watt Global Media, “Latest poultry, egg market forecasts available in 2018 WATT Poultry Trends,” *WATTAgNet*, 28-Nov-2018. [Online]. Disponible: <https://www.wattagnet.com/articles/36268-latest-poultry-egg-market-forecasts-available-in-2018-watt-poultry-trends>. [Visitado: 15-May-2020].
- [4] Berckmans, Daniel. “Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming”, *Livestock production and society* 287, 2006, doi: 10.3920/978-90-8686-567-3.
- [5] A. A. Silva, “Análisis de la producción de huevos en Latinoamérica,” *AviNews*, 15-Mar-2019. [Online]. Disponible: <https://avicultura.info/analisis-de-la-produccion-de-huevos-en-latinoamerica/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [6] F. Rodríguez, E. Godano, and D. J. Bueno, “América del Sur y la Producción de Huevo”, *CAPIA Informa*, no. 276, pp. 26–35, Dic. 2017. [Online]. Disponible: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/america-sur-produccion-huevo-t42030.htm>. [Visitado: 15-May-2020].
- [7] Watt Global Media, “2019 Empresas líderes,” *Industria Avícola*, vol. 66, no. 4, Abr-2019.
- [8] Watt Global Media, “2020 Empresas líderes,” *Industria Avícola*, vol. 67, no. 3, Abr-2020. [Online]. Disponible: <https://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/april2020/MobilePagedReplica.action?pm=2&folio=4#pg6>. [Visitado: 15-May-2020].
- [9] H. Ritchie, M. Roser, “Meat and Dairy Production”, *Our World in Data*, 2017. [Online]. Disponible: <https://ourworldindata.org/meat-production>. [Visitado: 15-May-2020].

-
- [10] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), “Cadena Animal: Industria,” *Industria Avícola: Industria*, 21-Sep-2018. [Online]. Disponible: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/aves/industria>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [11] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), “Aves sector primario: Distribución de granjas avícolas por actividad y provincia 2016,” *Cadena Animal: Estadísticas*, 21-Sep-2018. [Online]. Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas/aves>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [12] CAPIA, “Balance 2018”, *CAPIA Informa*, 289, Dic-2018. [Online]. Disponible: https://issuu.com/florveronesi/docs/capia_289__2_. [Visitado: 15-May-2020].
 - [13] Dirección de Escuelas Agrarias del Ministerio de Agroindustria de la Provincia de Buenos Aires, INTA y Ministerio de Agroindustria, “2do Año: Manual de Avicultura”, Argentina, 2013. [Online]. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_avicultura_2oano.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [14] P. Van Horne, “Comparación de los sistemas de alojamiento para ponedoras: valoración económica”, *Selecciones avícolas*, 45: 3, 22-25. 2006. [Online]. Disponible: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2007/1/3111-comparacion-de-los-sistemas-de-alojamiento-para-ponedoras-valoracion-economica.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [15] M. F. Itza Ortiz, H. J. Vidales, H. A. Olguín Arredondo, E. Jaramillo López, C. A. Rodríguez Alarcón, D. M. Beristáin Ruiz, V. H. Carrasco Morteo, “Densidad de gallinas alojadas por jaula sobre la producción de huevo en granjas de postura”, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México, 2013. [Online]. Disponible: <http://www3.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/RTI/ICB/Densidad%20de%20gallinas.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [16] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). “Manual de bienestar animal: Un enfoque práctico para el buen manejo de especies domésticas durante su tenencia, producción, concentración, transporte y faena”, 2015, 1. [Online]. Disponible: http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/ARBOL_SENASA/ANIMAL/BOVINOS_BUBALINOS/INDUST_senasa_-_version_1-2015.pdf. [Visitado: 15-May-2020].

-
- [17] J. Corona, J. Trómpiz, N. Jerez, Á. Gómez y H. Rincón, “Efecto del tipo de galpón sobre las variables productivas y calidad del huevo en gallinas ponedoras Isa Brown”, *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, 2015, 32: 345-360. [Online]. Disponible: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/produccion_avicola/31-tipo-galpon.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [18] World Organization for Animal Health (OIE), “Animal Welfare,” *About Animal Welfare*. [Online]. Disponible: <https://www.oie.int/en/animal-welfare/>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [19] Farm Animal Welfare Council (FAWC), *Five Freedoms*, 16-Abr-2009. [Online]. Disponible: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20121010012427/http://www.fawc.org.uk/freedoms.htm>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [20] I. C. De Lima Almeida Paz, I. C. D. L. Almeida, L. T. D. L. Vega, E. L. Milbradt, M. R. Borges, G. H. C. Chaves, C. C. D. Ouros, M. I. L. D. Silva, F. R. Caldara, and R. L. A. Filho, “Productivity and Well-Being of Broiler Chickens Supplemented With Probiotic,” *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 28, no. 4, pp. 930–942, 2019, doi: 10.3382/japr/pfz054. [Online]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119322597>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [21] A. Berrío, F. Garay, L. Thielo de la Vega, “Bienestar Animal en sistemas productivos”, *Voces del reino animal*, Radio CES, Universidad CES, Medellín, 22-Ago-2017. [Online]. Disponible: https://co.ivoox.com/es/bienestar-animal-sistemas-productivos-audios-mp3_rf_20464866_1.html?autoplay=true. [Visitado: 15-May-2020].
 - [22] Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA), “Bienestar Animal”, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Gobierno de la Nación Argentina, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 27-Feb-2020. [Online]. Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/senasa/programas-sanitarios/bienestar-animal>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [23] Poder Ejecutivo Nacional, *Ley 14346/54: Protección de malos tratos y actos crueles en todas las especies*, Argentina, 16-jun-2014. [Online]. Disponible: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/ley-nacional-14346-1954-poder-ejecutivo-nacional> [Visitado: 15-May-2020].

-
- [24] Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA), *Manual de bienestar animal para sistemas de producción de pollos de engorde*, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 30-Jul-2018. [Online]. Disponible: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/310000-314999/314358/res575.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [25] Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA), *Resolución N° 1697/2019: Nuevos requisitos para el bienestar animal en al ámbito pecuario y deportivo*, Ciudad de Buenos Aires, Argentina, 09-12-2019. [Online]. Disponible: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/330000-334999/333205/norma.htm>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [26] N. Amos, R. Sullivan, “The Business Benchmark on Farm Animal Welfare Report 2017”, The Business Benchmark on Farm Animal Welfare, 2017.
 - [27] W. W. Ursinus, F. Schepers, E. A. M. Bokkers, M. B. M. Bracke, H. A. M. Spoolder, “General overview of animal welfare in a global perspective”, *Animal Welfare in Global Perspective*, Livestock Research, Wageningen, 2009, No. 240, pp. 4-53.
 - [28] N. Amos, R. Sullivan, “The Business Benchmark on Farm Animal Welfare Report 2019”, The Business Benchmark on Farm Animal Welfare, 2019.
 - [29] Certified Humane, “Informe Anual de 2018 Humane Farm Animal Care”, Humane Farm Animal Care, 2018. [Online]. Disponible: https://certifiedhumanelatino.org/wp-content/uploads/2019/04/Annual-Report-2018_Spanish.pdf . [Visitado: 15-May-2020].
 - [30] Servicio nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA), *Resolución N° 617/02*, Buenos Aires, 18-Jul-2002. [Online]. Disponible: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-senasa.617__2002.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [31] Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), “Normativa Nacional”. [Online]. Disponible: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-normativa_nacional_pdf.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [32] Watt Global Media, “¿Cuánto cuesta “actualizarse” en el negocio avícola?,” *Industria Avícola*, 22-Abr-2019. [Online]. Disponible: <https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-equipo/cuanto-cuesta-actualizarse-en-el-negocio-avicola/>. [Visitado: 15-May-2020].

- [33] Watt Global Media, “4 perspectivas avícolas sobre bioestadística y ’big data’”, *Industria Avícola*, 27-Dic-2019. [Online]. Disponible: <https://www.industriaavicola.net/enfermedades-y-sanidad/4-perspectivas-avicolas-sobre-bioestadistica-y-big-data/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [34] Watt Global Media, “El bienestar animal como herramienta ¿de marketing?”, *Industria Avícola*, 29-Oct-2018. [Online]. Disponible: <https://www.industriaavicola.net/manejo-produccion-y-equipo/el-bienestar-animal-como-herramienta-de-marketing/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [35] J. Mench, *Advances in Agricultural Animal Welfare: Science and Practice*, Woodhead Publishing, 29-Nov-2017.
- [36] Watt Global Media, “Millennials en Brasil valoran calidad y fuente de sus alimentos”, *Industria Avícola*, 9-Abr-2020. [Online]. Disponible: <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/millennials-en-brasil-valoran-calidad-y-fuente-de-sus-alimentos/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [37] E. Doughman, “4 tendencias que cambiaron la avicultura en la última década,” *Industria Avícola*, 31-Dec-2019. [Online] Disponible: <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/4-tendencias-que-cambiaron-la-avicultura-en-la-ultima-decada/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [38] “Estrés”, *Real Academia Española*. 2019. [Online] Disponible: <https://dle.rae.es/estres>. [Visitado: 15-May-2020].
- [39] “Common Causes of Poultry Stress,” *BlueGold® by Eden Solutions*, 19-Mar-2019. [Online]. Disponible: <http://edenbluegold.com/poultry-stress-list/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [40] H. S. Siegel, “Stress, strain and resistance”, *British Poultry Science*, 1995, 36:1, 3-22
- [41] “Managing Symptoms of Poultry Stress in Broiler Chickens”, *Bentoli*, 05-Sep-2017. [Online]. Disponible: <https://www.bentoli.com/broiler-chickens-stress-management/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [42] G. Marx, J. Leppelt and F. Ellendorff, “Vocalisation in chicks (*Gallus gallus dom.*) during stepwise social isolation”, *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 75, no. 1, pp. 61-74, 2001.

- [43] Hy-Line International, “Hy-Lyne W-80: Guía de manejo,” 2019. [Online]. Disponible: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/W-80/80%20COM%20SPN.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
- [44] Blahová, R. Dobšíková, E. Straková and P. Suchý, “Effect of Low Environmental Temperature on Performance and Blood System in Broiler Chickens (*Gallus domesticus*)”, *Acta Veterinaria Brno*, vol. 76, no. 8, pp. S17-S23, 2007.
- [45] R. R. Curtin, W. Daley and D. V. Anderson, “Classifying broiler chicken condition using audio data,” *2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Atlanta, GA, pp. 1141-1144, 2014.
- [46] C. Weeks,(2007). “Poultry handling and transport,” *Livestock Handling and Transport: Third Edition*, Junio 2007, 295-311.
- [47] M. A. Mitchell, P. J. Kettlewell, “Welfare of poultry during transportation - a review,” *Poultry Welfare Symposium Cervia*, 18-22 May 2009
- [48] P. Zimmerman, P. Koene and J. van Hooff, “The vocal expression of feeding motivation and frustration in the domestic laying hen, *Gallus gallus domesticus*”, *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 69, no. 4, pp. 265-273, 2000.
- [49] Arpin, “Common causes of chicken stress”, *Eco Farming Daily*. [Online]. Disponible: <https://www.ecofarmingdaily.com/raise-healthy-livestock/chickens/common-causes-of-chicken-stress-sponsored/>. [Visitado: 15- May- 2020].
- [50] R. Sanmiguel Plazas, F. Plazas Hernández, D. Trujillo Piso, M. Pérez Rubio, L. Peñuela Sierra and A. DiGiacinto, “Requerimientos para la medición de indicadores de estrés invasivos y no invasivos en producción animal”, *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 29, no. 1, p. 15, 2018.
- [51] P. Tejeda, I. Téllez, M. Galindo “Técnicas de medición de estrés en aves”, *Veterinaria México* 1997, 28(4):345-351, 1997.

- [52] B. T. Carroll, D. V. Anderson, W. Daley, S. Harbert, D. F. Britton and M. W. Jackwood, “Detecting symptoms of diseases in poultry through audio signal processing,” *2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Atlanta, GA, pp. 1132-1135, 2014.
- [53] M. Tefera, “Acoustic Signals in Domestic Chicken (*Gallus gallus*): A Tool for Teaching Veterinary Ethology and Implication for language learning”, *Ethiopian Veterinary Journal*, vol. 16, no. 2, 2012.
- [54] G. Manteuffel, B. Puppe and P. Schön, “Vocalization of farm animals as a measure of welfare”, *Applied Animal Behaviour Science*, vol. 88, no. 1-2, pp. 163-182, 2004.
- [55] K. Sufka, M. Feltenstein, J. Warnick, E. Acevedo, H. Webb and C. Cartwright, “Modeling the anxiety-depression continuum hypothesis in domestic fowl chicks”, *Behavioural Pharmacology*, vol. 17, no. 8, pp. 681-689, 2006.
- [56] P. Zimmerman and P. Koene, “The effect of frustrative nonreward on vocalisations and behaviour in the laying hen, *Gallus gallus domesticus*”, *Behavioural Processes*, vol. 44, no. 1, pp. 73-79, 1998.
- [57] N. Collias, “The Vocal Repertoire of the Red Junglefowl: A Spectrographic Classification and the Code of Communication”, *The Condor*, vol. 89, no. 3, p. 510, 1987.
- [58] M. Mcloughlin, R. Stewart and A. McElligott, “Automated bioacoustics: methods in ecology and conservation and their potential for animal welfare monitoring”, *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 16, no. 155, p. 20190225, 2019.
- [59] [5]Y. Chung, S. Oh, J. Lee, D. Park, H. Chang and S. Kim, “Automatic Detection and Recognition of Pig Wasting Diseases Using Sound Data in Audio Surveillance Systems”, *Sensors*, vol. 13, no. 10, pp. 12929-12942, 2013.
- [60] D. Moura, W. Silva, I. Naas, Y. Tolón, K. Lima and M. Vale, “Real time computer stress monitoring of piglets using vocalization analysis”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 64, no. 1, pp. 11-18, 2008.
- [61] A. Green, I. Johnston and C. Clark, “Invited review: The evolution of cattle bioacoustics and application for advanced dairy systems”, *Animal*, vol. 12, no. 6, pp. 1250-1259, 2017.

- [62] Vandermeulen et al., “Early recognition of bovine respiratory disease in calves using automated continuous monitoring of cough sounds”, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 129, pp. 15-26, 2016.
- [63] B. M. Whitaker, B. T. Carroll, W. Daley and D. V. Anderson, “Sparse decomposition of audio spectrograms for automated disease detection in chickens,” *2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Atlanta, GA, pp. 1122-1126, 2014.
- [64] M. Rizwan, B. Carroll, D. Anderson, W. Daley, S. Harbert, D. Britton, M. Jackwood, “Identifying rale sounds in chickens using audio signals for early disease detection in poultry”, 55-59, 2016.
- [65] J. Lee, B. Noh, S. Jang, D. Park, Y. Chung, H-H. Chang, “Stress Detection and Classification of Laying Hens by Sound Analysis.” *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 2015.
- [66] E. Pereira, I. Nääs and R. Garcia, “Identification of acoustic parameters for broiler welfare estimate”, *Engenharia Agrícola*, vol. 34, no. 3, pp. 413-421, 2014.
- [67] P. Stoica and R. L. Moses. *Spectral analysis of signals*, Prentice Hall, 2005. [Online] Disponible: <http://user.it.uu.se/~ps/SAS-new.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
- [68] D. G. Manolakis, V. K. Ingle, S. M. Kogon, *Statistical and adaptive signal processing: spectral estimation, signal modeling, adaptive filtering, and array processing*, McGraw Hill, Boston, Estados Unidos, 2000.
- [69] S. Haykin, *Adaptive filter theory*, Pearson Education Limited, 5th ed., Essex, Inglaterra, 2014.
- [70] J. L. Semmlow, B. Griffel, *Biosignal and medical image processing*, CRC press, 3rd ed., Boca Raton, Estados Unidos, 2014.
- [71] I. Fontana, E. Tullo, A. Peña and D. Berckmans, “Frequency analysis of vocalisation in relation to growth in broiler chicken”, *7th European Conference on Precision Livestock Farming*, At Milan, Italy, 2015
- [72] J. M. Medino and L. Muñoz-Repiso, “La percepción acústica: Física de la audición”, *Revista de Ciencias*, vol. 2, pp. 19–26, Jun-2013.

-
- [73] INTA, “Manual de avicultura”. [Online] Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_avicultura_2oano.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [74] D. Moura, I. Nääs, E. Alves, T. Carvalho, M. Vale, K. Lima, “Noise analysis to evaluate chick thermal comfort.” *Scientia Agricola*, vol. 65, no. 4, pp. 438-443, 2008.
 - [75] K. Marshall, “Temperature and relative humidity critical in climate control”, *PoultryWorld*, 09-Jan-2017. [Online]. Disponible: <https://www.poultryworld.net/Health/Articles/2017/1/Temperature-and-relative-humidity-critical-in-climate-control-78825E/>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [76] T. Aziz and H. J. Barnes, “Harmful effects of ammonia on birds,” *Poultry World*, 15-Oct-2010. Disponible: <https://www.poultryworld.net/Breeders/Health/2010/10/Harmful-effects-of-ammonia-on-birds-WP008071W/>
 - [77] Philips Semiconductors, “I2S bus specification”, 05-Jul-1996. [Online] Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/I2SBUS.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [78] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*. New Jersey: Wiley-Interscience, 2016
 - [79] D-Robotics UK, “DHT11 Humidity and Temperature Sensor”, 30-Jul-2010. [Online] Disponible: <https://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [80] Aosong(Guangzhou) Electronics Co., “Digital-output relative humidity and temperature sensor/module DHT22”. [Online] Disponible: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [81] Bosch Sensortech, “Final data sheet BME 280”, 07-May-2015. [Online] Disponible: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
 - [82] Hanwei Electronics, “Technical data MQ-137 gas sensor”. [Online] Disponible: <https://eph.ccs.miami.edu/precise/GasSensorSpecs/NH3.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
 - [83] Winsen, “Ammonia Gas Sensor (Model: MQ137) Manual”, 10-Mar-2015. [Online] Disponible: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor Gas Sensor/MQ137 \(Ver1.4\) - Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ137%20(Ver1.4)%20Manual.pdf). [Visitado: 15-May-2020].

- [84] Espressif Systems, “ESP32-WROOM-32 Datasheet”, 2019. [Online] Disponible: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
- [85] C. T. Usher, W. Daley, B. Webster and C. Ritz, “Signal processing for animal behavior detection.” *2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Atlanta, GA, pp. 1145-1149, 2014.
- [86] B. P. Lathi and R. Green, *Essentials of digital signal processing*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.
- [87] H. F. Wertzner, S. Schreiber, L. Amaro, “Analysis of fundamental frequency, jitter, shimmer and vocal intensity in children with phonological disorders”, *Brazilian journal of otorhinolaryngology*, vol. 71, no 5, p. 582-588, 2005.
- [88] J. P. Teixeira, C. Oliveira, C. Lopes, “Vocal acoustic analysis - Jitter, Shimmer and HNR Parameters”, en *International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*, Portugal, 2013.
- [89] L. Schrader, K. Hammerschmidt, “Computer-aided analysis of acoustic parameters in animal vocalisations: a multi-parametric approach”, *Bioacustics*, vol. 7, no 4, p. 247-265, 1997.
- [90] C. H. Hansen, “Fundamentals of acoustics. Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control”, *World Health Organization*, p. 23-52, 2001.
- [91] M. Lin, Y. Xuemeng, Q. Mengran, H. Chen and P. Yuan, “The Programming of Mel Frequency Cepstrum Coefficient (MFCC) Difference’s Characteristic Extraction of Parameters and Emulation,” *2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City*, Halong Bay, pp. 895-897, 2015.
- [92] S. Molau, M. Pitz, R. Schluter and H. Ney, “Computing mel-frequency cepstral coefficients on the power spectrum.” *2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No.01CH37221)*, Salt Lake City, UT, USA, pp. 73-76 vol.1, 2001.
- [93] Fayek, Haytham, “Speech Processing for Machine Learning: Filter banks, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) and What’s In-Between”, 21 Abril 2016 [Online] Disponi-

- ble: <https://haythamfayek.com/2016/04/21/speech-processing-for-machine-learning.html>. [Visitado: 15-May-2020].
- [94] G. James, D. Witten, T. Hastie, and R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. New York: Springer, 2017
- [95] Linksys, “¿Qué es un punto de acceso y en qué se diferencia de un extensor de red?”, 2020. [Online] Disponible: <https://www.linksys.com/es/r/qué-es-un-extensor-de-red/qué-es-un-punto-de-acceso/>. [Visitado: 15-May-2020].
- [96] LoRa Alliance, “RP002-1.0.0 LoRaWAN® Regional 49 Parameters”, Noviembre 2019. [Online] Disponible: https://lora-alliance.org/sites/default/files/2020-01/rp_2-1.0.0_final_release.pdf. [Visitado: 15-May-2020].
- [97] LoRa Alliance, “LoRaWAN™ 1.0.3 Specification”, Julio 2018. [Online] Disponible: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-07/lorawan1.0.3.pdf>. [Visitado: 15-May-2020].
- [98] B. Krishnamurthy and J. Rexford, *Web protocols and practice: HTTP/1.1, networking protocols, caching, and traffic measurement*. Boston: Addison-Wesley, 2001.
- [99] Microsoft, “.NET Core documentation,” Documentation, 24-Mar-2020. [Online]. Disponible: <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/?view=sql-server-ver15>. [Visitado: 15-May-2020].
- [100] Microsoft, “SQL Server technical documentation,” Documentation, 11-Apr-2019. [Online]. Disponible: <https://docs.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/?view=sql-server-ver15>. [Visitado: 15-May-2020].
- [101] Microsoft, “.NET Core documentation,” Documentation, 10-Feb-2020. [Online]. Disponible: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/fundamentals/host/hosted-services?view=aspnetcore-3.1&tabs=visual-studio>. [Visitado: 15-May-2020].
- [102] Microsoft. 2020. ASP.NET MVC Pattern, .NET Documentation, 12-Feb-2020. [Online]. Disponible: <https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet/mvc>. [Visitado: 15-May-2020].

- [103] Audacity, “How Audacity Noise Reduction Works,” Wiki, 30-Mar-2015. [Online]. Disponible: https://wiki.audacityteam.org/wiki/How_Audacity_Noise_Reduction_Works. [Visitado: 15-May-2020].
- [104] Özen Özkaya, Giray Yıllıkçı, *Arduino Computer Vision Programming*. Birmingham: Packt Publishing, 2015
- [105] Microsoft, “Support Vector Machines Using C#,” Documentation, 03-Jan-2019. [Online]. Disponible: <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/msdn-magazine/2019/march/csharp-support-vector-machines-using-csharp>. [Visitado: 15-May-2020].